

JOÃO PAULO LEMOS

**CARACTERÍSTICAS DE HÍBRIDOS ISOGÊNICOS DE MILHO
CULTIVADOS SOB CONDIÇÕES DE ESTRESSES**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2014

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

Lemos, João Paulo, 1985-
L555c Características de híbridos isogênicos de milho cultivados
2014 sob condições de estresses / João Paulo Lemos. – Viçosa, MG,
2014.
xi, 112f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: João Carlos Cardoso Galvão.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Milho. 2. *Zea mays* L. 3. Plantas transgênicas. 4. Déficit hídrico. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 631.5233

JOÃO PAULO LEMOS

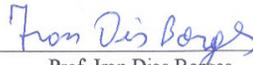
**CARACTERÍSTICAS DE HÍBRIDOS ISOGÊNICOS DE MILHO
CULTIVADOS SOB CONDIÇÕES DE ESTRESSES**

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

APROVADA: 31 de outubro de 2014.



Roberto Fontes Araújo



Prof. Iran Dias Borges



Prof. Leonardo Duarte Pimentel



Prof. Rodrigo Oliveira de Lima



Prof. Antônio Alberto da Silva
(Presidente da Banca)

“Aqueles que esperam no Senhor renovam as suas forças. Voam alto como águias.
Correm e não ficam exaustos, andam e não se cansam. (Isaías 40:31)”

Ao SENHOR, por me dar nova vida em Jesus Cristo e por estar sempre ao meu lado.

À minha amada Esposa Lorena, fonte de amor, paciência, amizade e apoio tanto nos momentos difíceis quanto nas alegrias vivenciadas ao longo dessa caminhada.

À minha amada mãe Maria Aparecida Lemos O. Rezende, fonte de amor incondicional e de ensinamentos que me fizeram compreender a importância e o valor de cada conquista. Ao meu Pai Celso Afonso Borges, pela contribuição financeira durante parte do curso.

Aos meus avós “Lizeu” (*in memoriam*) e “Bia”, fonte de alegrias e amor constante mesmo estando distantes, pelo amor e carinho.

Ao meu filho João Davi, por ser uma promessa e bênção de Deus na minha vida.

Com todo o carinho,

Dedico.

A Jesus Cristo, pela minha salvação e por me dar nova vida junto ao Pai, por todas as bênçãos concedidas, sem as quais não alcançaria tamanho feito; e por me dizer: “para Deus, tudo é possível, meu filho”...

Ofereço.

AGRADECIMENTOS

A Deus Pai, Senhor dos senhores, por iluminar meus caminhos e por estar sempre ao meu lado, encorajando-me a seguir adiante: “é do Senhor que vem o socorro”.

À minha esposa Lorena Moreira Carvalho Lemos e ao meu filho João Davi Carvalho Lemos, que são a minha vida, pelo indispensável apoio e amor em todas as etapas deste trabalho e pela grande amizade, pelo companheirismo e pelas alegrias durante todo esse tempo.

À minha mãe Maria Aparecida, pelo amor que nunca me faltou, pelos cuidados, pelas orações, por ser referência de honestidade, simplicidade, bondade e alegrias para mim, e ensinamentos que levarei por toda a minha vida; Ao meu padrasto Isáias Lourenço de Rezende, pela presença, amizade, alegria e ajuda em toda a nossa convivência; e aos meus avós “Elizeu” (*in memoriam*) e “Bia”, pelos ensinamentos de vida simples, honesta e humilde, que fizeram toda a diferença para o meu crescimento.

A toda a minha família amada, que sempre me deu força em todas as etapas da minha vida.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade de realização do Curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de auxílio financeiro.

Ao Instituto Federal de Minas Gerais, campus São João Evangelista, pelo afastamento concedido, em especial ao Professor Giuslan Carvalho Pereira e também à

Professora Grazielle Wolff de Almeida Carvalho, pela amizade, atenção, pelo acolhimento e pela grande contribuição.

Ao Professor João Carlos Cardoso Galvão, que considero uma grande bênção de Deus na minha vida, como amigo, orientador, conselheiro, grande profissional com coração humilde e homem de família; nunca me esquecerei de seus ensinamentos, da amizade e da contribuição em minha vida.

Ao Professor Antônio Alberto da Silva, por ser exemplo de disciplina e sabedoria, pela amizade construída durante esse tempo e pelas grandes contribuições durante essa jornada, que sempre levarei comigo.

Ao Professor Paulo Roberto Cecon, pela amizade, pelos ensinamentos, pela atenção, pela paciência, pelo bom exemplo de caráter e pela contribuição nas análises estatísticas.

Ao Professor Wagner Araújo, pela amizade, pelos ensinamentos e pela contribuição no trabalho realizado.

Ao Roberto Fritsche Neto, pela amizade, confiança e pelos ensinamentos durante esse tempo.

Ao Professor Iran Dias Borges, pela amizade, pelos ensinamentos e pelo valioso incentivo em minha jornada profissional.

Aos Professores Leonardo Duarte Pimentel, Rodrigo Oliveira de Lima e Roberto Fontes Araújo, pela contribuição ao final do trabalho.

Aos amigos Juliana (Ju), Sirlene e Bruno, Leonardo, Gessimar e Emerson, em especial, que não mediram esforços para tornar este trabalho uma realidade.

Aos amigos Cesar, José Maria, Danilo, Telma, Paulo Coutinho, Fernando, Robson e Leila, pela amizade e convivência em Viçosa.

Ao casal Lívia e Marcelo, pela amizade, pelo apoio, carinho e pela hospitalidade nos momentos mais importantes dessa jornada.

À Igreja Presbiteriana de Viçosa e de São João Evangelista e aos amigos do Grupo de Convivência da Igreja Presbiteriana, que foram as mãos de Deus em Viçosa para me acolher durante todo o curso, fazendo com que a caminhada fosse sempre mais leve e prazerosa.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram, cada um à sua maneira, para a concretização deste trabalho.

BIOGRAFIA

JOÃO PAULO LEMOS, filho de Celso Afonso Borges e Maria Aparecida Lemos O. Rezende, nasceu em 6 de maio de 1985 na cidade de Pirapora, MG.

Em dezembro de 2008, graduou-se em Engenharia Agrônoma pela Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES), localizada em Janaúba, MG.

Em fevereiro de 2009, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, onde atuou na área de Técnicas Culturais no milho, na linha de pesquisa em Fisiologia da Competição entre plantas daninhas e a cultura, submetendo-se à defesa da dissertação em 21 de fevereiro de 2011. Neste mesmo ano, iniciou o curso de Doutorado no Departamento de Fitotecnia (UFV), onde atuou na área de Técnicas Culturais no milho, na linha de pesquisa em Fisiologia da Produção, submetendo-se à defesa da tese em 31 de outubro de 2014.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	x
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS	9
ECOFISIOLOGIA DE CULTIVARES ISOGÊNICAS DE MILHO (<i>Bt</i> E NÃO-<i>Bt</i>) NO ESTÁDIO VEGETATIVO V9 EM CONDIÇÕES DE ESTRESSE	14
RESUMO	14
INTRODUÇÃO.....	16
MATERIAL E MÉTODOS	16
Avaliações fisiológicas.....	20
Análise estatística.....	22
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
Experimento 1 - Desempenho de cultivares de milho isogênicas (<i>Bt</i> e não- <i>Bt</i>) no estágio vegetativo (V9) sob condições ótima e de déficit hídrico.....	23
Experimento 2 - Desempenho de cultivares de milho isogênicas (<i>Bt</i> e não- <i>Bt</i>) no estágio vegetativo (V9) submetidas à competição com plantas de <i>Bidens pilosa</i> em condições ótima e de déficit hídrico	32
REFERÊNCIAS	36

ECOFISIOLOGIA DE CULTIVARES ISOGÊNICAS DE MILHO (<i>Bt</i> E NÃO-<i>Bt</i>) NO ESTÁDIO DE FLORESCIMENTO (R1) EM CONDIÇÕES DE ESTRESSE	42
RESUMO	42
INTRODUÇÃO.....	44
MATERIAL E MÉTODOS	45
Avaliações fisiológicas.....	49
Análise estatística.....	51
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
Experimento 1: Desempenho de cultivares de milho isogênicas (<i>Bt</i> e não- <i>Bt</i>) no estágio de florescimento pleno (R1) em condições ótimas e de déficit hídrico.....	52
Experimento 2: Desempenho de cultivares de milho isogênicas (<i>Bt</i> e não- <i>Bt</i>) no estágio de florescimento pleno (R1) submetidas à competição com plantas de <i>Bidens pilosa</i> em condições ótimas e de déficit hídrico	59
REFERÊNCIAS	61
CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE CULTIVARES ISOGÊNICAS DE MILHO (<i>Bt</i> E NÃO-<i>Bt</i>) e de <i>Bidens pilosa</i> EM CONDIÇÕES DE ESTRESSES	66
RESUMO	66
INTRODUÇÃO.....	68
MATERIAL E MÉTODOS	69
Avaliações morfológicas	73
Análise estatística.....	75
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	75
Experimento 1 - Avaliação biométrica de cultivares isogênicas de milho (<i>Bt</i> e não- <i>Bt</i>) em condições ótimas e de déficit hídrico.....	76
Experimento 2 - Avaliação biométrica de cultivares de milho isogênicas (<i>Bt</i> e não- <i>Bt</i>) submetidas à competição com plantas de <i>Bidens pilosa</i> sob condições ótimas e de déficit hídrico	86
REFERÊNCIAS	96
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	103
APÊNDICE	105

RESUMO

LEMOS, João Paulo, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2014. **Características de híbridos isogênicos de milho cultivados sob condições de estresses.** Orientador: João Carlos Cardoso Galvão. Coorientadores: Antônio Alberto da Silva, Paulo Roberto Cecon, Roberto Fritsche Neto e Wagner L. Araújo.

Modificações genéticas em plantas visando redução de perdas por estresses bióticos e abióticos poderão proporcionar nas plantas modificadas respostas diferentes na alocação de recursos naturais. A fim de testar essa hipótese, realizou-se esta pesquisa com o objetivo de avaliar o desempenho fotossintético de cultivares isogênicas de milho (*Bt* e não-*Bt*), cultivadas em condições ótimas e de estresses bióticos e abióticos. Os experimentos foram realizados em esquema fatorial 3 x 2 x 2, no delineamento de blocos casualizados com cinco repetições. O primeiro fator foi constituído por três híbridos de milho (AGROMEN 30A95, DOW 2B707 e BG 7049); o segundo, por dois tipos de cada híbrido utilizado: transgênicos com um evento - *Bt* (AGROMEN 30A95Hx, DOW 2B707Hx e BG 7049Y) e os convencionais (AGROMEN 30A95, DOW 2B707 e BG 7049); e o terceiro foi o cultivo de milho na presença ou não do déficit hídrico (60% e 100% da capacidade de campo, respectivamente). Foram realizados dois experimentos: no primeiro, avaliaram-se as cultivares isogênicas sob condições ótimas e de limitação hídrica; e, no segundo, esses materiais foram cultivados nessas condições em competição com plantas de *Bidens pilosa*. A primeira limitação hídrica foi aplicada em plantas nos estádios de desenvolvimento V6 a V9, e a segunda, no estádio R1, com duração de 21 e 7 dias, respectivamente. Em cada experimento,

foram feitas avaliações fisiológicas em dois períodos. No primeiro, as plantas de milho estavam sob deficiência hídrica e apresentavam de oito a nove folhas completamente expandidas [estádio V8-V9 – 41 dias após a emergência (DAE)]. No segundo período, as plantas apresentavam-se no estágio de florescimento (estádio R1 – 60 DAE), antes da imposição da segunda limitação hídrica. A avaliação morfológica das plantas de milho e de *B. pilosa* foi realizada ao final do experimento (estádio R3 – grãos leitosos). Verificou-se que no estágio V9 as cultivares transgênicas (*Bt*) apresentaram menor teor de clorofilas em relação às convencionais (não-*Bt*), em condições de deficiência hídrica. Também ocorreu redução no teor de clorofilas do milho transgênico (*Bt*) sob condições de limitação hídrica. Quando do cultivo do milho em competição com plantas de *B. pilosa*, independentemente da condição hídrica, cultivares transgênicas (*Bt*) mostraram desempenho inferior ao das isogênicas (não-*Bt*). Nessa condição, houve reduções nas variáveis taxa fotossintética líquida (A), transpiração (E) e condutância estomática (g_s), com aumento da razão C_i/C_a . Cultivares isogênicas de milho (*Bt* e não-*Bt*) em competição com *B. pilosa* não apresentaram diferenças nas características avaliadas. Contudo, em condições de limitação hídrica verificou-se aumento da altura de plantas e do número de dias entre o florescimento masculino e o feminino em milho *Bt* em relação ao não-*Bt*. Em competição com *B. pilosa*, independentemente da condição hídrica, ocorreu aumento do intervalo entre florescimento masculino e feminino em plantas de milho com o gene *Bt*, em comparação ao não-*Bt*. A redução da disponibilidade de água resultou em menor acúmulo de massa da matéria seca total em ambas as cultivares isogênicas (*Bt* e não-*Bt*), porém somente na presença do gene *Bt* houve redução na massa da matéria seca da espiga e do pendão. O comportamento morfológico de plantas de *B. pilosa* não foi alterado por cultivares isogênicas de milho em condição de déficit hídrico. Concluiu-se que existem diferenças entre os isogênicos de milho (*Bt* e não-*Bt*) quanto ao desempenho morfológico e fotossintético quando cultivados sob estresses. Entretanto, novos estudos específicos devem ser realizados para confirmar se o desempenho desses materiais, quando submetidos a condições de estresses bióticos e abióticos em campo, irá afetar negativamente a produtividade do milho.

ABSTRACT

LEMOS, João Paulo, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, september, 2014. **Features of inbred maize hybrids grown under stressful conditions.** Adviser: João Carlos Cardoso Galvão. Co-Advisers: Antônio Alberto da Silva, Paulo Roberto Cecon, Roberto Fritsche Neto and Wagner L. Araújo.

Genetic modification of plants in order to reduce losses by biotic and abiotic stresses may provide different responses from modified plants in the allocation of natural resources. In order to test this hypothesis, this research was carried out to assess the photosynthetic performance of maize inbred varieties (*Bt* and non-*Bt*), grown under optimal conditions and under biotic and abiotic stresses. The experiments were conducted in a 3 x 2 x 2 factorial arrangement, in a randomized block design with five replications. The first factor was composed of three maize hybrids (AGROMEN 30A95, DOW 2B707 and BG 7049); the second consisted of two types of each hybrid used: GM with one event - *Bt* (AGROMEN 30A95Hx, DOW 2B707Hx and BG 7049Y) and inbred varieties (AGROMEN 30A95, DOW 2B707 and BG 7049); the third factor was maize cropping in the presence or absence of water deficit (60% and 100% of field capacity, respectively). Two experiments were conducted: the first evaluated the inbred varieties under optimal conditions and under water deficit; in the second experiment, these materials were grown under these conditions in competition with *Bidens pilosa* plants. Plants were subjected to the first water deficit at growth stages V6 to V9, and the second water deficit, at stage R1, with a total length of 21 and 7 days, respectively. In each experiment, physiological assessments were made in two periods. In the first,

maize plants were under water deficit and had eight to nine expanded leaves [stages V8-V9, 41 days after emergence (DAE)]. In the second period, the plants were at the flowering stage (stage R1 - 60 DAE), before the second water deficit was applied. A morphological assessment of maize plants and *B. pilosa* plants was performed at the end of the experiment (stage R3 - milky grains). It was found that at stage V9, GM varieties (*Bt*) had lower chlorophyll content compared with inbred ones (non-*Bt*), under water deficit. There was also a reduction in chlorophyll content of GM maize (*Bt*) under water deficit. When maize was cropped in competition with *B. pilosa* plants, regardless of water status, GM varieties (*Bt*) underperformed inbred ones (non-*Bt*). In this condition, there were reductions in the variables net photosynthetic rate (A), transpiration (E) and stomatal conductance (g_s), with increased C_i/C_a ratio. Inbred maize varieties (*Bt* and non-*Bt*) in competition with *B. pilosa* showed no differences in the assessed characteristics. However, under water deficit, there was an increase of plant height and number of days between male and female flowerings in *Bt* maize compared with non-*Bt* maize. In competition with *B. pilosa*, regardless of water status, there was an increase in the gap between male and female flowerings in maize plants with the *Bt* gene, compared with non-*Bt*. The reduced water availability resulted in lower total dry matter accumulation in both inbred varieties (*Bt* and non-*Bt*), but only in the presence of the *Bt* gene, there was reduced dry matter in the ear and tassel. The morphological behavior of *B. pilosa* was not altered by inbred maize varieties under water stress. It was concluded that there are differences between inbred maize varieties (*Bt* and non-*Bt*) as regards morphological and photosynthetic performance when they are grown under stress. However, further specific studies should be conducted to confirm whether the performance of these materials will adversely affect the productivity of maize when they are under biotic and abiotic stresses in the field.

INTRODUÇÃO GERAL

No Brasil, na safra 2013/2014, foram cultivados 40,3 milhões de hectares de lavouras transgênicas, incluindo soja, milho e algodão (ABRAMILHO, 2012; FAOSTAT, 2014). Apenas com relação ao milho, nessa safra estavam disponíveis no mercado 467 cultivares, sendo 253 transgênicas e 214 convencionais. Além disso, houve aumento do leque de escolha para os agricultores com menor capacidade de investimento, tendo como novidade dois híbridos duplos transgênicos (CRUZ et al., 2014). Em consequência disso, 85% de toda a área de milho no País foi cultivada com transgênicos (JAMES, 2011; FAOSTAT, 2014). Estes autores afirmam que uma cultivar pode ser comercializada com várias versões transgênicas e, também, cultivares com eventos transgênicos que não são comercializadas na forma convencional. Assim, entre as 467 opções de mercado, 317 são de fato materiais genéticos diferentes, e as demais 150 são variações de eventos transgênicos. Desses 317 materiais, 213 cultivares são convencionais, podendo também apresentar algum evento transgênico. Estão disponíveis no mercado 104 cultivares que são comercializadas apenas com versões transgênicas, não possuindo opções convencionais. Entre as 317 cultivares, verifica-se predomínio de híbridos simples (56,15%), seguido pelos híbridos triplos (18,61%), híbridos duplos (13,56%) e pelas variedades (11,68%), que completam as opções de mercado.

