

CARACTERES FISIOLÓGICOS E AGRONÔMICOS EM PROGÊNIES INTERPOPULACIONAIS DE MILHO SELECIONADAS SOB CONDIÇÕES DE DÉFICIT HÍDRICO

CRISTIANI SANTOS BERNINI¹, PAULA DE SOUZA GUIMARÃES¹,
LUCIANA APARECIDA CARLINI-GARCIA²
e MARIA ELISA AYRES GUIDETTI ZAGATTO PATERNIANI¹

¹Instituto Agronômico (IAC), Campinas, SP, Brasil – cristianibernini@yahoo.com.br;

psguim@yahoo.com.br; elisa@iac.sp.gov.br

²APTA Regional Centro-Sul, Piracicaba, SP, Brasil – lac_garcia@apta.sp.gov.br

Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.15, n.1, p. 39-52, 2016

RESUMO - A seca é uma das maiores limitações no cultivo de plantas e um grande desafio para as pesquisas científicas em agricultura. O objetivo deste trabalho foi avaliar, em casa de vegetação, alterações de características fisiológicas e biométricas de progênies interpopulacionais de milho oriundas de um programa de seleção recorrente para tolerância à seca utilizando a variedade IAC Maya Latente, a fim de identificar mecanismos de tolerância ao déficit hídrico. Para isso, foram avaliadas oito progênies tolerantes selecionadas em campo quanto aos caracteres fisiológicos: potencial de água na folha (ψ_w); teor de clorofila (*Chl*); e condutância estomática (g_s); e aos biométricos: intervalo entre os florescimentos (IF); *stay green* (SG); matéria seca total (MST); e massa de grãos (MG). O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com parcelas subdivididas e duas repetições, com 14 plantas por parcela, com deficiência hídrica no estágio de florescimento. As progênies PI_(1,2)-59, PI_(1,2)-100, PI_(1,2)-109, PI_(1,2)-117 e PI_(1,2)-147 obtiveram as melhores performances de MG e parâmetros fisiológicos e podem ser exploradas para extração de linhagens ou para obtenção de nova população. Os parâmetros fisiológicos (ψ_w , g_s e *Chl*) permitiram a caracterização das progênies PI_(1,2)-59, PI_(1,2)-100, PI_(1,2)-109 e PI_(1,2)-147 da variedade IAC Maya Latente e do DAS2B707, possibilitando que o melhorista utilize estas ferramentas na seleção de genótipos tolerantes.

Palavras-chave: *Zea mays* L.; seleção recorrente, seca.

PHYSIOLOGICAL AND AGRONOMIC TRAITS IN INTERPOPULATION PROGENIES OF MAIZE SELECTED UNDER WATER DEFICIT

ABSTRACT - Drought is one of the major limitations for the cultivation of plants and a great challenge for the scientific research in agriculture. The objective of this study was to evaluate, under greenhouse, alterations in physiological and biometrics traits of progenies tolerant to drought and the IAC Maya Latent, in order to identify the mechanism of maize tolerance to water stress. For this purpose, the physiological traits of eight tolerant progenies selected at field were evaluated, leaf water potential (ψ_w), total chlorophyll (*Chl*) and stomatal conductance (g_s), and the biometric traits interval between flowering (IF), *stay-green* (SG), total dry matter (MST), index harvest (IC) and grains mass (GM). The experimental design was randomized blocks in a split plot scheme and two replications, with water stress at flowering stage. The progenies PI_(1,2)-59, PI_(1,2)-100, PI_(1,2)-109, PI_(1,2)-117 and PI_(1,2)-147 presented the best performance for GM and physiological parameters and can be exploited for the extraction of inbred lines or to obtain new population. The physiological parameters ψ_w , g_s and *Chl*, allowed the characterization of the progenies PI_(1,2)-59, PI_(1,2)-100, PI_(1,2)-109, PI_(1,2)-147 of the variety Maya Latent and DAS2B707, allowing the breeder to use these tools in the selection of tolerant genotypes.

Keywords: *Zea mays* L.; recurrent selection, drought stress.

O milho (*Zea mays* L.) é uma das principais culturas de grãos de maior interesse no mundo, ocupando uma área de 177 milhões de hectares e produção de 872 milhões de toneladas (FAO, 2012). No Brasil, a produção total é de 78 milhões de toneladas, sendo cultivado principalmente na safrinha, representando 59% da produção total de grãos (Conab, 2014). A safrinha pode ter sua produtividade bastante afetada devido às perdas que acontecem em função do déficit hídrico nos períodos críticos da cultura.

A seca é a causa mais severa da redução da produção agrícola e o aquecimento global previsto agravará, consideravelmente, o impacto do déficit hídrico. Alterações climáticas, os custos elevados da irrigação e a escassez de água para esta finalidade, a degradação da capacidade de retenção da água do solo, devido à erosão ou à compactação, são outros fatores que podem ampliar a frequência da seca, aumentando a necessidade de melhoramento genético para tolerância à seca em milho (Bänziger & Araus, 2007). Uma estratégia seria a obtenção de cultivares tolerantes que possam tolerar o déficit hídrico durante os períodos mais críticos da cultura, com a seleção de germoplasma que possua variabilidade genética para os caracteres adaptativos relacionados à seca (Vasal et al., 1997).

Nos estudos de Miranda et al. (1982), com a variedade IAC Maya Latente, que foi desenvolvida com a incorporação do fator “latente”, foi relatada uma resposta distinta à seca e ao frio. O mecanismo de tolerância à seca denominado fator “latente” consiste em prolongar o estágio vegetativo sob déficit hídrico, permitindo que o florescimento ocorra logo após as chuvas iniciarem, obtendo o rápido desenvolvimento para, assim, completar o ciclo reprodutivo (Fischer et al., 1982).

A tolerância à seca é um caracter complexo, que depende da ação e da interação de diferentes processos fisiológicos, bioquímicos e moleculares que permitem à planta sobreviver e produzir satisfatoriamente. O desenvolvimento de uma cultivar tolerante, em uma abordagem promissora, requer, entre outros, o conhecimento dos mecanismos fisiológicos e do controle genético que contribuem para o fenótipo nos diferentes estádios de crescimento das plantas. Apesar dos mecanismos de tolerância à seca variarem de espécie para espécie nos diferentes estádios (Foolad & Lin, 2001), as respostas celulares a um estresse abiótico específico se mantêm conservadas em muitas espécies de plantas. Assim, caracteres diferentes têm sido propostos como critério de seleção para melhorar os níveis de tolerância à seca.

Bänziger & Lafitte (1997), Gutierrez et al. (1998), Chapman & Edmeades (1999), Câmara et al. (2007) e Hayano-Kanashiro et al. (2009) relatam que os principais caracteres fisiológicos são: potencial de água na folha; condutância estomática; e conteúdo de clorofila e os biométricos: intervalo entre florescimentos feminino e masculino (IF); senescência retardada de colmos e folhas (*stay green*); altura de planta (AP); prolificidade; número de ramificações de pendão (NRP) e matéria seca total (MST). Com isso, é sugerido identificar quais respostas fisiológicas e biométricas das plantas estão envolvidas no processo de seleção em déficit hídrico para inseri-las nos programas de melhoramento de milho. Contudo, o conhecimento sobre mecanismos de tolerância fisiológica ainda é incipiente para a contribuição do aumento da produtividade de grãos quando ocorre déficit hídrico.

Guimarães et al. (2014) estudaram diversos mecanismos fisiológicos em resposta à seca e observaram que as reduções da condutância estomática (g_s)

ao longo do período experimental foram bastantes nítidas entre os híbridos estudados. Os autores indicaram que, em estresse severo, uma das primeiras respostas dos híbridos foi o fechamento estomático, de forma a minimizar a perda de água, reduzindo também a taxa de fotossíntese líquida.

O melhoramento de populações visa essencialmente ao aumento dos genes favoráveis nas populações base. Os acréscimos nas frequências alélicas são funções que dependem da magnitude da ação gênica, do processo de seleção, da população base, da intensidade de seleção e da precisão experimental. A variabilidade genética, contudo, pode ser encontrada a partir de novas combinações e intercruzamentos daqueles genótipos que possuem caracteres desejáveis (Ashraf, 1994). Diante disso, diferentes procedimentos de seleção recorrente foram desenvolvidos e a eficácia de cada método depende da população submetida à seleção, das características selecionadas e do objetivo do programa de melhoramento (Vasal et al., 1997). O método interpopulacional é efetivo para o melhoramento de duas populações e da heterose que se manifesta no cruzamento, assim como na seleção de híbridos tolerantes à seca e no aumento da probabilidade de obtenção de linhagens superiores. Desta forma, é necessário identificar quais são os atributos fisiológicos que contribuem para a adaptação à seca, objetivando combiná-los seletivamente nos materiais altamente produtivos e adaptados aos sistemas de produção atuais pelo melhoramento genético.

Ante o exposto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar alterações fisiológicas e biométricas de progênies interpopulacionais tolerantes à seca selecionadas em campo e da variedade IAC Maya Latente a fim de identificar mecanismos de tolerância ao déficit hídrico em casa de vegetação.

Material e Métodos

Foram inter cruzadas duas populações de milho: a população tolerante 1 com o IAC Maya Latente, ambas sintetizadas no programa de seleção recorrente do Instituto Agronômico de Campinas. As progênies interpopulacionais $PI_{(1,2)}$ obtidas haviam sido avaliadas em campo na safrinha de 2012 em dois locais do Estado de São Paulo: Campinas e Mococa (Bernini et al., 2014). Nestes experimentos, foram selecionadas oito progênies tolerantes à seca, considerando a seleção dos caracteres secundários e a produtividade em campo, para serem estudadas em casa de vegetação com relação aos parâmetros fisiológicos e aos caracteres secundários.

As progênies selecionadas foram: $PI_{(1,2)}$ -49; $PI_{(1,2)}$ -52; $PI_{(1,2)}$ -59; $PI_{(1,2)}$ -72; $PI_{(1,2)}$ -100; $PI_{(1,2)}$ -109; $PI_{(1,2)}$ -117; e $PI_{(1,2)}$ -147 e como testemunhas foram utilizados o híbrido comercial DAS2B707, a variedade IAC Maya Latente (padrões de tolerância) e uma progênie sensível à seca ($PI_{(1,2)}$ -141). O Maya Latente é uma variedade sintética de grãos dentados e amarelos, derivada do cruzamento entre o IAC Maya com o Michoacán 21 “latente”, que é fonte de tolerância à seca e à geada (Palacios De La Rosa, 1959; Fischer et al., 1982) e de calor e geada (Miranda et al., 1982).

O experimento foi instalado em setembro de 2013 no Centro Experimental do IAC em casa de vegetação. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e duas repetições. As parcelas foram constituídas de dois tratamentos de déficit hídrico: (1) não-estressada, em que as plantas foram mantidas sob irrigação de acordo com o recomendável; e (2) sob déficit hídrico severo, em que a irrigação foi retirada quando 50% das plantas apresentavam anteses visíveis (VT). As subparcelas foram formadas pelas oito progênies e

pelas três testemunhas. Cada parcela foi constituída de uma linha de 3,5 m, com espaçamento de 0,50 m entre plantas e de 1,20 m entrelinhas, totalizando 14 plantas na parcela.

A irrigação foi fornecida por um sistema de gotejamento com vazão de 3,75 l h⁻¹. O potencial matricial da água no solo foi medido por tensiômetros de coluna de mercúrio, instalados a 45 cm de profundidade de cada parcela. Foram fornecidas de três a quatro irrigações semanais com duração de 10 min quando as plantas se encontravam no estágio vegetativo e de 20 min nos estádios de florescimento e enchimento de grãos. O fornecimento de água no tratamento irrigado foi realizado no momento em que os tensiômetros indicaram potencial matricial do solo próximo da capacidade de campo (-0,10 MPa) (Bernardo et al., 2006). O período de déficit hídrico durou 48 dias, iniciando no estágio fenológico de florescimento (VT) até o estágio reprodutivo (R4 / R5).

Os seguintes caracteres biométricos foram avaliados:

(a) Intervalo entre florescimentos feminino e masculino (IF): correspondeu à diferença, em dias, entre o florescimento feminino e o florescimento masculino; os dados de IF foram transformados em \sqrt{x} para a realização da análise de variância.

(b) Senescência retardada de folhas e colmo ou “*stay green*” (SG): avaliado cerca de 120 dias após a maturidade fisiológica dos grãos, em cinco plantas competitivas na parcela, a partir de uma escala de notas variando de 1 a 5, em que as notas seguiram o seguinte padrão: 1- plantas com as folhas acima da primeira espiga e pelo menos duas folhas abaixo da primeira espiga verdes; 2- plantas com todas as folhas acima da primeira espiga verdes; 3- plantas com até duas folhas acima da primeira espiga secas e as demais verdes; 4- plantas com até duas folhas verdes;

5- plantas com todas as folhas secas. Os dados de SG foram transformados em \sqrt{x} para a realização da análise de variância;

(c) Massa seca total (MST): pesagem das frações folha, caule, sabugo e produção de grãos de sete plantas de cada parcela, em kg parcela⁻¹. Essas amostras foram coletadas e desidratadas em estufa de circulação forçada a 60° C até a obtenção da massa seca constante;

(d) Massa de grãos (MG): corresponde ao peso de grãos da parcela, em kg, resultante da debulha total de espigas de uma parcela com auxílio de balança eletrônica. A MG foi corrigida para umidade de 14% e estande ideal (24 plantas / parcela). Para as análises genético-estatísticas, a MG foi convertida em g planta⁻¹ dividindo-se o valor de cada parcela pelo estande ideal do respectivo experimento. Para correção do estande, utilizou-se o método da covariância descrito por Vencovsky & Barriga (1992).