Atualmente existem no mercado cinco eventos transgênicos para o controle de lagartas: o evento TC 1507, marca Herculex I®; o evento MON 810, marca YieldGard®; e o evento MON 89034, marca YieldGard VT PRO®; o evento *Bt*11, marca

Agrisure TL ®; o evento MIR162, marca TL VIP ®. Além destes, existe a tecnologia Liberty Link® de tolerância a herbicidas formulados com glufosinato de amônio, presente nos milhos Herculex® I. Estão sendo oferecidas no mercado, para a safra 2013/14, 178 cultivares de milho *Bt*, isto é, resistentes a insetos da ordem lepidóptera (CRUZ et al., 2014).

Os benefícios do uso de plantas *Bt* estão relacionados principalmente com a redução no uso de inseticidas, o que proporciona menor contaminação do meio ambiente e menor custo ao produtor. No entanto, estudos que abordem o comportamento de plantas geneticamente modificadas, sobretudo relacionados às possíveis interações entre gene, híbridos e ambiente, são ainda claramente necessários.

Sabe-se que a alocação de recursos para o crescimento ou defesas é determinada pela competição por substrato comum e energia (GAYLER et al., 2004; CHRISTENSEN; QUAIL, 2005; TAIZ; ZEIGER, 2009). Nessa condição, é preciso considerar a elevação dos custos dos processos internos, como a alocação de carbono (KUHN; PASCHOLATI, 2007). Uma maneira de contornar esses problemas, para genes relacionados com a defesa de plantas contra doenças, por exemplo, seria o uso de promotores induzíveis, que fossem ativados pelo organismo patogênico. Nesse caso, a expressão desses genes seria ativada apenas no momento e local necessário (RIZHISKY; MITTLER, 2001).

Ruhland et al. (2004) não observaram acúmulo de resíduos ou síntese de novos metabólitos em milho geneticamente modificado resistente ao herbicida glufosinato de amônio, o que sugere que a planta não teve custo metabólico adicional nessas circunstâncias. Contudo, diversos autores (COLL et al., 2009; BORTOLOTO; SILVA, 2009; BARROS et al., 2010; SCHIOCHET; MARCHIORO, 2011; WERLE et al., 2011; FONSECA et al., 2013; BALIEIRO NETO et al., 2013) acreditam existir diferenças entre as mesmas cultivares transgênicas e não transgênicas, em relação a caracteres fisiológicos, morfológicos e produtivos, em diferentes condições ambientais. Essa possibilidade foi comprovada por Catuchi et al. (2011), os quais verificaram diferenças fisiológicas relacionadas aos valores de assimilação máxima de CO₂ e menores danos às membranas celulares na cultivar transgênica. Também Lynch et al. (1995) e Kim et al. (2008) verificaram que a inserção de genes *Bt* no genoma de arroz foi capaz de provocar variações morfológicas e fisiológicas. Uma perda de rendimento foi observada em *Bt*/CPTI transgênica MH86 sob baixa pressão de insetos

(CHEN et al., 2006), porém sem diferenças de rendimento de Bt-Shanyou63 com cry1Ab / c, em comparação com o não-Bt (WANG et al., 2012).

Quanto a respostas de cultivares transgênicas e convencional ao déficit hídrico, Catuchi et al. (2011) observaram que plantas transgênicas de soja apresentaram tendência de promover maior alocação de biomassa em vagens, em comparação à cultivar tradicional, em ambas as condições de irrigação. Além disso, houve maior eficiência da área foliar para a produção de massa seca, maiores valores de assimilação máxima de CO₂ e menores danos às membranas na cultivar transgênica sob deficiência hídrica.

Ao analisar o comportamento de plantas transgênicas de tabaco sob déficit hídrico, Yan et al. (2003) verificaram diferenças genótípicas dos parâmetros de trocas gasosas; as plantas transgênicas exibiram maiores taxas de assimilação de CO₂ (*A*) e condutância estomática (*g_s*), em relação às plantas não transgênicas, o que sugere que as diferenças de fotossíntese foram controladas por diferenças em *g_s*.

Segundo Cruz e Regazzi (1994), os genótipos se desenvolvem em sistemas dinâmicos, em que ocorrem constantes mudanças, que vão desde a semeadura até a maturação; assim, há, geralmente, um comportamento diferenciado deles, em termos de resposta às variações ambientais. Trabalhando com diferentes híbridos transgênicos, Schiochet e Marchioro (2011) observaram que a tecnologia *Bt* não foi determinante para o incremento no rendimento de grãos para os híbridos avaliados. Estes autores concluíram que diferentes componentes do rendimento de grãos foram responsáveis pelo desempenho superior em produtividade de determinado híbrido. Contudo, neste trabalho não foi efetuado o controle de insetos com inseticidas, embora, segundo os autores, as condições não tenham sido favoráveis ao ataque de pragas. Em trabalho com arroz, Wang et al. (2012) concluíram que nem todos os eventos transgênicos tiveram o mesmo efeito sobre o desempenho agrônômico e fisiológico (MOSER et al., 2001), não sendo, portanto, interessante fazer conclusões gerais acerca do efeito de *Bt* transgenes.

Em soja, em alguns casos específicos, a expressão dos genes da subfamília HD-Zip I de fatores transcricionais é regulada por fatores ambientais, como seca, altas temperaturas e estresse osmótico, e é específica em diferentes tecidos e órgãos da planta (AGALOU et al., 2008; ELHITI; STASOLLA, 2009). Dessa forma, não há gasto de energia desnecessário, e a expressão desses genes seria ativada apenas no momento e local necessário para determinado estresse. Além desses relatos, tem sido observado, principalmente em estudos fitopatológicos, que o processo de indução de resistência

gera custos para a planta, e a alocação de recursos da planta para o crescimento ou defesa é determinada pela competição por substrato comum e energia, sendo que a planta deve balancear os investimentos nesses processos (GAYLER et al., 2004). Nesse sentido, a definição dada por Heil e Bostock (2002) ao custo da resistência induzida se resume a todo efeito negativo sobre a adaptabilidade da planta que resulta da expressão de características de defesa quando a planta cresce sob condições evolucionariamente relevantes. Nessa condição, é preciso considerar não apenas a elevação dos custos dos processos internos, como alocação de carbono, mas também os custos ecológicos, que envolvem alterações no relacionamento com organismos benéficos ou maléficos (KUHN; PASCHOLATI, 2007).

Em condições naturais, observa-se que a resistência induzida representará custo apenas na presença do patógeno (HEIL; BOSTOCK, 2002), alocando recursos para esse propósito somente quando necessário (BOSTOCK, 2005), com redução de gastos desnecessários à planta, o que possivelmente acarreta maior demanda energética pela planta. Parte dos assimilados, disponibilizados através da fotossíntese, é carregada para gerar defesas constitutivas, e o excedente é conduzido para tecidos de reserva. Quando essa energia for requerida para a defesa induzível e se a disponibilidade deles for baixa, pode ocorrer a inversão por parte das reservas, e estas voltam a estar disponíveis (GAYLER et al., 2004). Para a relação fitopatógenos e plantas, além do custo energético, existe o custo metabólico, que é explicado pela repressão de alguns genes (KUHN; PASCHOLATI, 2007).

A fluorescência da clorofila *a* e as trocas gasosas têm sido amplamente utilizadas como importantes ferramentas nos programas de melhoramento para auxiliar na discriminação entre genótipos tolerantes e sensíveis a estresse abiótico, entre eles, o hídrico (O'NEILL et al., 2006; EFEOGLU et al., 2009).

Comparando cultivares transgênicas e não transgênicas de soja em déficit hídrico, Caires et al. (2010) verificaram que cultivares tolerantes a herbicidas apresentaram resposta mais demorada ao estresse em comparação a plantas convencionais. Foi observada redução mais rápida no teor de clorofilas em plantas tolerantes ao glyphosate após iniciar a degradação de folhas, quando comparada à da cultivar convencional. Esses autores relatam que essa diferença poderia estar associada à dinâmica diferenciada de fechamento dos estômatos e ao teor de clorofila. Este trabalho comprova que a modificação genética que confere à soja resistência ao

herbicida glyphosate também pode proporcionar resposta diferente à tensão de água, bem como menor teor de clorofila, quando comparado com os convencionais.

Em trabalho com *Medicago truncatula* cv. Jemalong, avaliando linhas transgênicas e não transgênicas, Jesus Nunes (2007) observou valores do rendimento quântico máximo (F_v/F_m) e do rendimento do PSII menores em plantas transgênicas. Segundo esse autor, isso parece revelar que a expressão constitutiva dos genes influenciou de forma negativa o sistema fotossintético nas condições de crescimento sob déficit hídrico. Esse fato influenciou também as trocas gasosas, com valores mais baixos de fotossíntese líquida nas linhas transgênicas sob condições controle. Entretanto, a linha transgênica mostrou maior eficiência na proteção do aparelho fotossintético sob limitação hídrica.

Embora o comportamento do rendimento de culturas transgênicas tenha sido intensivamente estudado, tem-se dado pouca atenção para os mecanismos fisiológicos relacionados às diferenças de rendimento, especialmente sob proteção fitossanitária com baixa infestação (WANG et al., 2012). Esses resultados confirmam que podem ocorrer alterações fisiológicas em plantas transgênicas, comparadas com as não transgênicas, pois comprovadamente existem respostas diferenciadas destas plantas quando são testadas no mesmo ambiente de produção, em relação às convencionais. Desse modo, além de reduções expressivas na produtividade de culturas causadas pelo déficit hídrico, interferências por plantas daninhas são reconhecidamente também responsáveis pela diminuição expressiva na produtividade da cultura. Aquelas que sobressaem após o completo desenvolvimento vegetativo da cultura não causam problemas relacionados à produtividade, dificultando porém o processo de colheita e diminuindo a qualidade de grãos colhidos, sendo necessária, em alguns casos, maior aplicação de herbicidas para o controle de espécies invasoras, implicando assim maior custo e menor eficiência (CORDEIRO et al., 2006).

Para se ter uma definição que melhor expressa a competição, de acordo com Radosevich et al. (1996), determinadas plantas são boas competidoras por utilizarem um recurso rapidamente ou por serem capazes de continuar a crescer mesmo com baixos níveis do recurso. Adicionalmente, o mecanismo de competição por recursos deve ser demonstrado, por exemplo, além da depleção de nutrientes, também por mudanças morfológicas e fisiológicas (ASPIAZÚ et al., 2010; LEMOS et al., 2012a, b) nas respostas de crescimento. Nesse contexto, algumas características podem influenciar a capacidade competitiva das espécies por água, como a taxa de exploração de volume do

solo pelo sistema radicular; as características fisiológicas das plantas, como capacidade das raízes de se ajustarem osmoticamente; a magnitude da condutividade hidráulica das raízes; e a capacidade de regulação dos estômatos (RADOSEVICH et al., 1996).

Uma das plantas daninhas mais agressivas na atualidade, *Bidens pilosa*, possui capacidade de extrair água do solo em tensões três vezes maiores do que as alcançadas pela soja e pelo feijão. Esse fato, explicado por Procópio et al. (2002), deve-se sobretudo à capacidade, em sua fase inicial de seu desenvolvimento, dessa espécie de drenar grande parte dos fotoassimilados para a produção de raízes (baixa relação parte aérea/raiz), as quais promovem, em fases posteriores, maior exploração do solo em busca de água. Essa informação reforça os dados obtidos por Lemos et al. (2012a), que, ao trabalharem com a competição de milho com *B. pilosa*, observaram redução da parte aérea da planta de milho e aumento expressivo no sistema radicular dessa planta (redução da razão PA/SR), provavelmente devido à alta capacidade dessa espécie daninha em extrair água e nutrientes do solo, resultando em depleção desses recursos, o que favoreceu, entre outros aspectos, o desequilíbrio funcional na planta de milho, como forma de compensar a redução desses recursos no solo.

Outras características morfológicas e fisiológicas (PROCÓPIO et al., 2004; LEMOS et al., 2012a, b) são provavelmente afetadas durante a convivência, dificultando a recuperação das plantas de milho. Normalmente, a intensidade da interferência é avaliada por meio de decréscimos de produção e/ou pela redução no crescimento da planta cultivada, provocados pela competição por fatores de crescimento disponíveis no ambiente, como CO₂, água, luz e nutrientes, ou de forma indireta, como hospedeiras intermediárias de pragas e doenças e liberação de substâncias alelopáticas (DUARTE et al., 2002). No entanto, segundo Carvalho e Christoffoleti (2008), a intensidade dos danos causados pelas plantas daninhas está mais relacionada com as altas densidades de ocorrência do que com a habilidade competitiva intrínseca das espécies.

A quantidade e a qualidade da produção são afetadas pela capacidade competitiva, assim como a eficiência de aproveitamento dos recursos disponíveis no ambiente, principalmente no que diz respeito às características fisiológicas associadas à fotossíntese e ao acúmulo de massa. A magnitude fotossintética depende, entre outros fatores, do índice de área foliar e da disposição desta no perfil do dossel da planta, tendo relação direta com o acúmulo de massa seca na cultura (TAIZ; ZEIGER, 2009). Desse modo, a relação entre fotossíntese e produção é bastante complexa em razão de diversos

fatores, entre os quais a abertura estomática, a condutância de CO₂ no interior celular do mesófilo, a idade fenológica da planta e os estresses causados por fatores bióticos e abióticos.

Assim, a avaliação do comportamento fisiológico da planta em ambientes distintos de competição, utilizando-se os parâmetros de trocas gasosas como ferramenta adicional, pode vir a maximizar os resultados, com ganhos de eficiência na recomendação de espaçamentos, cultivares e de práticas de manejo da cultura (DURAES et al., 2005; LEMOS et al., 2012a). No entanto, para observar os efeitos da competição com maior precisão, deve-se associar avaliações da capacidade fotossintética a outros parâmetros avaliativos no que diz respeito à quantificação das mudanças morfofisiológicas de plantas submetidas à competição (ASPIAZÚ et al., 2010; LEMOS et al., 2012a).

Martins (2010) avaliou a morfofisiologia de milho em deficiência hídrica e pôde observar maior eficiência de uso da água para o tratamento com déficit hídrico, pois a deficiência hídrica inicial ocasionou aumento na eficiência do uso da água ($\text{mmol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1} - \text{EUA}$), uma vez que a redução apenas parcial da abertura estomática limita mais fortemente a transpiração do que a entrada de CO₂, aumentando essa razão (KRON et al., 2008; FIRMANO et al., 2009). Contudo, Lemos et al. (2012a) verificaram que pode ocorrer aumento da *EUA* sem haver redução da transpiração pela planta, como observado em seu trabalho, em que houve aumento da eficiência de utilização da água na época do florescimento do milho, sem necessariamente estar associada à menor taxa de transpiração pelas plantas, sendo sim justificada pelas altas taxas fotossintéticas observadas nessa época, o que faz com que a relação (carbono fixado/água transpirada) aumente, em comparação com as demais épocas avaliadas.

Variações morfofisiológicas provocadas pela presença de diferentes tipos de estresse durante o ciclo da cultura podem ser utilizadas como importantes ferramentas para se definir o potencial produtivo apresentado pelas cultivares isogênicas de milho, ou seja, aquelas que se diferenciam apenas por um gene inserido via procedimentos biotecnológicos específicos, comumente conhecidos como tecnologia do DNA recombinante. Estudos que abrangem essas mudanças no comportamento entre essas cultivares podem agregar informações importantes, principalmente relacionadas ao uso mais eficiente das novas tecnologias.

Essas tecnologias são de grande importância, porém existem poucas informações científicas sobre possíveis mudanças morfofisiológicas em plantas geneticamente modificadas e que podem estar relacionadas direta ou indiretamente aos ganhos de produtividade, em relação às mesmas cultivares sem as novas tecnologias. Nesse contexto, as cultivares e as tecnologias empregadas atualmente devem ser devidamente avaliadas para que agricultores e pesquisadores possam explorar ao máximo o potencial genético dessas cultivares frente às constantes alterações climáticas.

Nesse sentido, procurou-se neste trabalho realizar uma extensa avaliação fisiológica de diferentes híbridos de milho com eventos transgênicos e em estádios fenológicos distintos da cultura, com o intuito de aumentar a compreensão do comportamento das novas tecnologias utilizadas pelos agricultores.

REFERÊNCIAS

- ABRAMILHO – **Associação Brasileira dos Produtores de Milho**. Notícias TRANSGÊNICOS: Brasil é o país com a segunda maior área de produção. Disponível em: <<http://www.amazonasnoticias.com.br/component/content/article/7-esportes-a-saude/15938-transgenicos-brasil-e-o-pais-com-a-segunda-maior-area-de-producao-aponta-estudo.html>>. Acesso em: 10 de maio de 2012.
- AGALOU, A.; PURWANTOMO, S.; OVERNÄS, E.; JOHANNESON, H.; ZHU, X.; ESTIATI, A.; DE KAM, R.J.; ENGSTRÖM, P.; SLAMET-LOEDIN, I.H.; ZHU, Z.; WANG, M.; XIONG, L.; MEIJER, A.H.; OUWERKERK, P.B. A genome-wide survey of HD-Zip genes in rice and analysis of drought-responsive family members. **Plant Molecular Biology**, v. 66, n. 1, p. 87-103, 2008.
- ASPIAZÚ, I.; SEDIYAMA, T.; RIBEIRO JR., J. I.; SILVA, A. A.; CONCENCO, G.; GALON, L.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. F.; BORGES, E. T.; ARAUJO, W. F. Eficiência fotosintética y de uso del agua por malezas. **Planta Daninha**, v. 28, n. 1, p. 87-92, 2010.
- BALIEIRO NETO, G.; CIVIDANES, M. S.; BRANCO, R. B.; FELIX, M. R. F.; TRINDADE REI, F. M. C.; NOGUEIRA, J. R. Quantificação da proteína cry1ab em folhas, caules e grãos de dois híbridos de milho *Bt* e controle das pragas *Spodoptera frugiperda* e *Helicoverpa zea*. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 70, n. 1, p. 59-66, 2013.
- BARROS, E.; LEZAR, S.; ANTONEN, M. J.; VAN DIJK J. P.; RÖHLIG R. M.; KOK, E. J.; ENGEL, K. H. Comparison of two GM maize varieties with a near-isogenic non-GM variety using transcriptomics, proteomics and metabolomics. **Plant Biotechnology Journal**, v. 8, n. 4, p. 436-451, 2010.
- BORTOLOTO, V.; SILVA, T. R. B. Avaliação do desenvolvimento de milho convencional e milho *Bt*. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 2, n. 3, p. 89-95, 2009.

BOSTOCK, R. M. Signal crosstalk and induced resistance: straddling the line between cost and benefit. Palo Alto, USA. **Annual Review of Phytopathology**, v. 43, p. 545-580, 2005.

CAIRES, A. R. L.; SCHERER M. D.; SANTOS, T. S. B.; PONTIM, B. C. A.; GAVASSONI, W. L.; OLIVEIRA, S. L. Water stress response of conventional and transgenic soybean plants monitored by chlorophyll a fluorescence. **Journal Fluorescence**, v. 20, p. 645-649, 2010.