Realizaram-se avaliações de parâmetros fisiológicos na folha próxima da espiga principal (critério de avaliação) no dia de máximo déficit hídrico. O dia de máximo déficit hídrico foi determinado pelo aspecto visual das plantas, ou seja, quando essas plantas apresentavam sintomas de murcha acentuada no início do dia, além do potencial matricial da água no solo. Os parâmetros fisiológicos avaliados foram:

(e) Clorofila total (*Chl*): as avaliações do teor de clorofila *a* e *b* foram realizadas com o equipamento SPAD-502 Plus – Konica Minolta, sendo obtidas as concentrações das clorofilas *a* e *b* totais em cinco plantas por repetição.

(f) Condutância estomática (*g_s*): foi utilizado o porômetro (Type AP4 – Delta T Devices) em estado de equilíbrio dinâmico em duas avaliações (*g_s*⁽¹⁾ - 09:00h às 10:30h e *g_s*⁽²⁾ - 11:00 às 12:30h) (Gutierrez

et al., 1998). Para esta avaliação, escolheu-se a folha superior próxima à espiga principal exposta à radiação solar em todas as parcelas. Os dados de $g_s^{(1)}$ foram transformados em $(x^{0,2})$ para a realização da análise de variância.

(g) Potencial de água na folha (ψ_w): medido em folhas próximas da espiga principal, em cada parcela, com o uso de câmara tipo Scholander (Modelo 3115 da Soilmoisture Equipment Corp) no período da manhã (07:00h às 08:00h). No momento dessa avaliação, a temperatura máxima indicava 21° C, a umidade relativa do ar era de 54% e o potencial matricial do solo era -1,00 MPa.

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa computacional Genes versão Windows (Cruz, 2006). Os dados fisiológicos e biométricos foram agrupados pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade. Para expressar a tolerância das progênies e das testemunhas, foi utilizado um índice de valor relativo de tolerância (RVT) em que o valor do caracter avaliado na condição estressada foi dividido pelo valor da condição irrigada (Souza et al., 2011).

Resultados e Discussão

A análise de variância (Tabela 1) apresentou diferenças altamente significativas ($p < 0,01$) de genótipos e tratamentos hídricos para todos os parâmetros fisiológicos e biométricos (exceto para $g_s^{(2)}$ no efeito de tratamento hídrico), evidenciando, respectivamente, presença de variabilidade genética das progênies e elevada variação dos tratamentos hídricos. Na interação tratamentos hídricos versus genótipos, foram detectadas diferenças significativas para ψ_w , indicando desempenho diferencial dos genótipos nos tratamentos hídricos.

Pelo teste Scott-Knott, as médias dos genótipos foram reunidas em três grupos (a, b, c) nas condições irrigadas e em dois grupos (a, b) nas condições de déficit hídrico e reunidas em dois grupos (A, B) para tratamentos hídricos. A massa de grãos (MG) das progênies e das testemunhas foi substancialmente reduzida em condições de déficit hídrico (Tabela 2). A média geral de MG foi de 232,96 g planta⁻¹ e em déficit hídrico a média geral foi de 149,78 g planta⁻¹. A redução da massa de grãos do tratamento de déficit hídrico em relação ao irrigado representou o intervalo de variação de 22,9% (Maya Latente) a 52,4% (PI_(1,2)-109), com redução média de 35,7% (Tabela 2).

A queda de produção ocorre devido à competição fonte-dreno, resultando em falhas na reprodução e também em falhas nas pontas das espigas devido ao aborto dos óvulos, tendo em vista que o enchimento ocorre da base para as pontas (Blum, 2010). A progênie PI_(1,2)-59 destacou-se pelo elevado valor de MG no tratamento irrigado e em déficit hídrico a MG foi satisfatória, representando redução de apenas 30%. Destacaram-se também as progênies PI_(1,2)-49, PI_(1,2)-72 e PI_(1,2)-147 e o híbrido DAS2B707 pelas menores reduções de MG em déficit hídrico com 30,7%, 29,1%, 30,7% e 27,9%, respectivamente (Tabela 2).

Guimarães (2013) avaliou a MG de progênies de irmãos germanos em casa de vegetação sob déficit hídrico no estágio de florescimento e encontrou reduções significativas de 89% a 28%. Silva et al. (2008) encontraram valores médios para produtividade de grãos em famílias da UFVM 100 de 5,6 ton. ha⁻¹ em irrigação normal e, em déficit hídrico, de 3,4 ton. ha⁻¹. A redução da produtividade de grãos do experimento irrigado, em relação ao ensaio de déficit hídrico, foi de 40%.

As progênies interpopulacionais tolerantes (PI_(1,2)-49, PI_(1,2)-59, PI_(1,2)-72, PI_(1,2)-100, PI_(1,2)-

Tabela 1. Resumo da análise de variância para potencial de água na folha (ψ_w), clorofila total (Chl), condutância estomática ($gs^{(1)}$) (horário de 09:00h às 10:30h), condutância estomática ($gs^{(2)}$) (horário de 11:00 às 12:30h), intervalo entre florescimento (IF), stay green (SG), massa de grãos (MG) e matéria seca total (MST) de oito progênies interpopulacionais e três testemunhas (DAS2B707, IAC Maya Latente e progênie sensível à seca – PI_(1,2)-141) submetidas a dois manejos de irrigação, irrigação normal e déficit hídrico, no estádio de florescimento. Campinas, 2013.

Fontes de variação	GL	ψ_w (MPa)	Chl (SPAD)	Quadrados médios				SG ⁽⁴⁾ (nota)	MG (g planta ⁻¹)	MST (g planta ⁻¹)
				$gs^{(1)}$ (mmol m ⁻² s ⁻¹)	$gs^{(2)}$ (mmol m ⁻² s ⁻¹)	IF ⁽³⁾ (dias)	IF ⁽³⁾ (dias)			
Blocos	1	0,027	39,06	0,06	195,17	0,049	0,004	1104,86	144,24	
Tratamentos hídricos (TH)	1	0,020**	11,52**	253,91*	65,46 ^{ns}	0,015*	0,004**	444,48**	941,56**	
Erro a	1	0,001	8,204	336	108,23	0,015	0,004	5,01	44,72	
Genótipos (G)	10	1,226**	1373,4**	5,78**	19125,8**	1,67**	0,999**	24129,78**	72935,39**	
TH x G	10	0,009*	5,21 ^{ns}	1,59 ^{ns}	47,19 ^{ns}	0,007 ^{ns}	0,002 ^{ns}	207,31 ^{ns}	424,35 ^{ns}	
Erro b	20	0,003	13,85	607	98,06	0,019	0,005	376,86	255,64	
Total	43	-	-	-	-	-	-	-	-	
Média geral		-1,12	44,72	112,65	211,45	1,95	1,8	191,37	343,08	
CV (%) Erro a		2,82	6,40	16,27	4,92	6,41	3,51	1,16	1,95	
CV (%) Erro b		4,89	8,32	21,87	4,68	7,08	3,93	10,14	4,66	

^(1,2) dados transformados para ($x^{0,2}$); ^(3,4) dados transformados para \sqrt{x} ; ns, *, e **. não significativo, significativo a 5% e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Tabela 2. Média de massa de grãos (MG), matéria seca total (MST), intervalo entre florescimentos feminino e masculino (IF), *stay green* (SG) e índice relativo de tolerância (RVT) de oito progênies interpopulacionais e três testemunhas (DAS2B707, IAC Maya Latente e progênie sensível à seca – PI_(1,2)-141) submetidas a dois manejos de irrigação, irrigação normal e déficit hídrico, no estádio de florescimento (VT). Campinas, 2013.

Genótipos	Variáveis/ Tratamento hídrico										
	MG (g planta ⁻¹)		MST (g planta ⁻¹)								
	Irrigado	Déficit hídrico	Redução ⁽¹⁾ (%)	RVT ⁽²⁾	Irrigado	Déficit hídrico	RVT ⁽²⁾				
PI _(1,2) -49	241,31	bA	167,32	Ab	30,7	0,69	354,83	cA	252,61	dB	0,71
PI _(1,2) -52	212,39	cA	126,32	bB	40,5	0,59	403,91	bA	305,30	bB	0,75
PI _(1,2) -59	263,62	aA	184,45	aB	30,0	0,69	368,23	cA	325,64	bA	0,88
PI _(1,2) -72	221,73	cA	157,28	aB	29,1	0,71	450,54	aA	279,60	cB	0,62
PI _(1,2) -100	209,79	cA	143,21	aB	31,7	0,68	420,08	bA	290,94	cB	0,69
PI _(1,2) -109	237,84	bA	113,29	bB	52,4	0,47	390,75	cA	232,61	dB	0,59
PI _(1,2) -117	276,33	aA	155,06	aB	43,9	0,56	458,32	aA	381,94	aA	0,83
PI _(1,2) -147	228,92	cA	158,64	aB	30,7	0,69	369,03	cA	300,76	bB	0,81
Média progênies	236,49		150,69		36,3	0,63	401,96		296,18		0,74
Maya Latente	196,18	cA	151,12	aA	22,9	0,77	410,39	bA	356,61	aB	0,86
DAS2B707	242,95	bA	175,00	aB	27,9	0,72	313,15	dA	261,51	dB	0,83
Progênie Sensível	231,52	cA	116,00	bB	49,9	0,50	360,02	cA	260,98	dB	0,72
Média geral	232,96		149,79		35,7	0,63	390,84		295,32		0,75

Genótipos	IF (dias)				SG (nota)					
	Irrigado	Déficit hídrico	RVT ⁽²⁾	Déficit hídrico	Irrigado	Déficit hídrico	RVT ⁽²⁾	Déficit hídrico		
PI _(1,2) -49	1,5	cA	2,5	bA	1,66	1,2	bA	1,6	cA	1,33
PI _(1,2) -52	1,0	dA	1,5	cA	1,50	1,4	bB	2,0	bA	1,43
PI _(1,2) -59	2,5	bA	1,0	dB	0,40	1,8	aA	2,0	bA	1,11
PI _(1,2) -72	1,0	dB	2,5	bA	2,50	1,6	aB	2,7	aA	1,70
PI _(1,2) -100	2,0	cB	4,5	aA	2,25	1,6	aB	3,0	aA	1,87
PI _(1,2) -109	0,5	dA	1,5	cA	3,00	2,0	aB	2,6	aA	1,30
PI _(1,2) -117	0,5	dA	0,5	dA	1,00	1,9	aA	2,1	bA	1,10
PI _(1,2) -147	3,5	aA	2,0	cB	0,57	1,4	bA	1,4	cA	1,00
Média progênies	1,6		2,0		1,28	1,6		2,2		1,35
Maya Latente	3,5	aA	3,0	bA	0,85	1,2	bA	1,4	cA	1,16
DAS2B707	2,0	cA	2,0	cA	1,00	1,4	bA	1,5	cA	1,07
Progênie Sensível	1,5	cA	2,5	bA	1,66	1,0	bB	2,6	aA	2,60
Média geral	1,8		2,1		1,21	1,5		2,08		1,39

⁽¹⁾ Redução da MG do tratamento de déficit hídrico em relação ao irrigado; ⁽²⁾ RVT: (déficit hídrico / irrigado); Letras minúsculas distintas nas colunas indicam diferenças estatísticas ($p < 0,05$) pelo teste Scott-Knott entre os genótipos na mesma condição hídrica e letras maiúsculas distintas nas linhas representam diferenças estatísticas entre os tratamentos hídricos. (1,2) referem-se, respectivamente, a Pop. Tol. 1 e IAC Maya Latente.

117 e $PI_{(1,2)}$ -147) e as testemunhas (Maya Latente e DAS2B707) diferiram estatisticamente da Progênie Sensível para MG em déficit hídrico (Tabela 2) e também apresentaram alto valor de índice relativo de tolerância (RVT), indicando possuir potencial produtivo mesmo em déficit hídrico. O Maya Latente é uma variedade que não apresentou uma melhor performance em condições irrigadas, porém seu desempenho produtivo em condições de déficit hídrico se manteve constante (alto valor de RVT). Por definição, a variedade Maya Latente é relativamente tolerante à seca, mesmo tendo um baixo potencial produtivo. Aparentemente, o Maya Latente possui características adaptativas que não existem na Progênie Sensível que permitem assegurar a produtividade tanto em condições estressantes, como não estressantes. Duvick (1995) propõe que os principais objetivos dos programas de melhoramento de milho tropical devem ser a estabilidade de produção dos genótipos e a ampla adaptação dos mesmos através do aumento da tolerância para vários estresses.