CARVALHO, S. J. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Competition of *Amarantus* species with dry bean plants. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 65, n. 3, p. 239-245, 2008.

CATUCHI, T. A.; VITOLO, H. F.; BERTOLLI, S. C.; SOUZA, G. M. Tolerance to water deficiency between two soybean cultivars: transgenic versus conventional. **Ciencia Rural**, v. 41, n. 3, p. 373-378, 2011.

COLL, A.; NADAL, A.; COLLADO, R.; CAPELLADES, G.; MESSEGUER, J.; MELÉ, E.; PALAUDELMÀS, M.; PLA, M. Gene expression profiles of MON810 and comparable non-GM maize varieties cultured in the field are more similar than are those of conventional lines. **Transgenic Research**, n. 18, n. 5, p. 801-808, 2009.

CORDEIRO, L. A. M.; REIS, M. S.; AGNES, E. L.; CECON, P. R. Efeito do plantio direto no controle de tiririca (*Cyperus rotundus* L.) e outras plantas daninhas na cultura do milho. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Passo Fundo, n. 1, p. 1-9, 2006.

CHEN, D.; YE, G.; YANG, C.; CHEN, Y.; WU, Y. Effect after introducing *Bacillus thuringiensis* gene on nitrogen metabolism in cotton. **Field Crops Research**, v. 87, n. 2, p. 235-244, 2005.

CHEN, L.; SNOW, A. A.; WANG, F.; LU, B. Effects of insect-resistance genes on fecundity in rice (*Oryza Sativa*, Poaceae): a test for underlying cost. **American Journal of Botany**, v. 93, p. 94-101, 2006.

CHRISTENSEN, A. H.; QUAIL, P. H. Ubiquitin promoter-based vectors for high-level expression of selectable and/or screenable marker genes in monocotyledonous plants. **Transgenic Research**, Philadelphia, v. 5, n. 3, p. 213-218, 2005.

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

CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; QUEIROZ, L. R. **Milho – cultivares para 2013/2014**. Embrapa Milho e Sorgo. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/milho/cultivares/index.php>>. Acesso em: 19 de março de 2014.

DUARTE, N. F.; SILVA, J. B.; SOUZA, I. F.. Competição de plantas daninhas com a cultura do milho no município de Ijaci, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 5, p. 983-992, 2002.

DURAES, F. O. M.; MAGALHAES, P. C.; GAMA, E. G. E.; OLIVEIRA, A. C. de. 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. 344-354, 2005.

EFEOGLU, B.; EKMEKÇI, Y.; ÇIÇEK, N. Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. **South African Journal of Botany**, n. 75, p. 34-42, 2009.

ELHITI, M.; STASOLLA, C. Structure and function of homodomain-leucine zipper (HD-Zip) proteins. **Plant Signaling and Behavior**, v. 4, n. 2, p. 86-88, 2009.

FAOSTAT. **Statistical databases and data-sets of the Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/default.aspx>>. Acesso em: 15 maio 2014.

FIRMANO, R. S.; KUWAHARAI, F. A.; SOUZAI, G. M. Relação entre adubação fosfatada e deficiência hídrica em soja. **Ciência Rural**, v. 39, n. 7, p. 1967-1973, 2009.

FONSECA, P. R. B.; FERNANDES, M. G.; JUSTINIANO, W.; HIROITO, L.; SILVA, J. A. N. Leaf chlorophyll content and agronomic performance of *Bt* and non-*Bt* soybean. **Journal of Agricultural Science**, v. 5, n. 12, p. 117-125, 2013.

GAYLER, S.; LESER, C.; PRIESACK, E.; TREUTTER, D. Modelling the effect of environmental factors on the “trade off” between growth and defensive compounds in Young Apple trees. Springer Berlin / Heidelberg. **Trees**, v. 18, n. 3, p. 363-371, 2004.

HEIL, M.; BOSTOCK, R. M. Induced systemic resistance (ISR) against pathogens in the context of induced plant defenses. Oxford, UK. **Annals of Botany**, v. 89, p. 503-512, 2002.

JAMES, C. Executive summary of global status of commercialized biotech/GM crops: 2011. ISAAA Briefs No. 34. **International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications**, Ithaca, NY, USA, 2011.

JESUS NUNES, C. M. de. **Caracterização da Resposta ao déficit hídrico de linhas transgênicas de *Medicago truncatula* cv. Jemalong**. 74 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Celular e Biotecnologia) – Universidade de Lisboa, Portugal, 2007.

KIM, S.; KIM, C.; LI, W.; KIM, T.; LI, Y.; ZAIDI, M. A.; ALTOSAAR, I. Inheritance and field performance of transgenic Korean *Bt* rice lines resistant to rice yellow stem borer. **Euphytica**, v. 164, n. 3, p. 829-839, 2008.

KRON, A. P.; SOUZA, G. M.; RIBEIRO, R. V. Water deficiency at different developmental stages of glycine max can improve drought tolerance. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 43-49, 2008.

KUHN, O. J.; PASCHOLATI, S. F. Custo adaptativo da resistência induzida no controle de fitopatógenos. In: REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA EM PLANTAS A PATÓGENOS 3, Viçosa, **Anais....** Viçosa, MG, p. 67-90, 2007.

LEMOS, J. P.; GALVÃO, J. C. C.; SILVA, A. A.; FONTANETTI, A.; CORRÊA, M. L. P.; CECON, P. R. Morfofisiologia de plantas de milho em competição com picão-preto e trapoeraba submetidas a roçada. **Planta Daninha**, v. 30, n. 3, p. 487-496, 2012a.

LEMOS, J. P.; GALVÃO, J. C. C.; SILVA, A. A.; FONTANETTI, A.; LEMOS, L. M. C. Efeito da roçada das espécies *Bidens pilosa* e *Commelina benghalensis* nas características morfológicas do milho. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 2, n. 1, p. 32-40, 2012b.

LYNCH, P. T.; JONES, J.; BLACKHALL, N. W.; DAVEY, M. R.; POWER, J. B.; COCKING, E. C.; NELSON, M. R.; BIGELOW, D. M.; ORUM, T. V.; ORTH, C. E.; SCHUH, W. The phenotypic characterisation of R2 generation transgenic rice plants under field and glasshouse conditions. **Euphytica**, v. 85, n. 1, p. 395-401, 1995.

MARTINS, J. D. **Modificações morfofisiológicas em plantas de milho submetidas a déficit hídrico**. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2010.

MOSER, H. S.; McCLOSKEY, W. B.; SILVERTOOTH, J. C. Performance of transgenic cotton varieties in Arizona. In: BELTWISE COTTON CONFERENCE, Anaheim, CA, 9-13. **Proceedings...** Memphis, TN: National Cotton Council of America, p. 420-423, 2001.

O'NEILL, P. M.; SHANAHAN, J. F.; SCHEPERS, J. S. Use of chlorophyll fluorescence assessments to differentiate corn hybrid response to variable water conditions. **Crop Science**, v. 46, n. 2, p. 681-687, 2006.

PROCÓPIO, S.; SANTOS, J. B.; SILVA, A. A.; COSTA, L. C. Análise do crescimento e eficiência no uso da água pelas culturas de soja e do feijão e por plantas daninhas. **Acta Scientiarum**, v. 24, n. 5, p. 1345-1351, 2002.

PROCÓPIO, S. O.; SANTOS, J. B.; PIRES, F. R.; SILVA, A. A.; MENDONÇA, E. S. Absorção e utilização do nitrogênio pelas culturas da soja e do feijão e por plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 22, n. 3, p. 365-374, 2004.

RADOSEVICH, S.; HOLT, J.; GHERSA, C. Physiological aspects of competition. In: WEED ECOLOGY IMPLICATIONS FOR MANEGEMENTS. New York: John Wiley and sons, 1996. p. 217-301.

RIZHSKY, L.; MITTLER, R. Inducible expression of bacterio-opsin in transgenic tobacco and tomato plants. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 46, n. 3, p. 313-323, 2001.

RUHLAND, M.; ENGENLHARDT, G.; PAWLING, K. Distribution and metabolism of glufosinate in transgenic glufosinate tolerant crops of maize and oilseed rape. **Pesticide Management**, London, v. 60, n. 7, p. 691-696, 2004.

SCHIOCHET, C.; MARCHIORO, V. S. Avaliação da produtividade de diferentes tecnologias *Bt* em milho. **Cultivando o Saber**. Cascavel, v. 4, n. 1, p. 188-197, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. p. 820.

WANG, F.; YE, C.; ZHU, L. N. L.; CUI, K.; PENG, S.; LIN, Y.; HUANG, J. Yield differences between *Bt* transgenic rice lines and their non-*Bt* counterparts, and its possible mechanism. **Field Crops Research**, v. 126, n. 1, p. 8-15, 2012.

WERLE, A. J. K.; NICOLAY, R. J.; SANTOS, R. F.; BORSOI, A.; SECO, D. Avaliação de híbridos de milho convencional e transgênico (*Bt*), com diferentes aplicações de inseticida em cultivo safrinha. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v. 4, n. 1, p. 150-168, 2011.

YAN, J.; WANG, J.; LI, Q.; HWANG, J. R.; PATTERSON, C.; ZHANG, H. AtCHIP, a U-box-containing E3 ubiquitin ligase, plays a critical role in temperature stress tolerance in Arabidopsis. **Plant Physiology**, v. 132, n. 2, p. 861-869, 2003.

ECOFISIOLOGIA DE CULTIVARES ISOGÊNICAS DE MILHO (*Bt* E NÃO-*Bt*) NO ESTÁDIO VEGETATIVO V9 EM CONDIÇÕES DE ESTRESSE

RESUMO

Existem dúvidas se a ecofisiologia de cultivares isogênicas pode ser alterada pela adição de eventos transgênicos. Diante do exposto e considerando a carência de resultados de pesquisa na área, realizou-se este trabalho com o objetivo de avaliar o desempenho de cultivares isogênicas de milho (*Bt* e não-*Bt*), cultivadas em condições ótimas e de estresses bióticos e abióticos, quanto a fluorescência da clorofila *a*, trocas gasosas e teor de clorofilas. O experimento foi realizado em esquema fatorial 3 x 2 x 2, no delineamento de blocos casualizados com cinco repetições. O primeiro fator foram três híbridos de milho; o segundo, dois tipos de cada híbrido (transgênicos com um evento e convencional); e o terceiro fator foi o cultivo do milho na presença ou ausência do déficit hídrico (60% e 100% da capacidade de campo). Foram realizados dois experimentos: no primeiro, avaliaram-se cultivares isogênicas de milho sob condições ótimas e de limitação hídrica; e no segundo, esses materiais foram cultivados nessas condições em competição com *B. pilosa*. A limitação hídrica foi aplicada no estágio V6 ao V9 de desenvolvimento do milho, ao passo que as análises fisiológicas foram realizadas no estágio V9, após 21 dias de deficiência hídrica. Entre os híbridos cultivados, o 30A95 apresentou maior variação entre suas cultivares isogênicas. Os híbridos 2B707 e BG7049 tiveram desempenho fotossintético do transgênico semelhante ao do convencional, e a presença do gene *Bt* proporcionou maior sensibilidade aos híbridos à limitação hídrica. Ocorreram alterações no teor de clorofilas e na taxa fotossintética das plantas de milho *Bt*. Isso resultou em desempenho inferior dos milhos *Bt* quando comparados aos convencionais (não-*Bt*). O déficit hídrico afetou o potencial fotossintético do milho, resultando em reduções na transpiração, condutância estomática, fotossíntese líquida, rendimento quântico máximo do FSII, eficiência máxima do processo fotoquímico no FSII e teor de clorofila. Independentemente da condição hídrica, a presença do gene *Bt* reduziu o desempenho fotossintético (fotossíntese líquida, condutância estomática e transpiração) do milho, quando em competição com *B. pilosa*.

Palavras-chave: transgênico, convencional, competição, *Zea mays* L.

ECOPHYSIOLOGY OF INBRED MAIZE VARIETIES (*Bt* AND NON-*Bt*) AT VEGETATIVE STAGE V9 UNDER STRESS CONDITIONS

ABSTRACT

There is doubt whether the physioecology of inbred varieties can be changed by the addition of transgenic events. Given the above and considering the lack of research data in the area, this study was conducted in order to evaluate the performance of inbred maize varieties (*Bt* and non-*Bt*) grown under optimal conditions and under biotic and abiotic stresses chlorophyll *a* fluorescence, gas exchange and chlorophyll content. The experiment was conducted in a factorial 3 x 2 x 2 arrangement, in a randomized block design with five replications. The first factor was three maize hybrids; the second, two types of each hybrid (GM with one event, and inbred); and the third factor was maize cropping in the presence or absence of water deficit (60% and 100% of field capacity). Two experiments were performed: the first evaluated inbred maize varieties under optimal conditions and under water deficit; in the second experiment, these materials were grown under these conditions in competition with *B. pilosa*. Water deficit was applied at maize development stages V6 to V9, while the physiological analyses were performed at stage V9, after 21 days of water stress. Among the cultivated hybrids, 30A95 showed the greatest variation between its inbred varieties. For the 2B707 and BG7049 hybrids, photosynthetic performance of the GM hybrid was similar to that of the inbred one, and the presence of the *Bt* gene made the hybrids more sensitive to water deficit. There were changes in chlorophyll content and photosynthetic rate of *Bt* maize plants. This resulted in lower performance of *Bt* maize hybrids when compared to inbred ones (non-*Bt*). Water deficit affected the photosynthetic potential of maize, resulting in reductions in transpiration, stomatal conductance, net photosynthesis, maximum quantum yield of PSII, maximum efficiency of the photochemical process in PSII and chlorophyll content. Regardless of water condition, the presence of the *Bt* gene reduced photosynthetic performance (net photosynthesis, stomatal conductance and transpiration) of maize, when in competition with *B pilosa*.

Keywords: GM, inbred, competition, *Zea mays* L.

INTRODUÇÃO

Modificações genéticas para determinados fins, como a resistência de plantas a insetos e fitopatógenos, tolerância a herbicidas, etc., podem proporcionar nas plantas modificadas resposta diferente para utilização dos recursos naturais (água, CO₂, luz e nutrientes) em plantas de milho (COLL et al., 2009; BORTOLOTO; SILVA, 2009; BARROS et al., 2010; SCHIOCHET; MARCHIORO, 2011; WERLE et al., 2011; COELHO, 2013; FONSECA et al., 2013; BALIEIRO NETO et al., 2013).

Avaliando o comportamento fisiológico de plantas de algodão, Chen et al. (2005) verificaram que o algodão *Bt* apresentou metabolismo do nitrogênio mais vigoroso na fase vegetativa que o seu homólogo não-*Bt*. Diferenças na dinâmica do movimento estomático e também na degradação de clorofila em cultivares isogênicas de soja, indicando possíveis alterações adicionais não esperadas em cultivares transformadas geneticamente, foram também observadas por Caires et al. (2010).

Em milho, vários estudos têm sido conduzidos (DILLEHAY et al., 2004; MA; SUBEDI, 2005; MUNGAI et al., 2005; RASCO et al., 2010; LAUER; WEDBERG, 1999; WERLE et al., 2011; COELHO, 2013), os quais apresentam resultados que confirmam alterações morfofisiológicas de plantas transgênicas em relação às convencionais, além daquelas esperadas pela transformação genética, com diferenças em altura de plantas, diâmetro de colmo, área foliar, intervalo entre florescimento masculino e feminino, enzimas antioxidantes, entre outras.

Resultados dessas pesquisas reforçam a hipótese de que podem ocorrer alterações fisiológicas e morfológicas em plantas transgênicas, comparadas com as convencionais. Na busca da confirmação dessa hipótese, realizou-se este trabalho com o objetivo de avaliar o desempenho de cultivares isogênicas de milho (*Bt* e não-*Bt*) cultivadas em condições ótimas e de estresses bióticos e abióticos, quanto à fluorescência da clorofila *a*, trocas gasosas e teor de clorofilas.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados em casa de vegetação entre os meses de março e junho de 2013, em esquema fatorial 3 x 2 x 2, no delineamento de blocos casualizados com cinco repetições. O primeiro fator foi constituído por três híbridos de milho (AGROMEN 30A95, DOW 2B707 e BG 7049). O segundo fator foram dois tipos

de cada híbrido utilizado: os transgênicos com o evento *Bt* [AGROMEN 30A95Hx (TC 1507), DOW 2B707Hx (TC 1507) e BG 7049Y (MON 810)], sendo os dois primeiros da marca Herculex I® e o último da marca YieldGard®; e os convencionais (AGROMEN 30A95, DOW 2B707 e BG 7049). O terceiro fator foi a presença ou não do déficit hídrico (60% e 100% da capacidade de campo).

O delineamento experimental e os fatores supracitados foram utilizados em dois experimentos distintos, descritos a seguir:

Experimento 1 - Avaliaram-se cultivares isogênicas de milho em condições ótimas e de limitação hídrica.

Experimento 2 - Avaliaram-se cultivares isogênicas de milho em condições ótimas e de limitação hídrica em competição com *Bidens pilosa*.

Todos os procedimentos e avaliações descritos a seguir foram realizados de forma simultânea em ambos os experimentos, porém estudados separadamente.

Para monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar, foi instalada no centro do experimento uma estação meteorológica sem fio, realizando-se as leituras diariamente às 16h.

O substrato utilizado para o cultivo das plantas foi constituído de amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) de textura argiloarenosa. Antes do enchimento dos vasos, o solo foi seco ao ar, destorroado, passado em peneira com mesh de 20 mm e corrigido com 0,045 kg de calcário dolomítico 100% PRNT/vaso contendo 33,0 L do solo (3,0 t/ha do corretivo). Logo após, manteve-se a umidade do solo com 60% da capacidade de campo por dois meses, para finalmente realizar a adubação do substrato e o plantio do milho, conforme análise físico-química do solo antes da adubação (Tabela 1).

A adubação de plantio foi feita utilizando-se adubação fosfatada (P_2O_5) de 160 mg dm^{-3} e adubação potássica (K_2O) de 75 mg dm^{-3} , empregando como fontes o superfosfato simples e o cloreto de potássio, respectivamente.

A parcela experimental foi composta por um vaso com capacidade de 30 dm^3 e altura de 40 cm, diâmetro superior de 33 cm e diâmetro inferior de 29 cm. Foi realizada a adubação individual das parcelas, para maior homogeneização. Assim, o solo de cada vaso foi colocado em saco de rafia e, em seguida, os adubos foram incorporados por meio de escarificação do solo, agitando-se a mistura solo-adubo. O adubo 20-0-20 foi aplicado (3 g/vaso em superfície); logo depois, foi realizada a irrigação manual, mantendo-os na capacidade de campo.