Tendo em vista que a translocação de carboidratos é menos sensível que a fotossíntese e a respiração (Kramer & Boyer, 1995), as habilidades de uma cultivar quanto ao armazenamento e à mobilização de reservas no caule para posterior translocação para os grãos podem ser uma característica de tolerância à seca (Blum, 2010). Os valores de massa seca total (MST) estão mostrados na Tabela 2. Observou-se que o déficit hídrico influenciou esse caráter e revelou diferenças significativas entre os genótipos, as quais foram reunidas em quatro grupos distintos pelo teste Scott-Knott ($P \leq 0,05$). O valor médio de MST, em condição irrigada, foi de 390,84 g planta⁻¹ e, em déficit hídrico, a média geral foi de 295,32 g planta⁻¹. No geral, as progênies $PI_{(1,2)}$ -59, $PI_{(1,2)}$ -117 e $PI_{(1,2)}$ -147 e as testemunhas tolerantes Maya Latente e DAS2B707

tiveram maiores valores de RVT, indicando que a biomassa se manteve constante nos dois tratamentos hídricos.

Guimarães (2013) obteve para MST na Pop. Tol. 1 valor médio de 337,14 g planta⁻¹ em condição irrigada e de 327,43 g planta⁻¹ em déficit hídrico, com redução de apenas 2,8%. Barnaby et al. (2013) detectaram uma redução de 53% de MST em híbridos de milho tolerantes em relação aos híbridos intermediários e suscetíveis. Estes autores ainda demonstraram que, na seleção de híbridos em condição extrema de déficit hídrico, as plantas possuem menor altura devido aos menores potenciais de água no solo e na folha.

A imposição do déficit hídrico proporcionou aumentos do intervalo entre florescimentos feminino e masculino (IF) e *stay green* (SG). Em condições irrigadas, as médias para IF e SG foram, respectivamente, de 1,8 dia e nota de 1,5. Para condições de déficit hídrico, as médias destes caracteres foram, respectivamente, de 2,1 dias e nota de 2,08. No geral, as progênies $PI_{(1,2)}$ -59 e $PI_{(1,2)}$ -117 destacaram-se pelos menores intervalos entre florescimentos. Sendo para médias de genótipos do carácter IF o teste Scott-Knott, reuniu em quatro grupos (a, b, c, d) nos dois tratamentos hídricos e, para tratamentos hídricos, o teste reuniu em dois grupos (A, B) (Tabela 2). De acordo com Zaidi et al. (2008), os valores de IF menores que cinco dias podem identificar linhagens tolerantes a estresses, seja por déficit ou por excesso de água. O reduzido IF assegura que um número maior de plantas receberá pólen no momento da emergência dos estilos-estigmas, garantindo a polinização e a fertilização (Westgate et al., 2004). O sincronismo floral é influenciado pelas condições ambientais adversas, em que a emergência do estilo-estigma pode atrasar em relação à liberação do pólen. Westgate (1997) indica grande vantagem desta prática de seleção, em que o

menor IF indica maior sincronia entre os florescimentos, levando, assim, à estabilidade de produção.

Para SG, as médias de genótipos foram reunidas em dois grupos (a, b) na condição irrigada e em três grupos (a, b, c) na condição de déficit hídrico (Tabela 2). As progênies PI_(1,2)-49 e PI_(1,2)-147 e o DAS2B707 destacaram-se para *stay green* acentuado (menores notas de SG de 1,6, 1,4 e 1,5), do qual diferenciaram da testemunha sensível. Neste caráter, a nota 1 era atribuída à planta com “*stay green*” e a nota 5 à planta sem “*stay green*”. Esses resultados indicam que as progênies selecionadas podem ser utilizadas para o desenvolvimento de variedades sintéticas e de linhagens com elevado “*stay green*” e as testemunhas tolerantes IAC Maya Latente e DAS2B707 destacaram-se também pelos menores valores de SG.

O potencial hídrico é uma medida do grau de hidratação de uma planta e, assim, fornece um índice relativo do déficit hídrico ao qual a planta está submetida. Esse parâmetro fisiológico tem recebido merecida atenção como mecanismo de adaptação de plantas para manutenção do turgor celular e de funções fisiológicas. Os valores médios de potencial de água na folha (ψ_w) foram, respectivamente, de -0,55 MPa em condições irrigadas e de -1,69 MPa em déficit hídrico (Tabela 3). O teste Scott-Knott ($P \leq 0,05$) separou a média dos genótipos em dois grupos (a, b) em condição irrigada e em quatro grupos (a, b, c, d) em condição de déficit hídrico. Os resultados de ψ_w discriminaram apenas as PI_(1,2)-59 e PI_(1,2)-100 pelos valores menos negativos de -1,42 e -1,45 MPa, respectivamente, e confirmou-se o padrão de sensibilidade da Progênie Sensível com valor mais negativo de -2,02 MPa. Gutiérrez et al. (1997) encontraram valores semelhantes de ψ_w de -1,7 MPa avaliados em populações de milho Tuxpeño Sequía sob déficit hídrico e, em condições irrigadas, a média de ψ_w foi de -0,38 MPa.

Em relação à condutância estomática $g_s^{(1)}$ e $g_s^{(2)}$, medida nos horários de 09:00h às 10:30h e de 11:00h às 12:30h (Tabela 3), as médias foram, respectivamente, de 156,7 e 332,2 mmol m⁻² s⁻¹, em condições irrigadas, e de 68,6 e 90,6 mmol m⁻² s⁻¹ em déficit hídrico. O $g_s^{(1)}$ foi separado em quatro grupos distintos (a, b, c, d) em condição irrigada e em dois grupos distintos (a, b) em déficit hídrico. Enquanto que as médias de genótipos de $g_s^{(2)}$ foram separadas em cinco grupos distintos em condição irrigada e em três grupos em condição de déficit hídrico. Neste trabalho, foi observado que o horário de alta demanda evaporativa de condutância estomática $g_s^{(2)}$ pode discriminar melhor os genótipos; PI_(1,2)-147 e DAS2B707 apresentaram maiores *status* hídricos e alto valor de condutância estomática ($g_s^{(2)}$) em déficit hídrico, indicando que eles não apresentaram fechamento dos estômatos. Esses dois parâmetros fisiológicos (g_s e ψ_w) estão intimamente ligados porque um maior *status* hídrico pode favorecer uma maior condutância estomática, levando a um fluxo de CO₂ e a um resfriamento da folha pela transpiração (Souza, 2012). De acordo com Jones et al. (2009), citados por Souza (2012), genótipos tolerantes à seca com alta produtividade de grãos têm sido identificados pelo resfriamento do dossel e por escaparem da seca, pois necessitam de maior gasto de água.

Gutiérrez et al. (1997) estudaram três ciclos de seleção recorrente (C₀, C₄ e C₈) de populações Tuxpeño selecionados para tolerância à seca pelos melhoristas do Cimmyt no intuito de identificar mudanças da condutância estomática medida ao meio-dia e acúmulo de ácido abscísico (ABA). Os autores encontraram maiores valores de g_s de 96,9 mmol m⁻² s⁻¹ para as plantas de C₈ e menores para as plantas de C₀ e C₄ de 71,2 e 64,6 mmol m⁻² s⁻¹, respectivamente, relacionando os menores valores de g_s a

Tabela 3. Média de potencial de água na folha (ψ_w), clorofila total (Chl), condutância estomática medida das 09:00h às 10:30h ($gs^{(1)}$) e das 11:00h às 12:30h ($gs^{(2)}$) e índice relativo de tolerância (RVT) de oito progênie interpopulacionais e três testemunhas (DAS2B707, IAC Maya Latente e progênie sensível à seca – PI_(1,2)-141) submetidas a dois manejos de irrigação, irrigação normal e déficit hídrico, no estádio de florescimento (VT). Campinas, 2013.

Genótipos	Variáveis/ Tratamento hídrico ⁽¹⁾					
	ψ_w (MPa)			Chl (SPAD)		
	Irrigado	Déficit hídrico	RVT ⁽¹⁾	Irrigado	Déficit hídrico	RVT ⁽¹⁾
PI _(1,2) -49	-0,70	-1,92	2,75	57,56	36,61	0,63
PI _(1,2) -52	-0,47	-1,67	3,52	52,25	30,66	0,53
PI _(1,2) -59	-0,62	-1,42	2,28	56,18	38,75	0,68
PI _(1,2) -72	-0,52	-1,75	3,33	50,61	28,65	0,56
PI _(1,2) -100	-0,52	-1,45	2,76	56,24	40,81	0,72
PI _(1,2) -109	-0,52	-1,77	3,38	62,01	36,63	0,59
PI _(1,2) -117	-0,60	-1,62	2,71	55,63	33,53	0,60
PI _(1,2) -147	-0,55	-1,72	3,14	52,49	35,16	0,66
Média progênie	-0,56	-1,66	2,96	55,37	35,10	0,63
Maya Latente	-0,52	-1,67	3,19	50,99	31,65	0,62
DAS2B707	-0,52	-1,62	3,09	51,33	40,56	0,79
Progênie Sensível	-0,57	-2,02	3,52	55,71	29,89	0,53
Média geral	-0,55	-1,69	3,07	54,64	34,81	0,64
	$gs^{(2)}$ (mmol m ⁻² s ⁻¹)					
Genótipos	Irrigado			Irrigado		
	Déficit hídrico	RVT ⁽¹⁾	Déficit hídrico	RVT ⁽¹⁾	Déficit hídrico	RVT ⁽¹⁾
PI _(1,2) -49	165,3	0,43	216,0	fA	58,1	cB
PI _(1,2) -52	116,8	0,46	238,8	eA	62,1	cB
PI _(1,2) -59	121,3	0,41	292,3	dA	106,5	bB
PI _(1,2) -72	148,3	0,39	234,8	eA	69,8	cB
PI _(1,2) -100	164,3	0,35	391,5	bA	72,8	cB
PI _(1,2) -109	193,2	0,42	349,7	cA	98,3	bB
PI _(1,2) -117	152,3	0,44	338,0	cA	97,3	bB
PI _(1,2) -147	135,2	0,62	361,8	cA	148,0	aB
Média progênie	149,6	0,44	302,9		89,1	0,31
Maya Latente	128,7	0,53	218,8	fA	72,8	cB
DAS2B707	270,3	0,40	555,0	aA	113,0	bB
Progênie Sensível	127,8	0,41	311,3	dA	97,5	bB
Média geral	156,7	0,44	332,3		90,6	0,29

⁽¹⁾ Letras minúsculas distintas nas colunas indicam diferenças estatísticas ($p < 0,05$) pelo teste Scott-Knott entre os genótipos na mesma condição hídrica e letras maiúsculas distintas nas linhas representam diferenças estatísticas entre os tratamentos hídricos; ⁽¹⁾ RVT: déficit hídrico / irrigado; $gs^{(1)}$: horário de 09:00h às 10:30h; $gs^{(2)}$: horário de 11:00h às 12:30h. (1,2) referem-se, respectivamente, a Pop. Tol. 1 e IAC Maya Latente.

reduzida perda de água pela transpiração, indicando também que não proporcionou mudanças diretas da concentração de ABA.

Limitada disponibilidade hídrica no solo em geral faz as espécies reduzirem a condutância estomática, o que leva a menor assimilação de CO_2 . O fechamento estomático é uma das respostas mais proeminentes à seca, levando à diminuição das trocas gasosas (Farooq et al., 2009) para evitar a desidratação dos tecidos. Esse comportamento estomático pode estar associado a uma rápida adaptação ao déficit hídrico devido à atuação do ABA. Souza et al. (2013) citam que o maior número de estômatos pode favorecer a maior entrada de gases, diminuindo assim a resistência estomática. O agrupamento de médias separou os genótipos em dois grupos distintos (a, b) em déficit hídrico e também para tratamentos hídricos (Tabela 3). Destacaram-se as seguintes progênes: $\text{PI}_{(1,2)}-49$, $\text{PI}_{(1,2)}-52$, $\text{PI}_{(1,2)}-72$ e $\text{PI}_{(1,2)}-100$ e Maya Latente pelo fechamento parcial dos estômatos em déficit hídrico, indicando possuir mecanismos de adaptação à seca. Guimarães et al. (2014) relacionaram o híbrido FT510 por apresentar maior valor de g_s quando submetido à seca no estádio de enchimento de grãos devido a maior fotossíntese e respiração do mesmo.