Tabela 1 - Resultados das análises químicas do Latossolo Vermelho-Amarelo utilizado no experimento. Viçosa-MG, 2013

Características químicas do solo ⁽¹⁾								
pH	Ca	Mg	Al	H + Al	t	T	P	K
(H ₂ O)	(cmol _c dm ⁻³)						(mg dm ⁻³)	
4,2	0,30	0,10	0,80	6,50	4,59	7,52	1,00	39,1
Cu	Zn	Fe	Mn	B	V		M,O	Prem
(mg dm ⁻³)					(%)		(dag kg ⁻¹)	(mg L ⁻¹)
0,18	0,30	99,00	2,50	0,18	40,2		0,01	0,89
Características físicas do solo ⁽²⁾								
Argila		Silte			Areia fina		Areia Grossa	
(dag kg ⁻¹)								
75		3			13		9	

⁽¹⁾ Determinações: pH em água; solo:solução 1:2,5; Ca, Mg e Al, extrator KCl 1 mol L⁻¹ (EMBRAPA, 1997); Ca(OAc)² 0,5 mol L⁻¹ pH7 - H+Al; P, K, Cu, Zn, Fe, Mn, extrator Mehlich-1 (DEFELIPO; RIBEIRO, 1981); B, água quente (BERGER; TRUOG, 1939); V, índice de saturação por bases; m, índice de saturação por alumínio; MO, matéria orgânica; Prem, P remanescente (ALVAREZ V. et al., 2000).

⁽²⁾ Ruiz (2005).

O déficit hídrico foi calculado de acordo com a curva de retenção de água no solo, realizada no laboratório (Gráfico 1). Os resultados de retenção foram interpolados pela equação de Van Genuchten (eq. 1), que descreve o comportamento da umidade do solo em função da tensão.

$$\theta_v = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha|\Psi_m|)^n]^m} \quad (\text{eq. 1})$$

em que:

θ = umidade à base de volume, em cm³ cm⁻³;

θ_r = umidade residual, em cm³ cm⁻³;

θ_s = umidade de saturação, em cm³ cm⁻³;

Ψ_m = potencial matricial, em cm; e

α , m , n = parâmetros do modelo.

O plantio do milho no experimento 1 foi feito de forma manual, semeando-se três sementes de milho por vaso, colocando-as a 3,0 cm de profundidade e a 5,0 cm de distância entre si, na parte central do vaso. Após a emergência delas, ocorrida em 20/03/2014, iniciou-se o desbaste, mantendo-se uma planta de milho por vaso.

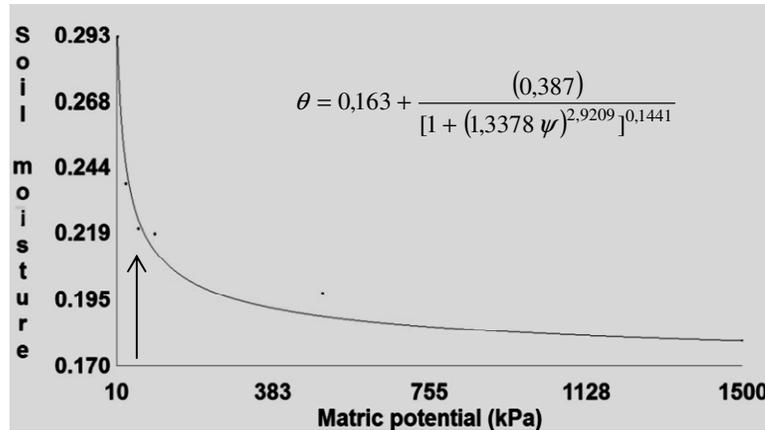


Gráfico 1 - Curva de retenção de água no solo gerada pelo programa Soil Water Retention Curve (versão 3.0).

O plantio do milho e de *B. pilosa* no experimento 2 foi realizado da seguinte forma: para que a emergência das plantas ocorresse na mesma época, as sementes de *B. pilosa* foram semeadas 12 dias antes do plantio do milho. Realizou-se o plantio manual, semeando-se 10 sementes da planta daninha e três sementes de milho por vaso, colocando-as a 3,0 cm de profundidade e a 5,0 cm de distância entre si, na parte central do vaso. Após a emergência delas, ocorrida em 20/03/2014, iniciou-se o desbaste, mantendo-se uma planta de milho e duas de *B. pilosa* por vaso.

A adubação com micronutrientes, foi realizada aplicando-se no solo aos 17 dias após a emergência do milho, 1,39 mg dm⁻³ de H₃BO₃ (ácido bórico); 2,61 mg dm⁻³ CuCl₂.2H₂O (cloreto de cobre di-hidratado), 2,03 mg dm⁻³ ZnCl₂ (cloreto de zinco) e 0,36 mg dm⁻³ de MoO₃ (ácido molibdico). Na adubação nitrogenada em cobertura, a ureia foi aplicada na forma de solução e parcelada em duas aplicações: 50% com 5 a 7 folhas completamente expandidas, e 50% com 9 a 12 folhas.

O monitoramento da umidade no solo foi feito na zona de maior atividade das raízes (0-20 cm). Esse acompanhamento foi realizado indiretamente, por meio de medidas da tensão em que a água se encontra retida no solo. Essas medidas foram obtidas utilizando-se o T5 Minitensiômetro digital (INFIELD 5) com sensibilidade de 0,1 kPa.

A haste do tensiômetro foi instalada no sentido perpendicular ao solo, para aferir na faixa de 10 cm de profundidade. As leituras foram realizadas a cada 24 horas, e o volume de água aplicado por irrigação foi calculado com base na curva de retenção de água no solo; toda irrigação realizada foi feita elevando-se a umidade do solo à capacidade de campo (-10 kPa) e quando aplicado o déficit hídrico (-70 kPa). Com as

tensões observadas, foram calculadas as umidades correspondentes, a partir da curva de retenção. De posse dessas umidades e com a correspondente à capacidade de campo, foi calculado o volume de reposição, por meio da equação 2:

$$V = (\theta_{cc} - \theta_{Atual}) \times 19.000 \quad (\text{eq. 2})$$

em que:

V = volume de água, em cm^3 ;

θ_{cc} = umidade na capacidade de campo, em $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$;

θ_{Atual} = umidade na tensão de cada tratamento, em $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$; e

19000 = volume de solo no vaso, em cm^3 .

O estresse foi iniciado no estágio vegetativo das plantas de milho, precisamente no estágio V5 (cinco folhas completamente expandidas: 10/04/2013) até o estágio V9 (nove folhas completamente expandidas: 01/05/2013), com duração de 21 dias.

Avaliações fisiológicas

As medições fisiológicas foram realizadas aos 41 dias após a emergência (21 dias após as plantas estarem em condições de limitação hídrica). Nessa ocasião, as plantas de milho apresentavam de oito a nove folhas completamente expandidas (estádio V8-V9). As coletas de dados foram realizadas entre 6h30 e 10h, para que a diferença de temperatura e umidade não interferisse de forma significativa nas avaliações, obtendo-se assim, o máximo potencial fotossintético das plantas.

A fluorescência da clorofila *a* foi obtida utilizando-se o fluorômetro portátil modelo Multi-Mode Chlorophyll Fluorometer OS5p (Opti-Sciences). As análises foram feitas seguindo a metodologia de Genty et al. (1989), avaliando-se a emissão da fluorescência da clorofila na superfície adaxial das folhas.

Após adaptação de 30 minutos no escuro e temperatura controlada (26 °C) (acondicionamento das folhas com ajuda de cliques foliares), foi medida a fluorescência mínima (*F_o*) com luz suficientemente baixa, evitando reações fotoquímicas, bem como a fluorescência máxima (*F_m*), obtida quando todos os centros de reação do PSII estão fechados (oxidados), isto é, no estado adaptado ao escuro, aplicando-se por 0,8 segundo um pulso de luz saturante de 7.000 μm de fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-2}$. Nas amostras adaptadas ao

escuro, foram obtidas a fluorescência variável, $F_v = (F_m - F_o)$; a máxima eficiência do fotossistema (PSII) ou o rendimento quântico máximo (potencial) do PSII (F_v/F_m), a eficiência quântica máxima do processo fotoquímico no PSII (F_v/F_o); e a produção quântica basal dos processos não fotoquímicos no PSII, calculada pela razão F_o/F_m (ROHÁČEK, 2002).

Determinados os parâmetros no estado adaptado ao escuro, as folhas foram submetidas a um pulso de luz saturante, com intensidade de $1.500 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e dura\u00e7\u00e3o de 15 segundos, para as determina\u00e7\u00f5es dos par\u00e2metros do estado adaptado \u00e0 luz. Os par\u00e2metros adaptados \u00e0 luz obtidos foram: F_{ms} - fluoresc\u00eancia m\u00e1xima; *quenching* fotoqu\u00edmico, calculado como $qP = (F_{ms} - F_s) / (F_{ms} - F_o')$; e *quenching* n\u00e3o fotoqu\u00edmico, ou dissipa\u00e7\u00e3o n\u00e3o fotoqu\u00edmica, calculado como $NPQ = (F_m - F_{ms}) / F_{ms}$. Outros par\u00e2metros obtidos foram: taxa de transporte de el\u00e9trons (ETR) = $[(F_{ms} - F_s) / F_{ms}] \times \text{PPFD} \times 0,5 \times 0,84$, que equivale a (produ\u00e7\u00e3o de quantum do PSII) \times (medida da radia\u00e7\u00e3o fotossinteticamente ativa, em $\mu\text{Mols el\u00e9trons m}^{-2} \text{s}^{-1}$) \times (coeficiente de absor\u00e7\u00e3o da folha) \times (fra\u00e7\u00e3o de luz absorvida pelo complexo antena do PSII), sendo uma medida da separa\u00e7\u00e3o de cargas do centro de rea\u00e7\u00e3o do PSII; e o rendimento qu\u00e2ntico efetivo do PSII adaptada \u00e0 luz (PSII): $Y = F_{ms} - F / F_{ms} = \Delta F / F_m'$ (VAN KOOTEN; SNEL, 1990).

Foi determinado tamb\u00e9m o teor de clorofila (TC) utilizando o aparelho medidor manual Minolta SPAD-502 (Soil Plant Analysis Development). O teor de clorofila foi medido atrav\u00e9s da m\u00e9dia obtida por tr\u00eas amostras simples, coletadas na folha mais jovem completamente desenvolvida. Para cada folha amostrada, foram realizadas medi\u00e7\u00f5es na base (10 cm do colmo), na parte mediana e na parte final da folha (pr\u00f3ximo 10 cm do \u00e1pice). As tr\u00eas medi\u00e7\u00f5es foram gravadas automaticamente, e a m\u00e9dia foi obtida no pr\u00f3prio equipamento. As leituras efetuadas pelo medidor port\u00e1til de clorofila correspondem ao teor relativo de clorofila presente na folha da planta.

Na mesma folha, foram realizadas medi\u00e7\u00f5es com um IRGA Infrared Gas Analyser, LI-6400 (LI-COR). Foi utilizado o fator de luminosidade para medi\u00e7\u00f5es de $1.500 \text{ moles de f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$. As avalia\u00e7\u00f5es foram feitas dentro de cada bloco por vez, avaliando-se sequencialmente todos os tratamentos, para que as condi\u00e7\u00f5es clim\u00e1ticas fossem semelhantes. Foram escolhidas para avalia\u00e7\u00e3o folhas totalmente expandidas ausentes de qualquer anormalidade visual.

As vari\u00e1veis obtidas com o IRGA foram:

a) Taxa fotossint\u00e9tica ($A - \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

- b) Transpiração (E – $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).
- c) Condutância estomática (g_s – $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).
- d) Carbono consumido (ΔC – $\mu\text{mol CO}_2 \text{ s}^{-1}$) a partir do CO_2 de referência e o CO_2 na câmara de avaliação.
- e) Relação C_i/C_a - concentração intercelular de CO_2 no mesofilo sobre a concentração de CO_2 externa atual ($\mu\text{mol CO}_2$).
- f) Eficiência do uso da água (EUA) – CO_2 fixado na fotossíntese/ H_2O transpirada via estômatos ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Análise estatística

Todos os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, e as médias, comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância, utilizando-se o programa estatístico SAEG (2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As plantas de milho emergiram três dias após o plantio. O tempo de emergência normalmente está relacionado às condições climáticas. Os valores de temperaturas mínimas e máximas (médias de $16,5^\circ\text{C}$ e $32,5^\circ\text{C}$, respectivamente) e de umidade relativa do ar (média de 85,3%) obtidos dentro da casa de vegetação durante a realização do experimento foram considerados ideais para o pleno desenvolvimento das plantas de milho.

No momento em que foram realizadas as medições, a temperatura estava próxima de 28°C , com umidade relativa em torno de 65%. A temperatura máxima obtida no dia foi de 37°C , e a UR média ficou próxima de 85% (Figuras 1 e 2).

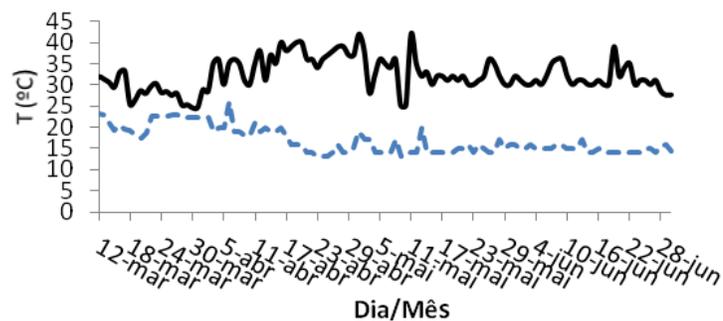


Figura 1 - Temperaturas (máximas e mínimas) observadas na casa de vegetação durante a condução do experimento, em Viçosa-MG, 2013.

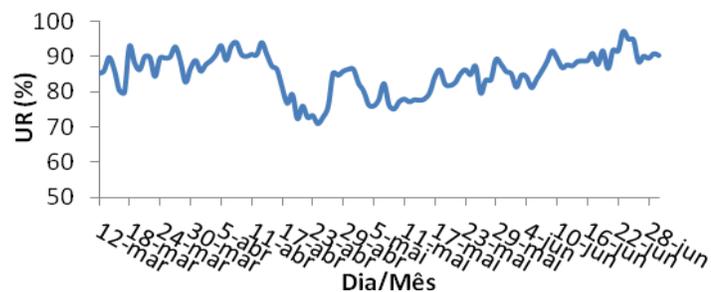


Figura 2 - Umidade relativa média do ar obtida diariamente dentro da casa de vegetação durante o experimento, em Viçosa-MG, no ano de 2013.

Experimento 1 - Desempenho de cultivares de milho isogênicas (*Bt* e não-*Bt*) no estádio vegetativo (V9) sob condições ótima e de déficit hídrico

Na Tabela 2, verifica-se que no desdobramento da interação tripla não houve diferença entre os híbridos convencionais dentro da condição de déficit hídrico (CE) para fluorescência variável (F_v). O mesmo foi observado entre os transgênicos avaliados. Contudo, entre os híbridos convencionais, na condição sem déficit hídrico o híbrido 30A95 foi superior ao BG 7049. Nessa condição, para as cultivares transgênicas, os híbridos 2B707 e BG 7049 foram iguais e superiores ao 30A95. Entretanto, na condição de déficit hídrico não houve diferença entre os híbridos convencionais e transgênicos. Quando o solo estava na capacidade de campo, a cultivar convencional 30A95 apresentou maior F_v do que sua isogênica. Para os demais tratamentos, não houve diferenças consideráveis (Tabela 2).

Para a variável NPQ (dissipação de energia por calor) (Tabela 2), não se observaram diferenças dentro do cultivo CE tanto entre híbridos convencionais ou transgênicos, quanto na comparação de convencionais com transgênicos. Entretanto, na condição SE, verificou-se, entre os transgênicos, que o 2B707 foi superior ao BG 7049, que não diferiu do 30A95. Na mesma Tabela, ao se comparar o NPQ dos isogênicos do híbrido 30A95 na mesma condição (SE), constatou-se que o convencional foi inferior ao transgênico, o que justifica a maior F_v para este híbrido (Tabela 2).

Na Tabela 3, o único híbrido que apresentou diferença entre as duas condições hídricas foi o 30A95 convencional, com maior média de F_v na condição SE. A F_v representa o fluxo de elétrons do centro de reação do PSII (P680) até a plastoquinona (PQH_2), ou seja, mostra a eficiência do processo de transferência de energia e atividade do cloroplasto. Desse modo, o fluxo de elétrons no PSII indica a taxa global de fotossíntese, o que torna possível estimar o desempenho fotossintético de maneira quase

instantânea (MAXWELL; JOHNSON, 2000). Na prática, a redução de F_v indica perda de função dos cloroplastos (MIR et al., 1998), enquanto Santex et al. (1992) associam a diminuição dessa variável com a redução dos teores de clorofila. Na mesma Tabela, não foram observadas diferenças do NPQ das cultivares entre as condições de cultivo (CE e SE).

Esses resultados obtidos entre as cultivares isogênicas podem refletir a maior capacidade de tolerar as condições fotoinibitórias provocadas pelo excesso de energia luminosa. Basicamente, NPQ é composto por três componentes: NPQ_E (relacionado ao gradiente de H^+ através da membrana do tilacoide), NPQ_T (relacionado à distribuição de energia de excitação entre os dois fotossistemas, regulada pela fosforilação e desfosforilação do centro de reação) e NPQ_I (relacionado à fotoinibição da fotossíntese) (KRAUSE; WEIS, 1991).

Nesse caso, para o 30A95 transgênico, o NPQ_E provavelmente foi o principal componente de dissipação não fotoquímico (dissipação da energia não radiativa), pois está linearmente relacionado à concentração de H^+ dentro dos tilacoides dos cloroplastos, sendo responsável pela redução de até 90% de F_v , segundo Briantais et al., (1979) e Krause e Weis (1991), a qual pode ser observada neste experimento.

Assim, pode ocorrer a ativação do ciclo das xantofilas devido à alta intensidade luminosa, que está envolvida na dissipação de energia através do aumento do conteúdo de zeaxantina, seja pela converção enzimática da violaxantina, seja pelo próprio aumento da síntese desse pigmento (DEMMING-ADAMS et al., 1999). Isso, em certos casos, pode acelerar a senescência da folha, devido à maior degradação dos pigmentos pelas espécies reativas de oxigênio (ERO), que, em condição de déficit hídrico, têm sua produção aumentada (KARUPPANAPANDIAN et al., 2011).

Quanto aos efeitos dos tratamentos sobre a fluorescência máxima (F_m), observou-se significância para o fator Gene (Tabela 4). Na presença do gene *Bt* houve redução da F_m , quando comparada a cultivar sem o gene.