A clorofila total (*Chl*) demonstrou ser indicativa de área verde foliar em déficit hídrico, possibilitando a identificação das $\text{PI}_{(1,2)}-49$, $\text{PI}_{(1,2)}-59$, $\text{PI}_{(1,2)}-100$, $\text{PI}_{(1,2)}-109$ e $\text{PI}_{(1,2)}-147$, visto que é uma das responsáveis pela manutenção da taxa fotossintética. Os valores médios de *Chl* foram de 54,64 SPAD em condição irrigada e de 34,81 SPAD em déficit hídrico. Magalhães et al. (2009) verificaram redução média do índice de SPAD de 42,36 para 35,32 sob deficiência hídrica. Segundo Torres Netto et al. (2005), leituras SPAD inferiores a 40 indicam deficiência de clorofila, o que afeta o processo fotossintético. Com exceção

da $\text{PI}_{(1,2)}-72$, todas as progênes que apresentaram altos teores de clorofila total em déficit hídrico também possuíram maiores massas de grãos (Tabela 3). Neste estudo, os genótipos tolerantes à seca apresentaram maiores níveis de clorofila em relação à Progênie Sensível, sugerindo que este parâmetro é bom indicador fisiológico na seleção de genótipos tolerantes. Os atrasos da senescência foliar e da manutenção do conteúdo de clorofila em déficit hídrico como observado pelas progênes estudadas podem estar relacionados ao aumento da produção de carboidratos pela interceptação de radiação com maior absorção da fração de luz incidente (Zaidi et al., 2008).

Conclusões

1. As progênes $\text{PI}_{(1,2)}-59$, $\text{PI}_{(1,2)}-100$, $\text{PI}_{(1,2)}-109$, $\text{PI}_{(1,2)}-117$ e $\text{PI}_{(1,2)}-147$ obtiveram as melhores performances de MG e parâmetros fisiológicos em casa de vegetação e podem ser exploradas para a extração de linhagens ou para obtenção de nova população tolerante à seca.

2. Os parâmetros fisiológicos potencial de água na folha (ψ_w), condutância estomática ($g_s^{(2)}$) e clorofila total (*Chl*) permitiram a caracterização das progênes $\text{PI}_{(1,2)}-59$, $\text{PI}_{(1,2)}-100$, $\text{PI}_{(1,2)}-109$, $\text{PI}_{(1,2)}-147$ e da variedade Maya Latente e do DAS2B707, possibilitando que o melhorista utilize estas ferramentas na seleção de genótipos tolerantes. Confirmou-se o padrão de sensibilidade da $\text{PI}_{(1,2)}-141$ (Progênie Sensível) pelos valores mais negativos de potencial de água na folha (ψ_w), pelo menor conteúdo de clorofila total (*Chl*), pelo comportamento precoce de senescência de folhas e colmos e pela baixa massa de grãos em déficit hídrico.

3. A variedade IAC Maya Latente apresenta comportamento produtivo estável nos ambientes

de irrigação normal e déficit hídrico devido à maior sensibilidade (fechamento) dos estômatos, resultando no maior acúmulo de matéria seca total em déficit hídrico. Esta variedade pode ser indicada para compor populações tolerantes à seca pelos seus caracteres intrínsecos em ambientes sujeitos ao déficit hídrico.

Agradecimentos

À Capes, pela bolsa de Doutorado.

Ao Centro de Grãos e Fibras, especialmente ao Dr. João Guilherme Ribeiro Gonçalves.

Ao Centro de Ecofisiologia e Biofísica, especialmente à Dra. Regina Célia de Matos Pires e ao técnico Leonardo Teixeira.

Referências

- ASHRAF, M. Breeding for salinity tolerance in plants. **Critical Reviews Plant Sciences**, v. 13, p. 17-42, 1994. DOI: 10.1080/07352689409701906.
- BÄNZIGER, M.; LAFITTE, H. R. Efficiency of secondary traits for improving maize low-nitrogen target environments. **Crop Science**, Madison, v. 39, p. 1035-1040, 1997.
- BÄNZIGER, M.; ARAUS, J. L. Recent advances in breeding maize for drought and salinity stress tolerance. In: JENKS, M. A.; HASEGAWA, P. M.; JAIN, S. M. (Ed.). **Advances in molecular breeding toward drought and salt tolerance crops**. Netherlands: Springer, 2007. p. 587-601.
- BARNABY, J. Y.; KIM, M.; BAUCHAN, G.; BUNCE, J.; REDDY, V.; SICHER, R. C. Drought responses of foliar metabolites in three maize hybrids differing in water stress tolerance. **Plos One**, San Francisco, v. 8, n. 10, p. 1-10, 2013. DOI: 10.1371/journal.pone.0077145.
- BERNARDI, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 625 p.
- BERNINI, C. S.; GUIMARÃES, P.S.; GONÇALVES, J. G. R.; PATERNIANI, M. E. Z. A. G. Seleção de progênies de meios-irmãos da Pop. Tol. 2 de milho para caracteres fisiológicos e biométricos relacionados com a tolerância à seca. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 30.; SIMPÓSIO SOBRE LEPDÓPTEROS COMUNS A MILHO, SOJA E ALGODÃO, 1., 2014, Salvador. **Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global: resumos expandidos**. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2014. 1 CD-ROM.
- BLUM, A. **Plant breeding for water-limit environments**. New York: Springer, 2010. 258 p.
- CÂMARA, T. M. M.; BENTO, D. A. V.; ALVES, G. F.; SANTOS, M. F.; MOREIRA, J. U. V.; SOUZA JÚNIOR, C. L. Parâmetros genéticos de caracteres relacionados à tolerância à deficiência hídrica em milho tropical. **Bragantia**, Campinas. v. 66, n. 4, p. 595-603, 2007. DOI: 10.1590/S0006-87052007000400009.
- CHAPMAN, S. C.; EDMEADES, G. O. Selection improves drought tolerance in tropical maize populations: II. Direct and correlated responses among secondary traits. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 5, p. 1315-1324, 1999. DOI: 10.2135/cropsci1999.3951315x.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2013/14: décimo levantamento**. Brasília, DF, 2014. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_04_14_11_56_28_boletim_graos_abril_2014.pdf>. Acesso em: 12 set. 2014.
- CRUZ, C. D. **Programa Genes: biometria**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 382 p.
- DUVICK, D. N. Biodiversity, carrying capacity and people. In: ANNUAL MEETING AMERICAN ASSOCIATION FOR ADVANCEMENT IN SCIENCE, 1995, Atlanta. **Proceedings...** Washington: American Association for Advancement in Science, 1995.