A redução da F_m em espécies de metabolismo C₄, segundo Silva et al. (2006), pode ser devido à maior suscetibilidade ao déficit hídrico, porém, após 10 dias de déficit hídrico, os valores de F_m decresceram em todas as espécies. Para esses autores, essas diferenças se deveram a variações nas propriedades dos aceptores de elétrons do PSII, causadas por mudanças conformacionais induzidas pelo estresse no principal constituinte do complexo proteico que forma o PSII: a proteína D1 (BULKHOV et al., 1999, TAIZ; ZEIGER, 2009).

Tabela 2 - Valores médios de fluorescência variável (F_v) e dissipação não fotoquímica (NPQ) para as respectivas combinações de híbrido, gene e disponibilidade hídrica. Viçosa-MG, 2013

Híbrido	F_v				NPQ			
	CE		SE		CE		SE	
	Não- <i>Bt</i>	<i>Bt</i>	Não- <i>Bt</i>	<i>Bt</i>	Não- <i>Bt</i>	<i>Bt</i>	Não- <i>Bt</i>	<i>Bt</i>
Agromen 30A95	2379,80 aA	2295,60 aA	2878,80 aA	2210,20 bB	0,962 aA	1,186 aA	0,904 aB	1,345 abA
Dow 2B707	2429,00 aA	2394,60 aA	2633,80 abA	2696,20 aA	1,178 aA	1,355 aA	1,269 aA	1,503 aA
BG 7049	2750,80 aA	2413,75 aA	2436,80 bA	2359,20 abA	1,356 aA	1,168 aA	1,108 aA	1,193 bA

* Médias seguidas de mesma letra, minúsculas nas colunas maiúsculas nas linhas, para cada variável em cada disponibilidade hídrica, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Disponibilidade hídrica: CE – déficit hídrico e SE – sem estresse; gene: Não-*Bt* – convencional e *Bt* – transgênico.

Tabela 3 - Valores médios de fluorescência variável (F_v) e dissipação não fotoquímica (NPQ) para as respectivas combinação de híbrido, gene e disponibilidade hídrica. Viçosa-MG, 2013

Híbrido	F_v				NPQ			
	NÃO- <i>Bt</i>		<i>Bt</i>		NÃO- <i>Bt</i>		<i>Bt</i>	
	CE	SE	CE	SE	CE	SE	CE	SE
Agromen 30A95	2379,80 b	2878,80 a	2295,60 a	2210,20 a	0,962 a	0,904 a	1,186 a	1,345 a
Dow 2B707	2429,00 a	2633,80 a	2394,60 a	2696,20 a	1,178 a	1,269 a	1,355 a	1,503 a
BG 7049	2750,80 a	2436,80 a	2413,75 a	2359,20 a	1,356 a	1,108 a	1,168 a	1,193 a

* Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Gene: Não-*Bt* – convencional e *Bt* – transgênico; disponibilidade hídrica: CE – déficit hídrico e SE – sem estresse.

Tabela 4 - Valores médios de fluorescência máxima (*Fm*) em plantas com ou sem o gene *Bt* cultivadas em casa de vegetação. Viçosa-MG, 2013

Gene	<i>Fm</i>
Não- <i>Bt</i>	3346,73 a
<i>Bt</i>	3133,20 b

* Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Segundo Baker (2008), a diminuição dos valores absolutos de *Fm* caracteriza deficiências de fotorredução da quinona A (quinona receptora primária estável de elétrons do PSII). Esta pode estar associada à inativação do PSII nas membranas tilacoidais, afetando diretamente o fluxo de elétrons entre os fotossistemas, os quais, ejetados dos seus átomos, podem alcançar a Qa, mas, pela presença de algum bloqueador do fluxo eletrônico ou falta de demanda na produção de NADPH ou ATP ou ferredoxina, retornam às suas moléculas de origem (BAKER, 2008).

O aumento de temperatura pode contribuir para a redução da *Fm*. De acordo com Bertamini e Nedunchezian (2003), a diminuição da *Fm* sem alterar a F_0 , como observado nesse caso, pode estar relacionada ao aumento na dissipação térmica proporcionada pela desativação de centro de reação do FSII. Esse fato não impede a ocorrência de danos nos centros de reações do FSII (GREER, 1995).

Para o teor de clorofila (SPAD), houve diferenças para fator Híbrido (Tabela 5) e também para interação entre Gene e Disponibilidade Hídrica (Tabela 6). Entre os diferentes híbridos, verificou-se que o 2B707 e BG 7049 foram iguais entre si e superiores ao 30A95, o que pode ser justificado, provavelmente, por diferenças encontradas entre genótipos de natureza genética distinta.

Tabela 5 - Valores médios do teor de clorofila (SPAD) para os diferentes híbridos de milho cultivados em casa de vegetação. Viçosa-MG, 2013

Híbrido	SPAD
Agromen 30A95	37,125 b
Dow 2B707	44,065 a
BG 7049	40,840 a

* Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Na Tabela 6, foram comparadas médias do teor de clorofilas de plantas que possuem o gene *Bt* com as que não o possuem (não-*Bt*), na mesma condição de cultivo

ou entre essas condições estabelecidas (CE ou SE). Dessa forma, houve diferença entre as cultivares convencionais e transgênicas cultivadas em estresse (CE), em que as cultivares não-*Bt* apresentaram maior teor de clorofilas que aquelas com o gene.

Tabela 6 - Valores médios do teor de clorofila (SPAD) na combinação de gene e disponibilidade hídrica, obtidos em híbridos de milho cultivados em casa de vegetação. Viçosa-MG, 2013

Gene	SPAD	
	CE	SE
Não- <i>Bt</i>	41,09 aA	41,81 aA
<i>Bt</i>	36,94 bB	42,85 aA

* Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula na linha não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Disponibilidade hídrica: CE – déficit hídrico e SE – sem estresse.

Corroborando esses resultados, Caires et al. (2010) verificaram esse mesmo comportamento de cultivares isogênicas de soja frente à escassez de água. De acordo com Latham et al. (2006) e Zolla et al. (2008), o T-DNA pode causar mutações inesperadas em plantas. Estudando plantas transgênicas de arroz, batata e cevada transformadas por *Agrobacterium*, estes autores encontraram grande porcentagem de T-DNA inserido dentro de sequências codificantes ou sequências regulatórias conhecidas. Segundo eles, podem ser observadas deleções e rearranjos cromossômicos, o que pode resultar em plantas com fenótipos inesperados e potencialmente danosos.

Ainda na Tabela 6, verifica-se que as cultivares convencionais não apresentaram diferenças no teor de clorofilas quando avaliadas em condição de déficit hídrico, mantendo o mesmo padrão do cultivo na condição hídrica ideal. Entretanto, não se observou o mesmo comportamento para as cultivares transgênicas, nas quais houve redução desses pigmentos na condição de déficit hídrico, em comparação à condição sem estresse. Isso foi observado também por Caires et al. (2010) em cultivares isogênicas de soja, onde ocorreu degradação abrupta da clorofila foliar de variedades transgênicas.

Em diversas culturas, a deficiência hídrica induz redução do teor de clorofilas. Isso com frequência resulta em menor rendimento da cultura (GRZESIAK et al., 2007; TAIZ; ZEIGER, 2009). A imposição de fatores adicionais de estresse durante a exposição a altas irradiâncias aumenta o potencial de efeitos fotoinibidores. A exposição prolongada das plantas a excessos de luminosidade pode resultar na fotodestruição dos pigmentos fotossintéticos (MAXWELL; JOHNSON, 2000, DIAS; MARENCO, 2006).

Para as características F_v/F_m , F_o/F_m , F_v/F_o e ΔC , foi desdobrada a interação Híbrido e Gene, comparando-se os híbridos convencionais ou transgênicos entre si, ou analisando os convencionais *versus* transgênicos (Tabela 7). Observam-se, nesta tabela, resultados semelhantes para as variáveis rendimento quântico efetivo (F_v/F_m), eficiência máxima do processo fotoquímico no FSII (F_v/F_o) e produção quântica basal dos processos não fotoquímicos no FSII (F_o/F_m). Estes apresentaram diferença somente para a comparação entre cultivares isogênicas do híbrido 30A95. Para F_v/F_m e F_v/F_o , as médias do híbrido convencional foram superiores às do transgênico. Contudo, no sentido contrário, o híbrido convencional apresentou F_o/F_m inferior à do transgênico.

A relação F_v/F_m vem sendo frequentemente utilizada para detectar perturbações no sistema fotossintético causadas por estresses abióticos e bióticos, visto que a diminuição dela, indica inibição da atividade fotoquímica. Essa relação é uma estimativa da eficiência quântica máxima da atividade fotoquímica do FSII, quando todos os centros de reação do PSII estão abertos (BAKER; ROSENQVST, 2004); valores compreendidos entre 0,75 e 0,85 demonstram ausência de danos nas reações fotoquímicas por meio de eficiente conversão da energia luminosa em nível de FSII (BOLHÁR-NORDENKAMPF et al., 1989).

Para Critchley (1998), em valores de F_v/F_m abaixo de 0,725, certamente as folhas estarão submetidas a danos fotoinibitórios, o que não chegou a ser observado entre as cultivares avaliadas neste trabalho (Tabela 7), ou seja, a presença do gene afetou as relações supracitadas, porém não chegou a ser considerado dano fotoinibitório, e sim um menor rendimento quântico máximo, associado possivelmente à natureza genética deste e sua interação com o gene *Bt* para essa condição.

Segundo Forbach et al. (2003) e Latham et al. (2006), sequências inclusas inseridas em transgenes dentro do T-DNA, como os promotores, terminadores ou marcadores de resistência a antibiótico, podem alterar a expressão de genes vizinhos. Outro tipo de mutação descrito pelos autores são as mutações ao longo do genoma, o que pode alterar o comportamento de plantas transformadas, além da relacionada ao gene de interesse.

Pode-se inferir que a cultivar convencional desse híbrido apresentou melhor desempenho com maior F_v/F_m e F_v/F_o e com menor F_o/F_m , o que caracteriza melhor desempenho fisiológico, comparado ao seu transgênico. Na literatura são encontrados resultados distintos de F_v/F_m em resposta ao déficit hídrico do solo. Lichtenthaler e Miehé (1997) afirmam que, em geral, as plantas de milho apresentam sintomas

característicos em seu aparato fotossintético, tal como rápido decréscimo na relação F_v/F_m sempre que o solo seca. Molinari et al. (2007), estudando linhagens de cana transgênica, observaram diferença 65% maior do que em plantas controle em déficit hídrico, para esse parâmetro. Desse modo, ao se compararem cultivares tolerantes com cultivares sensíveis, houve reduções significativas de F_v/F_m nas plantas sensíveis, como na cultura do sorgo (PEIXOTO et al., 2002; MOREIRA et al., 2013).

Neste trabalho, optou-se por avaliar as relações F_v/F_m e F_o/F_m , visto que elas são as mais representativas do estado fotoquímico das folhas ou mesmo indicadores de estresses (ZANANDREA et al., 2006; MOREIRA et al., 2013). Assim, estes utilizam a relação F_v/F_o como indicador da eficiência máxima do processo fotoquímico no FSII e/ou da atividade fotossintética potencial (razão máxima de produção quântica dos processos concorrentes fotoquímicos e não fotoquímicos no (FSII), apresentando valores entre 4 e 6.

No entanto, F_o/F_m indica a produção quântica basal do processo não fotoquímico no FSII, apresentando como componentes implícitos: a) a produção quântica mínima no estado adaptado ao escuro (DAS) (ΦFo); e b) a produção quântica de dissipação térmica dentro do FSII em DAS (ΦDo); dessa forma: $F_o/F_m = \Phi Fo + \Phi Do$ (ROHÁČEK; BARTÁK, 1999). Tem-se a utilização do aumento dessa relação como indicativo de estresse, sugerindo valores normais, ou seja, valores preconizados como padrão, entre 0,14 e 0,20 (ROHÁČEK, 2002).

Assim, verifica-se que as plantas estavam sob estresse, sendo mais provável por altas temperaturas (Figura 1), o que resultou em médias de F_o/F_m em torno de 0,23 e F_v/F_o próximo de 3,30, porém sem afetar consideravelmente o F_v/F_m , que, em média, ficou acima de 0,75 (Tabela 7).

Ao se avaliar o carbono consumido ($\dot{A}C$), houve diferenças somente entre os transgênicos cultivados; o 2B707 foi superior aos demais, que não diferiram entre si. Além de apresentar comportamento diferenciado entre os transgênicos, nota-se que o carbono consumido no híbrido 2B707 transgênico foi superior ao seu convencional (Tabela 7).

Na Tabela 8, observaram-se diferenças entre as médias de transpiração (E), condutância estomática (g_s), taxa fotossintética (A), clorofilômetro (SPAD), fluorescência inicial (F_o), rendimento quântico máximo (F_v/F_m), produção quântica basal dos processos não fotoquímicos no PSII (F_o/F_m) e coeficiente de extinção fotoquímico (qP) de plantas de milho para o fator Disponibilidade Hídrica.

Tabela 7 - Valores médios de rendimento quântico máximo (F_v/F_m), produção quântica basal dos processos não fotoquímicos no PSII (F_o/F_m), eficiência máxima do processo fotoquímico no FSII (F_v/F_o) e carbono consumido (ΔC) na combinação entre híbrido e gene. Viçosa-MG, 2013

Híbrido	F_v/F_m		F_o/F_m		F_v/F_o		ΔC ($\mu\text{mol CO}_2$)	
	Não- <i>Bt</i>	<i>Bt</i>	Não- <i>Bt</i>	<i>Bt</i>	Não- <i>Bt</i>	<i>Bt</i>	Não- <i>Bt</i>	<i>Bt</i>
Agromen 30A95	0,772 aA	0,753 aB	0,222 aB	0,246 aA	3,545 aA	3,074 aB	209,01 aA	234,36 bA
Dow 2B707	0,751 aA	0,771 aA	0,243 aA	0,227 aA	3,209 aA	3,434 aA	234,26 aB	328,53 aA
BG 7049	0,773 aA	0,764 aA	0,222 aA	0,236 aA	3,504 aA	3,303 aA	263,10 aA	234,40 bA

* Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas maiúscula na linha, para cada variável, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Gene: Não-*Bt* – convencional e *Bt* – transgênico.

Tabela 8 - Valores médios de transpiração (E), condutância estomática (g_s), taxa fotossintética (A), teor de clorofila (SPAD), fluorescência inicial (F_o), rendimento quântico máximo (F_v/F_m), produção quântica basal dos processos não fotoquímicos no PSII (F_o/F_m), eficiência máxima do processo fotoquímico no FSII (F_v/F_o) e coeficiente de extinção fotoquímico (qP) de plantas de milho nas diferentes disponibilidades hídricas. Viçosa-MG, 2013

Disponibilidade Hídrica	E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	SPAD	F_o	F_v/F_m	F_o/F_m	F_v/F_o	qP
CE	2,691 b	0,070 b	9,983 b	39,02 b	767,1 a	0,762 b	0,242 a	3,164 b	0,777 b
SE	5,306 a	0,177 a	21,442 a	42,33 a	723,0 b	0,786 a	0,223 b	3,525 a	0,823 a

* Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Disponibilidade hídrica: CE – déficit hídrico e SE – sem estresse.

As plantas cultivadas sem estresse apresentaram E , g_s , A , SPAD, F_v/F_m , F_v/F_o e qP superiores, em comparação ao cultivo em déficit hídrico. Entretanto, os resultados para as variáveis F_o e F_o/F_m foram o inverso em relação às variáveis anteriores.

A resposta mais comum ao déficit hídrico é o fechamento estomático, que provoca reduções na taxa de fotossíntese, pois reduz a disponibilidade de CO_2 (SANTOS et al., 2009; XU et al., 2008). Os dados observados neste trabalho corroboram essa afirmativa, uma vez que no tratamento sem estresse, quanto maior a taxa fotossintética, maior a condutância estomática. Eamus e Shanahan (2013) mostraram que a resposta da condutância estomática ao déficit de pressão de vapor depende do estado hídrico das folhas, sendo a condutância normalmente mais sensível a baixos potenciais de água. Nessa condição, as plantas podem apresentar menor eficiência fotossintética, causada pelo início dos processos de fotoinibição, quando a capacidade de fotoproteção é excedida, sendo indicado pelo declínio na relação F_v/F_m (Tabela 8). O déficit hídrico causou queda em F_v/F_m e aumento em F_o , podendo indicar possível início da destruição da estrutura das membranas dos tilacoides (OSMOND, 1994).

Assim, aumentos de F_o podem ocorrer, mas quando há dano no centro de reação do fotossistema II ou por redução na transferência de energia de excitação do sistema coletor de luz para o centro de reação (BAKER; ROSENQVIST, 2004), o que de certa forma incrementou a relação F_o/F_m , devido à manutenção de F_m , confirmando a presença de estresse e danos fotoinibitórios. Desse modo, observa-se que, sob estresse severo e prolongado, limitações não estomáticas (bioquímicas) começam a ocorrer. Segundo Ghannoum (2009) e Eamus e Shanahan (2013), a fotossíntese no milho sob déficit hídrico ainda tem sido pouco estudada.

As medições de emissão de fluorescência da clorofila demonstraram a fotoinibição crônica nas plantas de milho, como demonstrado pela diminuição de F_v/F_m , diante da resposta observada ao estresse. Contudo, sugere-se que a redução dos valores de F_v/F_m possa ter ocorrido devido a um ajuste fotoquímico, relacionado principalmente à diminuição do teor de clorofilas em nível foliar, observada por meio dos valores do índice indireto do teor de clorofilas no tratamento com estresse, levando, conseqüentemente, a uma redução na capacidade de coleta de luz pelas plantas.

Sabe-se que a molécula de clorofila é constantemente sintetizada e destruída em presença de luz (foto-oxidação), porém, sob intensidade de radiação luminosa muito

elevada, a velocidade de decomposição é maior, sendo o equilíbrio estabelecido a uma concentração mais baixa (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Parâmetros morfofisiológicos, tanto da parte aérea quanto radicular, estão envolvidos em mecanismos de conservação de água. Foi observado enrolamento foliar nas plantas CE, o que pode indicar adaptações para diminuir a interceptação da radiação e a área de transpiração. Esse movimento foliar do milho favorece um microclima e diminui a superfície de transpiração, levando a uma perda menor de água. Contudo, esse enrolamento, se for prolongado, também pode levar a diminuição na captação de energia e da fotossíntese. Uma maior quantidade (células motoras presentes nas folhas) e o maior tamanho dessas células promovem maior abertura da lâmina foliar, expondo uma área maior da folha de milho (SOUZA et al., 2013; ARAUS et al., 2011).

No geral, é importante frisar que o déficit hídrico, ao aumentar a perda de água pela planta (E), tende a afetar a abertura dos estômatos (g_s), o que, por consequência, altera toda a fisiologia da planta, como observado, por exemplo, na taxa fotossintética (A) (Tabela 8).

Experimento 2 - Desempenho de cultivares de milho isogênicas (Bt e não-Bt) no estágio vegetativo (V9) submetidas à competição com plantas de *Bidens pilosa* em condições ótima e de déficit hídrico

Constatou-se que as variáveis SPAD e Fm foram significativas para o fator Híbrido, sendo as médias apresentadas na Tabela 9. Verificou-se interação dupla (Híbrido e Disponibilidade Hídrica), com significância para a característica eficiência no uso da água (EUA) (Tabela 10). Na Tabela 11, para o fator Disponibilidade Hídrica foram estudadas a transpiração (E) e a fotossíntese (A), sendo essas variáveis comparadas também no fator Gene (Tabela 12), além da condutância estomática (g_s) e da relação carbono interno da câmara subestomática/carbono externo (C_i/C_a), que juntas foram significativas para esse fator.

Dessa forma, verificou-se na Tabela 9 que o teor de clorofila do 2B707 foi superior ao de 30A95, porém esses não diferiram significativamente dos do BG 7049. A degradação da clorofila em nível de folha pode ser um dos efeitos fisiológicos geneticamente controlados pela planta ou por intermédio de estresse causado por diversos fatores bióticos e abióticos (NOODEN et al., 1997; BREEZE et al., 2011; KONG et al., 2013), que está relacionado também à redução da taxa fotossintética em milho (HE et al., 2002; 2005).

Tabela 9 - Valores médios do teor de clorofila (SPAD) e fluorescência máxima (*Fm*) dos diferentes híbridos de milho. Viçosa-MG, 2013

Híbrido	SPAD	<i>Fm</i>
Agromen 30A95	33755 b	3275,200 ab
Dow 2B707	40445 a	3370,300 a
BG 7049	36595 ab	3093,100 b

* Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Verificou-se que a fluorescência máxima do 2B707 foi superior à do BG 7049, não diferindo do 30A95 (Tabela 9). Por se tratar de híbrido simples (2B707), possivelmente seu maior potencial produtivo possa ter influenciado na diferença observada de clorofilas para os demais híbridos, que são triplos, o que interfere diretamente na fluorescência em nível de folha.

Constatou-se que os valores de *Fm* foram próximos a 3.000, sendo maiores que o observado em cana-de-açúcar por Gonçalves e Santos Junior (2005), que obtiveram 2.500, e por Duraes et al. (2000) em milho, com valores próximo a 1.800, provavelmente devido às diferenças genótípicas encontradas entre os trabalhos.

A diminuição dos valores absolutos de *Fm* caracteriza deficiências de fotorredução da quinona A (quinona receptora primária estável de elétrons do PSII), que podem estar associadas à inativação do PSII nas membranas tilacoidais, afetando diretamente o fluxo de elétrons entre os fotossistemas. A *Fm* representa a energia liberada ou perdida pelos elétrons que, ejetados dos seus átomos, podem alcançar a Qa, mas, pela presença de algum bloqueador do fluxo eletrônico ou falta de demanda na produção de NADPH, ATP ou ferredoxina, retornam às suas moléculas de origem (BAKER, 2008).

Na Tabela 10, pode-se observar entre as médias de *EUA* que não houve qualquer diferença entre os híbridos dentro de cada condição cultivada (com ou sem estresse). Contudo, ao se analisar o comportamento de cada híbrido entre as condições propostas, verificou-se que a *EUA* apresentada pelo híbrido BG 7049 foi menor em déficit hídrico, comparado ao cultivo sem estresse.

As médias das variáveis transpiração foliar (*E*), condutância estomática (g_s), taxa fotossintética (*A*) e razão carbono interno e carbono externo (*Ci/Ca*) em plantas que possuem ou não o gene *Bt* são apresentadas na Tabela 11.

Tabela 10 - Valores médios de eficiência do uso de água (*EUA*) de híbridos de milho nas diferentes disponibilidades hídricas. Viçosa-MG, 2013

Híbrido	<i>EUA</i> (mol CO ₂ /mol H ₂ O)	
	CE	SE
Agromen 30A95	3,57 aA	3,19 aA
Dow 2B707	3,28 aA	3,89 aA
BG 7049	2,79 aB	3,92 aA

* Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas e maiúsculas na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Disponibilidade hídrica: CE – déficit hídrico e SE – sem estresse.

O resultado observado para *E*, *g_s* e *A* seguiu o mesmo padrão no fator Gene. Assim, as cultivares convencionais apresentaram maior *E*, *g_s* e *A* e menor *Ci/Ca* do que as transgênicas (Tabela 11). O aumento da razão *Ci/Ca* nos transgênicos foi observado possivelmente em consequência da menor taxa fotossintética, com maior quantidade de CO₂ dentro da câmara subestomática, representada pelo aumento de *Ci/Ca*, mesmo com a menor condutância estomática. Dessa forma, pode-se dizer que redução da taxa fotossintética não se deve à limitação difusiva do CO₂, e sim à limitação no potencial fotoquímico ou bioquímico das plantas transgênicas de milho, como observado nessa relação (*A*, *g_s* e *Ci/Ca*).

Tabela 11 - Valores médios de transpiração foliar (*E*), condutância estomática (*g_s*), taxa fotossintética (*A*) e razão carbono interno e carbono externo (*Ci/Ca*) de plantas de milho com ou sem o gene *Bt*. Viçosa-MG, 2013

Gene	<i>E</i> (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	<i>g_s</i> (mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	<i>A</i> (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	<i>Ci/Ca</i> (mol CO ₂)
Não- <i>Bt</i>	3,430 a	0,879 a	23,105 a	0,340 b
<i>Bt</i>	2,411 b	0,566 b	17,997 b	0,420 a

* Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Para manutenção da taxa de fotossíntese com a redução da abertura estomática, há necessidade de maior eficiência em consumir o carbono que se encontra internamente ao mesofilo foliar (ΔC) e, assim, diminuir a razão *Ci/Ca*. Lemos et al. (2012), trabalhando com milho em competição com *B. pilosa*, observaram redução da *g_s*, porém sem decréscimos na taxa fotossintética do milho. Mesmo com aumento da limitação estomática e diminuição da concentração de CO₂, a enzima fosfoenolpiruvato carboxilase (PEP) atua eficientemente em baixos níveis de CO₂ (baixo *K_m*) e

especificamente como carboxilase, o que favorece a manutenção do potencial fotossintético de plantas C4 (TAIZ; ZEIGER, 2009), como é o caso do milho.

As variáveis *E* e *A* das plantas de milho foram significativas também para disponibilidade hídrica. Assim, além dos convencionais apresentarem valores superiores para essas duas variáveis fisiológicas, verificou-se que, na condição de déficit hídrico, houve redução da *E* e *A* quando comparada à condição ideal (Tabela 12).

A resposta mais comum ao déficit hídrico é o fechamento estomático, que provoca reduções na taxa de fotossíntese, pois reduz a disponibilidade de CO₂ (SANTOS et al., 2009; XU et al., 2008). Os resultados desses autores corroboram em parte os encontrados no presente estudo, pois, com a limitação hídrica, quanto menor a capacidade de fotossíntese e condutância estomática, maior a razão do carbono interno da câmara subestomática e carbono externo, devido possivelmente a limitações não estomáticas, ou seja, danos bioquímicos ao aparato fotossintético (XU et al., 2008; ARAÚJO; DEMINICIS, 2009).

Tabela 12 - Valores médios da transpiração foliar (*E*) e taxa fotossintética (*A*) de plantas de milho nas diferentes disponibilidades hídricas. Viçosa-MG, 2013

Disponibilidade Hídrica	<i>E</i> (mol CO ₂ /mol H ₂ O)	<i>A</i> (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)
CE	2,386 b	18,109 b
SE	3,455 a	22,99 a

* Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Disponibilidade hídrica: CE – déficit hídrico e SE – sem estresse.

Diante dos resultados desses experimentos, conclui-se que, entre os híbridos cultivados, o 30A95 apresentou maior variação entre suas cultivares isogênicas. Os híbridos 2B707 e BG7049 tiveram desempenho fotossintético do transgênico semelhante ao da convencional. A presença do gene *Bt* proporciona maior sensibilidade aos híbridos em limitação hídrica. Ocorreu alteração no teor de clorofilas e na taxa fotossintética das plantas de milho *Bt*, o que resultou em desempenho inferior, em comparação com os convencionais (não-*Bt*). O déficit alterou afetou o potencial fotossintético do milho, resultando em reduções na transpiração, condutância estomática, fotossíntese líquida, rendimento quântico máximo do FSII, eficiência máxima do processo fotoquímico no FSII e teor de clorofila. A presença do gene *Bt* reduziu o desempenho fotossintético (fotossíntese líquida, condutância estomática e transpiração) do milho em competição com *B. pilosa*, independentemente da condição hídrica.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, S. A. C.; DEMINICIS, B. B. Revisão: fotoinibição da fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 7, n. 4, p. 463-472, 2009.
- ARAUS, J. L.; SÁNCHEZ, C.; EDMEADES, G. O. Phenotyping maize for adaptation to drought. In: MONNEVEUX, P.; RIBAUT, J. M. (Ed.). **Drought phenotyping in crops: from theory to practice**. Texcoco: CGIAR Generation Challenge Programme, 2011. p. 263-283.
- BAKER, B. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. **Annual Review of Plant Biology**, Boca Raton, v. 59, n. 2, p. 89-113, 2008.
- BAKER, N. R.; ROSENQVST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal Experimental Botany**, v. 55, p. 1607-1621, 2004.
- BALIEIRO NETO, G.; CIVIDANES, M. S.; BRANCO, R. B.; FELIX, M. R. F.; TRINDADE REI, F. M. de C.; NOGUEIRA, J. R. Quantificação da proteína cry1ab em folhas, caules e grãos de dois híbridos de milho *Bt* e controle das pragas *Spodoptera frugiperda* e *Helicoverpa zea*. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 70, n. 1, p. 59-66, 2013.
- BARROS, E.; LEZAR, S.; ANTONEN, M. J.; VAN DIJK J. P.; RÖHLIG R. M.; KOK, E. J.; ENGEL, K. H. Comparison of two GM maize varieties with a near-isogenic non-GM variety using transcriptomics, proteomics and metabolomics. **Plant Biotechnology Journal**, v. 8, n. 4, p. 436-451, 2010.
- BERTAMINI, M.; NEDUNCHEZHIAN, N. Photoinhibition of photosynthesis in mature and young leaves of grapevine (*Vitis vinifera* L.). **Plant Science**, v. 164, n. 4, p. 635-644, 2003.
- BORTOLOTO, V.; SILVA, T. R. B. Avaliação do desenvolvimento de milho convencional e milho *Bt*. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 2, n. 3, p. 89-95, 2009.
- BOLHAR-NORDENKAMPF, H. R.; LONG, S. P.; BAKER, N. R.; ORQUIST, G.; SCHREIBER, U.; LECHNER, E. G. Chlorophyll fluorescence as probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrument. **Functional Ecology**, v. 3, n. 4, p. 497-514, 1989.
- BULKHOV, G. N.; WIESE, C.; NEIMANIS, S.; HEBER, U. Heat sensitivity of chloroplasts and leaves: leakage of protons from thylakoids and reversible activation of cyclic electron transport. **Photosynthesis Research**, v. 59, p. 81-93, 1999.
- BREEZE, M.; HARRISON, E.; MCHATTIE, S.; HUGHES, L.; HICKMAN, R.; HILL, C.; KIDDLE, S.; KIM, Y.; PENFOLD, C. A.; JENKINS, D.; ZHANG, C.; MORRIS, K.; JENNER, C.; JACKSON, S.; THOMAS, B.; TABRETT, A.; LEGAIE, R.; MOORE, J. D.; WILD, D. L.; OTT, S.; RAND, D.; BEYNON, J.; DENBY, K.; MEAD, A.; BUCHANAN-WOLLASTON, V. High-resolution temporal profiling of transcripts during Arabidopsis leaf senescence reveals a distinct chronology of processes and regulation. **Plant Cell**, v. 23, n. 3, p. 873-894, 2011.

BRIANTAIS, J. M.; VERNOTTE, C.; PICAUD, M.; KRAUSE, G. H. A quantitative study of the slow decline of chlorophyll fluorescence in isolated chloroplasts. **Biochemical Biophys Acta**, v. 548, p. 128-138, 1979.

CAIRES, A. R. L.; SCHERER M. D.; SANTOS, T. S. B.; PONTIM, B. C. A.; GAVASSONI, W. L.; OLIVEIRA, S. L. Water stress response of conventional and transgenic soybean plants monitored by chlorophyll a fluorescence. **Journal Fluorescence**, v. 20, p. 645-649, 2010.

COELHO, H. A. **Diferentes condições de estresse hídrico no desenvolvimento de milho transgênico e convencional**. 2013. 93 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu-Sp, 2013.

COLL, A.; NADAL, A.; COLLADO, R.; CAPELLADES, G.; MESSEGUER, J.; MELÉ, E.; PALAUDELMÀS, M.; PLA, M. Gene expression profiles of MON810 and comparable non-GM maize varieties cultured in the field are more similar than are those of conventional lines. **Transgenic Research**, v. 18, n. 5, p. 801-808, 2009.

CHEN, D.; YE, G.; YANG, C.; CHEN, Y.; WU, Y. Effect after introducing *Bacillus thuringiensis* gene on nitrogen metabolism in cotton. **Field Crops Research**, v. 92, n. 1, p. 235-244, 2005.

DEMMING-ADAMS, B.; ADAMS III, W.W. Photoprotection and other responses of plants to high light stress. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 43, p. 599-626, 1992.

DIAS, D. P.; MARENCO, R. A. Photoinhibition of photosynthesis in *Minuartia guianensis* and *Swietenia macrophylla* inferred by monitoring the initial fluorescence. **Photosynthetica**, v. 44, n. 2, p. 235-240, 2006.

DILLEHAY, B. L.; ROTH, G. W.; CALVIN, D. D.; KRATOCHVIL, R. J.; KULDAU, G. A.; HYDE, J. A. Performance of *Bt* hybrids, their near isolines and leading corn hybrids in Pennsylvania and Maryland. **Agronomy Journal**, v. 96, p. 818-824, 2004.

DURÃES, F. O. M.; OLIVEIRA, A. C.; MAGALHÃES, P. C.; MARTINEZ, C. A. Detection of stress conditions in plants and potential for screening in maize by using chlorophyll fluorescence. 510-516 pp. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO MILHO, 45., REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO SORGO, 28., Pelotas, RS. **Anais...** Pelotas-RS, 2000.

EAMUS, D.; SHANAHAN, S. T. A rate equation model of stomatal responses to vapour pressure deficit and drought. **BMC Ecology**, v. 2, n. 8. Online. Disponível em: <www.biomedcentral.com/1472-6785/2/8>. Acesso em: 28 de janeiro de 2013.

FONSECA, P. R. B.; FERNANDES, M. G.; JUSTINIANO, W.; HIROITO, L.; SILVA, J. A. N. Leaf Chlorophyll Content and Agronomic Performance of *Bt* and Non-*Bt* Soybean. **Journal of Agricultural Science**, v. 5, n. 12, 2013.

FORBACH, A.; SCHUBERT, D.; LECHTENBERG, B.; GILS, M. A comprehensive characterization of single-copy T-DNA insertions in the *Arabidopsis thaliana* genome. **Plant Molecular Biology**, v. 52, n. 1, p. 161-176, 2003.

GENTY, B.; BRIANTAIS, J. M.; BAKER, N. R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron-transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 990, n. 1, p. 87-92, 1989.

GHANNOUM, O. C₄ photosynthesis and water stress. **Annals of Botany**, London, v. 103, p. 635-644, 2009.

GRZESIAK, M. T.; RZEPKA, A.; HURA, T.; HURA, K.; SKOCZOWSKI, A. Changes in response to drought stress of triticale and maize genotypes differing in drought tolerance. **Photosynthetica**, Prague, v. 45, n. 2, p. 280-287, 2007.

GREER, D. H. Effect of canopy position on the susceptibility of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) leaves on vines in an orchard environment to photoinhibition throughout the growing season. Australian. **Journal Plant Physiology**, v. 22, p. 299-309, 1995.

HE, P.; OSAKI, M.; TAKEBE, M.; SHINANO, T. Changes of photosynthetic characteristics in relation to leaf senescence in two maize hybrids with different senescent appearance. **Photosynthetica**, v. 40, n. 4, p. 547-552, 2002.

HE, P.; OSAKI, M.; TAKEBE, M.; SHINANO, T.; WASAKI, J. Endogenous hormones and expression of senescence-related genes in different senescent types of maize. **Journal Experimental Botany**, v. 56, p. 1117-1128, 2005.

KRAUSE, G. H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 42, p. 313-349, 1991.

KARUPPANAPANDIAN, T.; MOON, J-C.; KIM, C.; MANOHARAN, K.; KIM, W. Reactive oxygen species in plants: their generation, signal transduction, and scavenging mechanisms. **Australian Journal Crop Science**, v. 5, n. 6, p. 709-725, 2011.

KONG, X.; LUO, Z.; DONG, H.; ENEJI, A. E., LI, W.; LU, H. Gene expression profiles deciphering leaf senescence variation between early- and late-senescence cotton lines. **PLoS ONE**, v. 8, n. 7, p. 1-12, 2013.

LATHAM, J. R.; WILSON, A. K.; STEINBRECHER, R. A. The mutational consequences of plant transformation. **Journal of Biomedicine and Biotechnology**, p. 1-7, 2006.

LAUER, J.; WEDBERG, J. Grain yield of initial *Bt* corn hybrid introductions to farmers in the Northern Corn Belt. **Journal of Production Agriculture**, v. 12, p. 373-376, 1999.

LEMOES, J. P.; GALVÃO, J. C. C.; SILVA, A. A.; FONTANETTI, A.; CORRÊA, M. L. P.; CECON, P. R. Morfofisiologia de plantas de milho em competição com picão-preto e trapoeraba submetidas a roçada. **Planta Daninha**, v. 30, n. 3, p. 487-496, 2012.

LICHTENTHALER, H. K.; MIEHÉ, J. A. Fluorescence imaging as a diagnostic tool for plant stress. **Trends in Plant Sciences**, v. 2, n. 8, p. 316-320, 1997.

MA, B. L.; SUBEDI, K. D. Development, yield, grain moisture and nitrogen uptake of *Bt* corn hybrids and their conventional near-isolines. **Field Crops Research**, v. 93, n. 2, p. 199-211, 2005.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, n. 345, p. 659-668, 2000.