- FAO. **Food and Agricultural commodities production**. Rome, 2012. Disponível em: <<http://www.faostat.fav.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 12 set. 2014.
- FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOKAYASHI, N.; FUJITA, D.; BASRA, S. M. A. Plant drought stress: effects mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 29, p. 185-212, 2009. DOI: 10.1051/agro:2008021.
- FISCHER, K. S.; JOHNSON, E. C.; EDMEADES, G. O. Breeding and selection for drought resistance in tropical maize. In: DROUGHT resistance in crops with emphasis on rice. Los Nanõs: International Rice Research Institute, 1982. p. 377-400.
- FOOLAD, M. R.; LIN, G. Y. Relationship between cold tolerance during seed germination and vegetative growth in tomato: analysis of response and correlated response to selection. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Geneva, v. 126, n. 2, p. 216-220, 2001.
- GUIMARÃES, P. S. **Mecanismos fisiológicos e avaliação de progênies de irmãos germanos interpopulacionais de milho com ênfase em tolerância à seca**. 2013. 135 f. Tese (Doutorado em Genética, Melhoramento Vegetal e Biotecnologia) - Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2013.
- GUIMARÃES, P. S.; BERNINI, C. S.; PEDROSO, F. K. J.; PATERNIANI, M. A. G. Z. Characterizing corn hybrids (*Zea mays* L.) for water shortage by principle components analysis. **Maydica**, Bergamo, v. 59, n. 1, p. 72-79, 2014.
- GUTIERREZ, R. M.; SAN-MIGUEL-CHAVEZ, R.; LARQUE-SAAVEDRA, A. Physiological aspects in Tuxpeno maize with improved drought tolerance. **Maydica**, Bergamo, v. 43, p. 137-141, 1998.
- GUTIERREZ, R. M.; SAN MIGUEL-CHAVEZ, R.; LARQUÉ-SAAVEDRA, A. Stomatal conductance in successive selection cycles of the drought tolerance maize population 'Tuxpeño Sequía'. In: EDMEADES, G. O.; BÄNZIGER, M.; MICKELSON, H. R.; PEÑA-VALDIVIA, C. B. (Ed.). **Developing drought and low N-tolerant maize**: proceedings of a symposium, 1996. Mexico, DF: CIMMYT, 1997. p. 212-214.
- HAYANO-KANASHIRO, C.; CALDERÓN-VÁSQUEZ, C.; LACLETTE-IBARRA, E.; ESTRELLA-HERRERA, L.; SIMPSON, J. Analysis of gene expression and physiological responses in three Mexican maize landraces under drought stress and recovery irrigation. **Plos One**, San Francisco, v. 4, n. 10, p. 1-19, 2009. DOI: 10.1371/journal.pone.0007531.
- JONES, H. G.; SERRAJ, R.; LOVEYS, B. R.; XIONG, L.; WHEATON, A.; PRICE, A. Thermal infrared imaging of crop canopies for the remote diagnosis and quantification of plant responses to water stress in the field. **Functional Plant Biology**, Victoria, v. 36, p. 978-989, 2009. DOI: 10.1071/FP09123.
- KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic, 1995. 495 p.
- MAGALHÃES, P. C.; ALBUQUERQUE, P. E. P. de; KARAM, D.; CANTÃO, F. R. O. **Caracterização de plantas de milho sob estresse hídrico**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 6 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 116).
- MIRANDA, L. T. de; MIRANDA, L. E. C. de; SAWAZAKI, E.; SCHMIDT, N. C. **Maize Genetics Cooperation Newsletter**, v. 56, p. 32-33, 1982. Disponível em: <<http://www.agron.missouri.edu>>. Acesso em: 22 jul. 2013.
- PALACIOS DE LA ROSA, G. Variedades e híbridos de maíz latente y tolerantes a La sequia y a lasheladas. **Agricultura Mexicana**, México, v. 107, p. 38-39, 1959.
- SILVA, R. G.; MIRANDA, G. V.; CRUZ, C. D.; GALVÃO, J. C. C.; SILVA, D. G. Estimativas de parâmetros genéticos da produção de grãos das populações de milho UFVM 100 e UFVM200, submetidas a déficit hídrico. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 7, n. 1, p. 57-67, 2008. DOI: 10.18512/1980-6477/rbms.v7n1p57-67.
- SOUZA, T. C. de. **Aplicação de ácido abscísico (ABA) e**

- caracterização fisiológica e anatômica em dois híbridos de milho contrastantes ao estresse de seca.** 2012. 134 f. Tese (Doutorado em Fisiologia de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.
- SOUZA, T. C.; MAGALHÃES, P. C.; PEREIRA, F. J.; CASTRO, E. M.; PARENTONI, S. N. Morphophysiology and maize grain yield under periodic soil flooding in successive selection cycles. **Acta Physiology Plant**, Poznan, v. 33, n. 5, p. 1877-1885, 2011. DOI: 10.1007/s11738-011-0731-y.
- SOUZA, T. C.; CASTRO, E. M.; MAGALHÃES, P. C.; LINO, L. O.; ALVES, E. T.; ALBURQUERQUE, P. Morphophysiology, morphoanatomy, and grain yield under field conditions for two maize hybrids with contrasting response to drought stress. **Acta Physiologia Plantarum**, v. 35, p. 3201-3211, 2013. DOI: 10.1007/s11738-013-1355-1.
- TORRES NETTO, A.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J. G.; SMITH, R. E. B. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 104, n. 2, p. 199-209, 2005. DOI: j.scienta.2004.08.013.
- VASAL, S. K.; CORDOVA, H.; BECK, D. L.; EDMEADES, G. O. Choice among breeding procedures and strategies for developing stress tolerant maize germplasm. In: EDMEADES, G. O.; BÄNZIGER, M.; MICKELSON, H. R.; PEÑA-VALDIVIA, C. B. (Ed.). **Developing drought and low N-tolerant maize**: proceedings of a symposium, 1996. Mexico, DF: CIMMYT, 1997. p. 336-347.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Revista Brasileira de Genética, 1992. 486 p.
- WESTGATE, M. E. Physiology of flowering in maize: identifying avenues to improve kernel set during drought. In: EDMEADES, G. O.; BÄNZIGER, M.; MICKELSON, H. R.; PEÑA-VALDIVIA, C. B. (Ed.). **Developing drought and low N-tolerant maize**: proceedings of a symposium, 1996. Mexico, DF: CIMMYT, 1997. p. 136-141.
- WESTGATE, M. E.; OTEGUI, M. E.; ANDRADE, F. H. Physiology of the corn plant. In: SMITH, C. W.; BÉTRAN, J.; RUNGE, E. C. A. (Ed.). **Corn**: origin, history, technology and production. New Jersey: John Wiley & Sons, 2004. p. 235-271.
- ZAIDI, P. H.; YADAV, M.; SINGH, D. K.; SINGH, R. P. Relationship between drought and excess moisture tolerance in tropical maize (*Zeamays*L.). **Australian Journal of Crop Science**, Brisbane, v. 1, n. 3, p. 78-96, 2008.