MIR, N. A.; PEREZ, R.; BEAUDRY, R. M. Chlorophyll fluorescence and whole fruit senescence in 'Golden Delicious' apple. **Acta Horticulture**, v. 464, n. 1, p. 121-126, 1998.

MOREIRA, L. R.; CARVALHO ERVILHA, J. D.; COUTINHO, P. H.; VIDIGAL, J. G.; OGLIARI, J.; MIRANDA, G. V.; PEREIRA, L. F. **Revista Vértices**, Campos dos Goytacazes/ RJ, v. 15, n. 2, p. 39-48, 2013.

MOLINARI, H. B. C.; MARUR, C. J.; DAROS, E.; CAMPOS, M. K.; CARVALHO, J. F. R. P.; FILHO, J. C. B.; PEREIRA, L. F. P.; VIEIRA, L. G. E. Evaluation of the stress-inducible production of proline in transgenic sugarcane (*Saccharum* spp.): osmotic adjustment, chlorophyll fluorescence and oxidative stress. **Physiologia Plantarum**, v. 130, n. 2, p. 218-229, 2007.

MONTEITH, J. L.; ELSTON, J. Climatic constraints on crop production, In: FOWDEN, L., MANSFIELD, T., STODDART, J. (Eds.). **Plant adaptation to environmental stress**. London: Chapman e Hall, 1996. p. 3-18.

MUNGAI, N. W.; MOTAVALLI, P. P.; NELSON, K. A.; KREMER, R. J. Differences in yields, residue composition and N mineralization dynamics of *Bt* and non-*Bt* maize. **Nutrition Cycle Agroecosystem**, v. 73, n. 1, p. 101-109, 2005.

NOODEN, L. D.; GUIAMET, J. J.; JOHN, I. Senescence mechanisms. **Physiologia Plantarum**, v. 101, n. 4, p. 746-753, 1997.

OSMOND, C. B. What is photoinhibition? Some insights from comparisons of shade and sun plants. In: BAKER, N. R.; BOWYER, J. R. (Eds). **Photoinhibition of photosynthesis: from molecular mechanisms to the field**. Oxford: BIOS Scientific Publishers, 1994. p. 1-24.

PEIXOTO, P. H. P.; DA MATTA, F. M.; CAMBRAIA, J. Responses of the photosynthetic apparatus to aluminum stress in two sorghum cultivars. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 25, p. 821-832, 2002.

RASCO, E. T.; MANGUBAT, J. R.; BURGONIO, A. B.; LOGRONO, M. L.; VILLEGAS, V. N.; FERNANDEZ, E. C. Agronomic performance and Asiatic corn borer resistance of tropical converted transgenic corn hybrids containing the truncated Cry1A(b) gene (*Bt* -11) in Davao City, Philippines. Philipp. **Journal Crop Science**, v. 35, p. 1-15, 2010.

ROHÁČEK, K. Chlorophyll fluorescence parameters: the definitions, photosynthetic meaning, and mutual relationships. **Photosynthetica**, v. 40, n. 1, p. 13-29, 2002.

ROHÁČEK, K.; BARTAK, M. Technique of the modulated chlorophyll fluorescence: basics concepts, useful parameters, and some applications. **Photosynthetica**, v. 37, n. 3, p. 339-363, 1999.

SAEG – **Sistema para análise estatística**, versão 8.0. Viçosa-MG: Fundação Artur Bernardes, 2000.

SANTEX, S. S.; YAMAMOTO, H. Y.; FISHER, D. G.; CHAN, H. T. Jr. Development and decline of chloroplasts in exocarp of *Carica papaya*. **Journal Botany**, v. 70, p. 364-373, 1992.

SANTOS, M. G.; RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C.; PIMENTEL, C. Photosynthetic parameters and leaf water potential of five bean genotypes under mild water deficit. **Biologia Plantarum**, Praga, v. 53, n. 2, p. 229-236, 2009.

SILVA, M. M. P.; VASQUEZ, H. M.; BRESSAN-SMITH, R.; SILVA, J. F. C. DA; ERBESDOBLER, E. D.; ANDRADE JUNIOR, P. S. C. Respostas morfogênicas de gramíneas forrageiras tropicais sob diferentes condições hídricas do solo. **Revista Brasileira Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 34, n. 5, p. 1493-1504, 2006.

SOUZA, T. C.; CASTRO, E. M.; MAGALHÃES, P. C.; LINO, L. O.; ALVES, E. T.; ALBUQUERQUE, P. E. P. M. Morphophysiology, morphoanatomy, and grain yield under field conditions for two maize hybrids with contrasting response to drought stress. **Acta Physiology Plant**, v. 35, n. 11, p. 3201-3211, 2013.

SCHIOCHET, C.; MARCHIORO, V. S. Avaliação da produtividade de diferentes tecnologias *Bt* em milho. **Cultivando o Saber**. Cascavel, v. 4, n. 1, p. 188-197, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. p. 820.

VAN KOOTEN, O.; SNEL, J. F. H. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. **Photosynth Res.**, v. 25, p. 147-150, 1990.

XU, Z. Z.; ZHOU, G. S.; WANG, Y. L.; HAN, G. X.; LI, Y. J. Changes in chlorophyll fluorescence in maize plants with imposed rapid dehydration at different leaf ages. **Journal Plant Growth Regulation**, Berlin, v. 27, p. 83-92, 2008.

ZANANDREA, I.; NASSI, F. L.; TURCHETTO, A. C.; BRAGA, E. J. B.; PETERS, J. A.; BACARIN, M. A. Efeito da salinidade sob parâmetros de fluorescência de clorofila em *Phaseolus vulgaris*. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 12, n. 2, p. 157-161. 2006.

ZOLLA, L.; RINALDUCCI, S.; ANTONIOLI, P.; RIGHETTI, P. G. Proteomics as a complementary tool for identifying unintended side effects occurring in transgenic maize seeds as a result of genetic modifications. **Journal of Proteome Research**, v. 7, n. 5, p. 1850-1861, 2008.

WERLE, A. J. K. **Avaliação dialética de linhagens elites e híbridos de milho**. 2011. 70 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR, 2011.

WERLE, A. J. K.; NICOLAY, R. J.; SANTOS, R. F.; BORSOI, A.; SECO, D. Avaliação de híbridos de milho convencional e transgênico (*Bt*), com diferentes aplicações de inseticida em cultivo safrinha. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v. 4, n. 1, p. 150-168, 2011.

ECOFISIOLOGIA DE CULTIVARES ISOGÊNICAS DE MILHO (*Bt* E NÃO-*Bt*) NO ESTÁDIO DE FLORESCIMENTO (R1) EM CONDIÇÕES DE ESTRESSE

RESUMO

O comportamento de plantas de milho geneticamente modificadas, principalmente quanto às possíveis interações entre genes, híbridos e ambiente, ainda é pouco conhecido. Na busca de conhecimentos sobre esse assunto, realizou-se este trabalho com o objetivo de avaliar o desempenho de cultivares isogênicas de milho (*Bt* e não-*Bt*) cultivadas em condições ótimas e de estresses bióticos e abióticos, quanto a fluorescência da clorofila *a*, trocas gasosas e teor de clorofilas. Foram realizados dois experimentos: no primeiro, avaliaram-se cultivares isogênicas de milho sob condições ótimas e de limitação hídrica; e, no segundo, esses materiais foram cultivados nessas condições, em competição com *B. pilosa*. Ambos os experimentos foram realizados em esquema fatorial 3 x 2 x 2, no delineamento de blocos casualizados com cinco repetições. O primeiro fator foi constituído por três híbridos de milho; o segundo, por dois tipos de cada híbrido (transgênicos com um evento e convencional); e o terceiro foi o cultivo do milho na presença ou ausência do déficit hídrico (60% e 100% da capacidade de campo). O déficit hídrico foi aplicado quando as plantas de milho estavam no estágio V6 ao V9, totalizando 21 dias de déficit hídrico, e as avaliações fisiológicas foram realizadas no estágio R1 (florescimento) do milho. Notou-se que, em condição de déficit hídrico, a presença do gene *Bt* nos híbridos 30A95 e 2B707 alterou positivamente o desempenho fotoquímico (taxa de transporte de elétrons, rendimento quântico efetivo do PSII e *quenching* fotoquímico). No entanto, o híbrido BG 7049 apresentou desempenho inferior com o gene *Bt*. A limitação hídrica aplicada não alterou o comportamento fisiológico no estágio de florescimento das plantas de milho, em comparação à condição ótima, especificamente para as trocas gasosas das plantas. Resultados semelhantes a esses foram observados quando as cultivares isogênicas de milho (*Bt* e não-*Bt*) foram submetidas à competição com *B. pilosa*. O comportamento quanto ao potencial fotossintético das plantas de milho com o gene *Bt*, em competição com *B. pilosa*, cultivadas com e sem déficit hídrico, não foi alterado.

Palavras-chave: transgênico, convencional, fisiologia, competição, *Zea mays* L.

ECOPHYSIOLOGY OF INBRED MAIZE VARIETIES (*Bt* AND NON-*Bt*) AT THE FLOWERING STAGE (R1) UNDER STRESS CONDITIONS

ABSTRACT

The behavior of genetically modified maize plants, especially in terms of possible interactions between genes, hybrids and the environment, is still unknown. In search of knowledge on this subject, this study was aimed at evaluating the performance of inbred maize varieties (*Bt* and non-*Bt*) grown under optimal conditions and under biotic and abiotic stresses as regards chlorophyll *a* fluorescence, gas exchange and chlorophyll content. Two experiments were performed: the first one evaluated inbred maize varieties under optimal conditions and water deficit; and in the second experiment, these materials were grown under these conditions, in competition with *B. pilosa*. Both experiments were conducted in a factorial 3 x 2 x 2 arrangement, in a randomized block design with five replications. The first factor was composed of three maize hybrids; the second consisted of two types of each hybrid (GM with one event, and inbred); and the third was maize cropping in the presence or absence of water deficit (60% and 100% of field capacity). Water deficit was applied when the maize plants were at stages V6 to V9, totaling 21 days of water deficit, and physiological measurements were carried out at stage R1 of maize (flowering). It was noted that, under water deficit, the presence of the *Bt* gene in 30A95 and 2B707 hybrids positively changed photochemical performance (electron transport rate, quantum efficiency of PSI and photochemical quenching). However, the hybrid BG 7049 showed a lower performance with the *Bt* gene. The application of water deficit did not alter the physiological behavior at the flowering stage of maize plants, compared with the optimum condition, particularly for plant gas exchange. Similar results were observed when inbred maize varieties (*Bt* and non-*Bt*) were subjected to competition with *B. pilosa*. The behavior of the photosynthetic potential of maize plants with the *Bt* gene, in competition with *B. pilosa*, grown with and without water deficit, has not changed.

Keywords: GM, conventional, physiology, competition, *Zea mays* L.

INTRODUÇÃO

A biotecnologia pode fornecer meios para o aumento da produção agrícola pela aplicação do conhecimento molecular da função dos genes e das redes regulatórias envolvidas na tolerância a estresse, desenvolvimento e crescimento de novas plantas (TAKEDA; MATSUOKA, 2008). As novas cultivares, disponibilizadas no mercado, apresentam elevado potencial genético, além de outras vantagens relativas aos aspectos fitossanitários e fisiológicos, capazes de proporcionar alta produtividade (CRUZ et al., 2014).

Alguns genes são utilizados na transformação gênica de materiais vegetais, e um bastante conhecido é o gene promotor, que tem por característica o direcionamento da expressão do gene de interesse inserido. Nas transformações genéticas em milho, o mais comumente utilizado é o promotor constitutivo CaMV35S e o Ubi1, que expressa durante todo o ciclo da planta e em todas as partes vegetais. Segundo os autores, isso gera custos para a planta que, em determinadas circunstâncias, podem ser considerados desnecessários, como em ambientes com baixa pressão de insetos e em condições de estresses abióticos, pois a alocação de recursos para o crescimento ou defesa é determinada pela competição por substrato comum e energia (GAYLER et al., 2004; CARNEIRO et al., 2009; TAIZ; ZEIGER 2009).

Em milho, vários estudos têm sido conduzidos com foco no desempenho agrônomico de milho transgênico *Bt*, em comparação com o de seus homólogos não-*Bt* (DILLEHAY et al., 2004; MA; SUBEDI, 2005; MUNGAI et al., 2005; RASCO et al., 2010; LAUER; WEDBERG, 1999; WERLE et al., 2011; COELHO, 2013), no qual apresentam resultados que confirmam alterações morfofisiológicas entre isogênicos, além daquelas esperadas pela transformação genética, como diferenças em altura de plantas, diâmetro de caule, área foliar, intervalo entre florescimento masculino e feminino e concentração de enzimas antioxidantes.

Variações morfofisiológicas provocadas pela presença de diferentes tipos de estresse durante o ciclo da cultura podem ser utilizadas como importantes ferramentas para se definir o potencial produtivo das cultivares isogênicas de milho. Existem poucas informações acerca do comportamento fisiológico das plantas transgênicas como meio de justificar o suprimento de novos gastos metabólicos obtidos com a expressão de genes de resistência a pragas e doenças ou tolerância a produtos químicos. Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho de cultivares isogênicas de

milho (*Bt* e não-*Bt*) cultivadas em condições ótimas e de estresses biótico e abiótico, quanto a fluorescência da clorofila *a*, trocas gasosas e teor de clorofilas.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados em casa de vegetação entre os meses de março e junho de 2013, em esquema fatorial 3 x 2 x 2, no delineamento de blocos casualizados com cinco repetições. O primeiro fator foi constituído por três híbridos de milho (AGROMEN 30A95, DOW 2B707 e BG 7049). O segundo fator foram dois tipos de cada híbrido utilizado: os transgênicos com o evento *Bt* [AGROMEN 30A95Hx (TC 1507), DOW 2B707Hx (TC 1507) e BG 7049Y (MON 810)], sendo os dois primeiros da marca Herculex I[®] e o último da marca YieldGard[®]; e os convencionais (AGROMEN 30A95, DOW 2B707 e BG 7049). O terceiro fator foi a presença ou não do déficit hídrico (60% e 100% da capacidade de campo).

O delineamento experimental e os fatores supracitados foram utilizados em dois experimentos distintos, descritos a seguir:

Experimento 1 - Avaliaram-se cultivares isogênicas de milho em condições ótimas e de limitação hídrica.

Experimento 2 - Avaliaram-se cultivares isogênicas de milho em condições ótimas e de limitação hídrica em competição com *Bidens pilosa*.

Todos os procedimentos e avaliações descritos a seguir foram realizados de forma simultânea em ambos os experimentos, porém estudados separadamente.

Para monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar, foi instalado no centro do experimento uma estação meteorológica sem fio, realizando-se as leituras diariamente às 16h.

O cálculo da soma térmica em graus-dia (GD) foi feito a partir da temperatura média do ar, subtraída da temperatura-base. Assumiu-se que o desenvolvimento das plantas foi constante abaixo da temperatura-base de 10 °C, conforme Monteith e Elston (1996). Considerou-se a equação 1:

$$UTD = \sum_{\text{Emergência}}^{\text{Florescimento}} [(T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}}) / 2] - T_{\text{base}} \quad (\text{eq. 1})$$

em que:

UTD = unidade térmica diária (°C);

$T_{m\acute{a}x}$ = temperatura máxima do dia considerado ($^{\circ}\text{C}$);

$T_{m\acute{i}n}$ = temperatura mínima do dia considerado ($^{\circ}\text{C}$); e

T_{base} = temperatura-base inferior.

O substrato utilizado para o cultivo das plantas foi constituído de amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) de textura argiloarenosa. Antes do enchimento dos vasos, o solo foi seco ao ar, destorroado, passado em peneira com mesh de 20 mm e corrigido com 0,045 kg de calcário dolomítico 100% PRNT/vaso contendo 33,0 L do solo (3,0 t/ha do corretivo). Após isso, manteve-se a umidade do solo com 60% da capacidade de campo por dois meses, para finalmente realizar a adubaao do substrato e o plantio do milho, conforme análise físico-química do solo (Tabela 1).

A adubaao de plantio foi feita utilizando-se adubaao fosfatada (P_2O_5) de 160 mg dm^{-3} e adubaao potássica (K_2O) de 75 mg dm^{-3} , tendo-se como fontes o susperfosfato simples e o cloreto de potássio, respectivamente.

Tabela 1 - Resultados das análises químicas do Latossolo Vermelho-Amarelo utilizado no experimento. Viçosa-MG

Características químicas do solo ⁽¹⁾								
pH	Ca	Mg	Al	H + Al	t	T	P	K
(H_2O)	(cmol _c dm ⁻³)					(mg dm ⁻³)		
4,2	0,30	0,10	0,80	6,50	4,59	7,52	1,00	39,1
Cu	Zn	Fe	Mn	B	V	M,O	Prem	
(mg dm ⁻³)					(%)	(dag kg ⁻¹)	(mg L ⁻¹)	
0,18	0,30	99,00	2,50	0,18	40,2	0,01	0,89	
Características físicas do solo ⁽²⁾								
Argila		Silte		Areia fina		Areia Grossa		
(dag kg ⁻¹)								
75		3		13		9		

⁽¹⁾ Determinaoes: pH em água; solo:soluao 1:2,5; Ca, Mg e Al, extrator KCl 1 mol L⁻¹ (EMBRAPA, 1997); $\text{Ca}(\text{OAc})^2$ 0,5 mol L⁻¹ pH7 - H+Al; P, K, Cu, Zn, Fe, Mn, extrator Mehlich-1 (DEFELIPO; RIBEIRO, 1981); B, gua quente (BERGER; TRUOG, 1939); V, ndice de saturaao por bases; m, ndice de saturaao por alumínio; MO, materia orgânica; Prem, P remanescente (ALVAREZ V. et al., 2000).

⁽²⁾ Ruiz (2005).

A parcela experimental foi composta por um vaso com capacidade de 30 dm^3 e altura de 40 cm, diâmetro superior de 33 cm e diâmetro inferior de 29 cm. Foi realizada a adubaao individual das parcelas, para maior homogeneizaao. Assim, o solo de cada

vaso foi colocado em saco de r fia e, em seguida, os adubos foram incorporados por meio de escarifica o do solo, agitando-se a mistura solo-adubo em sacos de r fia. O adubo 20-0-20 foi aplicado (3 g/vaso) em superfície; logo depois, foi feita a irriga o manual, mantendo-os na capacidade de campo.

A aplica o do déficit hídrico foi calculada de acordo com a curva de reten o de água no solo, realizada no laboratório (Gráfico 1). Os resultados de reten o foram interpolados pela equa o de Van Genuchten, dada a seguir (eq. 2), que descreve o comportamento da umidade do solo em fun o da tensão.

$$\theta_v = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha|\Psi_m|)^n]^{1/m}} \quad (\text{eq. 2})$$

em que:

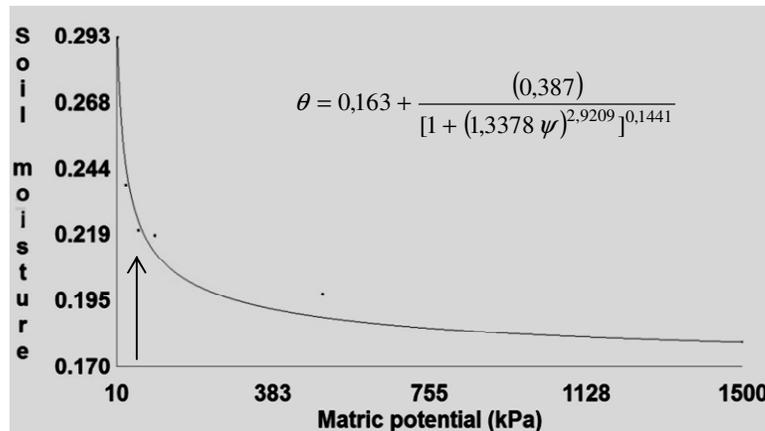
θ = umidade   base de volume, em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

θ_r = umidade residual, em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

θ_s = umidade de satura o, em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

Ψ_m = Potencial matricial, em cm; e

α , m , n = parâmetros do modelo.



Gráfico 1 - Curva de reten o de água no solo gerada pelo programa Soil Water Retention Curve (versão 3.0).

O plantio do milho no experimento 1 foi feito de forma manual, semeando-se três sementes de milho por vaso, colocando-as a 3,0 cm de profundidade e a 5,0 cm de distância entre si, na parte central do vaso. Após a emergência delas, ocorrida em 20/03/2014, iniciou-se o desbaste, mantendo-se uma planta de milho por vaso.

O plantio do milho e de *B. pilosa*, no experimento 2, foi realizado da seguinte forma: para que a emergência das plantas ocorresse na mesma época, as sementes de *B. pilosa* foram semeadas 12 dias antes do plantio do milho. Realizou-se o plantio manual, semeando-se 10 sementes da planta daninha e três sementes de milho por vaso, colocando-as a 3,0 cm de profundidade e a 5,0 cm de distância entre si, na parte central do vaso. Após a emergência delas, ocorrida em 20/03/2014, iniciou-se o desbaste, mantendo-se uma planta de milho e duas de *B. pilosa* por vaso.

A adubação com micronutrientes foi feita aplicando-se no solo, aos 17 dias após a emergência do milho, 1,39 mg dm⁻³ de H₃BO₃ (ácido bórico); 2,61 mg dm⁻³ CuCl₂·2H₂O (cloreto de cobre di-hidratado); 2,03 mg dm⁻³ ZnCl₂ (cloreto de zinco); e 0,36 mg dm⁻³ MoO₃ (ácido molibdico). Na adubação nitrogenada em cobertura, a ureia foi aplicada na forma de solução e parcelada em duas aplicações: 50% com 5 a 7 folhas completamente expandidas, e 50% com 9 a 12 folhas.

O monitoramento da umidade no solo foi feita na zona de maior atividade das raízes (0-20 cm). Esse acompanhamento foi realizado, indiretamente, por meio de medidas da tensão em que a água se encontra retida no solo. Essas medidas foram obtidas utilizando o T5 Minitensiômetro digital (INFIELD 5) com sensibilidade de 0,1 kPa.

A haste do tensiômetro foi instalada no sentido perpendicular ao solo, para aferir na faixa de 10 cm de profundidade. As leituras foram realizadas a cada 24 horas, e o volume de água aplicado por irrigação foi calculado com base na curva de retenção de água no solo; toda irrigação foi feita elevando-se a umidade do solo à capacidade de campo (-10 kPa) e quando aplicado o déficit hídrico (-70 kPa). Com as tensões observadas, foram calculadas as umidades correspondentes, a partir da curva de retenção. De posse dessas umidades e com a correspondente à capacidade de campo, foi calculado o volume de reposição por meio da equação 3:

$$V = (\theta_{cc} - \theta_{Atual}) \times 19.000 \quad (\text{eq. 3})$$

em que:

V = Volume de água, em cm³;

θ_{cc} = umidade na capacidade de campo, em cm³ cm⁻³;

θ_{Atual} = umidade na tensão de cada tratamento, em cm³ cm⁻³; e

19000 = volume de solo no vaso, em cm³.

O estresse foi iniciado no estágio vegetativo das plantas de milho, precisamente no estágio V5 (cinco folhas completamente expandidas: 10/04/2013) até o estágio V9 (nove folhas completamente expandidas: 01/05/2013), com duração de 21 dias.

Avaliações fisiológicas

As medições fisiológicas nos dois experimentos foram feitas aos 60 dias após emergência (antes do segundo déficit hídrico, ou seja, com 50% das plantas com estilostigmas visíveis). As coletas de dados foram realizadas entre 6h30 e 10hs da manhã, para que a diferença de temperatura e umidade não interferisse de forma significativa nas avaliações, obtendo-se assim o máximo potencial fotossintético das plantas.

A fluorescência da clorofila *a* foi obtida utilizando o fluorômetro portátil, modelo Multi-Mode Chlorophyll Fluorometer OS5p (Opti-Sciences). As análises foram feitas seguindo a metodologia de Genty et al. (1989), avaliando a emissão da fluorescência da clorofila na superfície adaxial das folhas.

Após adaptação de 30 minutos no escuro e temperatura controlada (26 °C) (acondicionamento das folhas com ajuda de cliques foliares), foi medida a fluorescência mínima (F_o) com luz suficientemente baixa, evitando reações fotoquímicas e foi medida também a fluorescência máxima (F_m), obtida quando todos os centros de reação do PSII estavam fechados (oxidados), isto é, no estado adaptado ao escuro; aplicando-se por 0,8 segundo um pulso de luz saturante de $7.000 \mu\text{m de fótons m}^{-2} \text{s}^{-2}$. Nas amostras adaptadas ao escuro, foram obtidos a fluorescência variável, $F_v = (F_m - F_o)$; a máxima eficiência do fotossistema (PSII) ou o rendimento quântico máximo (potencial) do PSII (F_v/F_m); a eficiência quântica máxima do processo fotoquímico no PSII (F_v/F_o); e a produção quântica basal dos processos não fotoquímicos no PSII, calculada pela razão F_o/F_m (ROHÁCEK, 2002).

Determinados os parâmetros no estado adaptado ao escuro, as folhas foram submetidas a um pulso de luz saturante, com intensidade de $1.500 \mu\text{mol fótons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e duração de 15 segundos, para as determinações dos parâmetros do estado adaptado à luz. Os parâmetros adaptados à luz obtidos foram: F_{ms} - fluorescência máxima; o *quenching* fotoquímico, calculado como $qP = (F_{ms} - F_s) / (F_{ms} - F_o')$, e o *quenching* não fotoquímico ou dissipação não fotoquímica, calculado como $NPQ = (F_m - F_{ms}) / F_{ms}$. Outros parâmetros também foram obtidos, como: taxa de transporte de elétrons (ETR) = $(F_{ms} - F_s / F_{ms}) \times \text{PPFD} \times 0,5 \times 0,84$, que equivale a (produção de quantum do PSII) x

(medidas da radiação fotossinteticamente ativa, em $\mu\text{Mols elétrons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) x (coeficiente de absorção da folha) x (fração de luz absorvida pelo complexo antena do PSII), sendo uma medida da separação de cargas do centro de reação do PSII; e o rendimento quântico efetivo do PSII adaptado à luz (PSII): $Y = F_{ms} - F / F_{ms} = \Delta F / F_{m'}$ (VAN KOOTEN; SNEL, 1990).

Foi determinado também o teor de clorofila (TC), utilizando o aparelho medidor manual Minolta SPAD-502 (Soil Plant Analysis Development). O teor de clorofila foi medido através da média obtida por três amostras simples, coletadas na folha mais jovem completamente desenvolvida. Para cada folha amostrada, foram feitas medições na base (10 cm do colmo), na parte mediana e na parte final da folha (próximo 10 cm do ápice). As três medições foram gravadas automaticamente, e a média, obtida no próprio equipamento. As leituras efetuadas pelo medidor portátil de clorofila correspondem ao teor relativo de clorofila presente na folha da planta.

Na mesma folha, foram realizadas medições com um IRGA – Infrared Gas Analyser, LI-6400 (LI-COR). Foi utilizado o fator de luminosidade para medições de $1.500 \text{ moles de fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. As avaliações foram feitas dentro de cada bloco por vez, avaliando-se sequencialmente todos os tratamentos, para que as condições climáticas fossem semelhantes. Foram escolhidas para avaliação folhas totalmente expandidas, ausentes de qualquer anormalidade visual.

As variáveis obtidas com o IRGA foram:

- a) Taxa fotossintética ($A - \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).
- b) Transpiração ($E - \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).
- c) Condutância estomática ($g_s - \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).
- d) Carbono consumido ($\Delta C - \mu\text{mol CO}_2 \text{ s}^{-1}$) a partir do CO_2 de referência e o CO_2 na câmara de avaliação.
- e) Relação C_i/C_a – concentração intercelular de CO_2 no mesofilo sobre a concentração de CO_2 externa atual ($\mu\text{mol CO}_2$).
- f) Eficiência do uso da água (EUA) – CO_2 fixado na fotossíntese/ H_2O transpirada via estômatos ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Análise estatística

Todos os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias, comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância, utilizando-se o programa estatístico SAEG (2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As plantas de milho emergiram três dias após o plantio, e o florescimento (50% das plantas com estilo-estigmas visíveis) ocorreu, em média, aos 60 dias após a emergência. Os tempos de emergência e florescimento normalmente estão relacionados às condições climáticas. Em média, utilizando-se da equação 1, foram computados em média 887,6 graus-dia para florescimento das plantas. Os valores de temperaturas mínimas e máximas (médias de 16,5 °C e 32,5 °C, respectivamente) (Figura 1) e de umidade relativa do ar (média de 85,3%) (Figura 2), obtidos dentro da casa de vegetação durante a realização do experimento foram considerados ideais para o pleno desenvolvimento das plantas de milho.

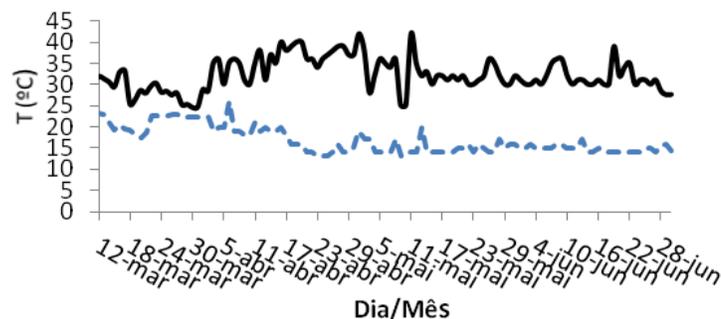


Figura 1 - Temperaturas (máximas e mínimas) observadas na casa de vegetação durante a condução do experimento, em Viçosa-MG, 2013.

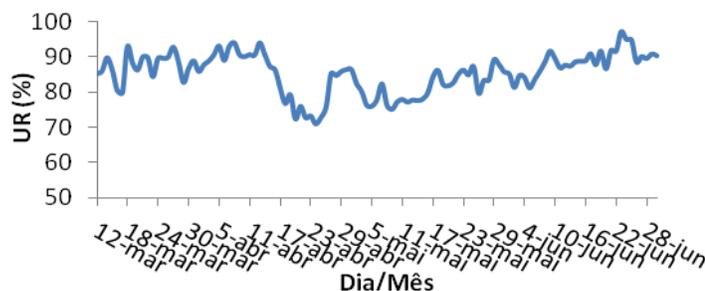


Figura 2 - Umidade relativa média do ar obtida diariamente dentro da casa de vegetação durante o experimento, em Viçosa-MG, no ano de 2013.

Experimento 1: Desempenho de cultivares de milho isogênicas (Bt e não-Bt) no estádio de florescimento pleno (R1) em condições ótimas e de déficit hídrico

O florescimento é a fase do ciclo da cultura em que há maior incremento da área foliar e de estatura, pois a planta expande todas as folhas que se diferenciaram no subperíodo de desenvolvimento vegetativo e alonga grande parte dos entrenós do colmo. Além disso, a planta encerra a formação das suas estruturas reprodutivas e desenvolve o sistema radicular adventício (SANGOI et al., 2010).

Na interação tripla (Tabela 2) houve diferenças dentro da condição de déficit hídrico (CE) para as variáveis ETR, Φ_{IIe} e qP , especificamente entre os transgênicos, no qual o 30A95 foi superior ao BG 7049. Entretanto, as cultivares convencionais não diferiram entre si nessa condição, exceto para qP , em que o híbrido BG 7049 foi superior ao 2B707.

Verificaram-se diferenças entre os isogênicos do híbrido 30A95 na condição CE, que apresentou ETR e Φ_{IIe} superiores na cultivar transgênica em comparação à convencional. Na mesma condição, ao se compararem cultivares isogênicas do híbrido 2B707, observou-se maior qP também na cultivar transgênica, porém mantendo sua ETR e Φ_{IIe} constantes. Para o híbrido BG 7049, verificou-se redução da Φ_{IIe} e qP da cultivar transgênica em relação à convencional sob estresse (Tabela 2).

A ocorrência de diferenças entre os isogênicos pode ser possivelmente justificada por vários fatores, entre os quais está a construção do transgene, pois, segundo Latham et al. (2006), desde a inserção do transgene no genoma da planta, até a transformação genética das plantas, necessita-se de um DNA de transferência, que flanqueia o transgene. Este T-DNA pode causar mutações inesperadas, como comprovado em plantas de arroz, encontrando-se uma grande porcentagem de T-DNA inserido dentro de sequências codificantes ou sequências regulatórias conhecidas, com possíveis deleções e rearranjos cromossômicos, resultando em modificações no comportamento fisiológico, que podem potencialmente ser danosas às plantas.

Tem-se utilizado o qP para discriminar genótipos (FALQUETO et al., 2007), pois o *quenching* fotoquímico representa a proporção de energia dos fótons capturada pelos centros de reação do fotossistema II abertos e dissipada via efeito fotoquímico (JUNEAU et al., 2005), o que, segundo Falqueto et al. (2007), reflete o grau de oxidação e redução da plastoquinona A (Qa). Segundo Schrelber et al. (1998), 1 μmol de fótons causa a excitação de 1 μmol de elétrons da clorofila; nessa condição, verifica-se que a eficiência do fotossistema II (Φ_{IIe}) representa a proporção desses elétrons é usadas na fase fotoquímica para redução do NADP^+ .

Tabela 2 - Valores médios de rendimento quântico efetivo (ÖIIe), taxa de transporte de elétrons (ETR) e coeficiente de extinção fotoquímico (qP) na combinação entre híbridos de milho, gene e disponibilidade hídrica (DH). Viçosa-MG, 2013

Híbrido	ÖIIe				ETR				qP			
	CE		SE		CE		SE		CE		SE	
	Não-Bt	Bt	Não-Bt	Bt	Não-Bt	Bt	Não-Bt	Bt	Não-Bt	Bt	Não-Bt	Bt
Agromen 30A95	0,411 aB	0,579 aA	0,440 aA	0,424 aA	29,02 aB	34,58 aA	30,72 aA	30,78 aA	0,712 abA	0,838 aA	0,710 aA	0,678 aA
Dow 2B707	0,400 aA	0,502 abA	0,552 aA	0,488 aA	30,82 aA	32,58 abA	34,32 aA	33,06 aA	0,643 bB	0,773 abA	0,809 aA	0,741 aA
BG 7049	0,535 aA	0,386 bB	0,418 aA	0,519 aA	32,80 aA	29,72 bA	30,44 aA	33,88 aA	0,825 aA	0,649 bB	0,684 aA	0,772 aA

* Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúsculas na linha, para cada variável em cada disponibilidade hídrica, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Disponibilidade hídrica: CE – déficit hídrico e SE – sem estresse; Gene: não-Bt – convencional e Bt – transgênico.

Tabela 3 - Valores médios de rendimento quântico efetivo (ÖIIe), taxa de transporte de elétrons (ETR) e coeficiente de extinção fotoquímico (qP) na combinação entre híbridos de milho, gene e disponibilidade hídrica. Viçosa-MG, 2013

Híbrido	ÖIIe				ETR				qP			
	Não-Bt		Bt		Não-Bt		Bt		Não-Bt		Bt	
	CE	SE	CE	SE	CE	SE	CE	SE	CE	SE	CE	SE
Agromen 30A95	0,411 a	0,440 a	0,579 a	0,424 b	29,020 a	30,720 a	34,580 a	30,780 b	1,056 a	1,273 a	1,349 a	1,187 a
Dow 2B707	0,400 b	0,552 a	0,502 a	0,488 a	30,820 a	34,320 a	32,580 a	33,060 a	0,697 b	1,304 a	1,334 a	1,019 a
BG 7049	0,535 a	0,418 b	0,386 b	0,519 a	32,800 a	30,440 a	29,720 b	33,880 a	1,288 a	1,051 a	1,013 a	1,248 a

* Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Disponibilidade hídrica: CE – déficit hídrico e SE – sem estresse; Gene: não-Bt – convencional e Bt – transgênico.

Em plantas sob condições de estresse, a menor eficiência fotossintética pode ser causada pela menor dissipação de energia através do transporte de elétrons, ocasionando declínio na eficiência do PSII, indicada pela menor taxa de transporte de elétrons (ETR) e aumento no *pool* de zeaxantina (HAVAUX, 1999; TAIZ; ZEIGER, 2009) ou pelo início dos processos de fotoinibição, quando a capacidade de fotoproteção é excedida (ARAÚJO; DEMINICIS, 2009).

É provável que, com a intensificação do déficit hídrico, a limitação bioquímica possa ter causado efeito negativo sobre a etapa fotoquímica, o que poderia ter levado a um excesso de poder redutor e a danos fotoinibitórios (DIAS; BRÜGGEMANN, 2010), o que explicaria os valores encontrados entre as cultivares isogênicas submetidas ao déficit hídrico. As reduções na taxa de transporte de elétrons e eficiência fotoquímica efetiva podem ser relacionadas também à degradação de clorofila, como observado em trabalhos realizados por Jiao et al. (2003) e Falqueto et al. (2007) na cultura do arroz.

Na Tabela 3, as cultivares isogênicas de cada híbrido foram comparadas entre as condições de cultivo (CE e SE) para as variáveis $\ddot{O}IIe$, ETR e qP . Verificou-se que o comportamento do híbrido 30A95 convencional, cultivado com ou sem estresse, foi o mesmo. Contudo, para seu isogênico transgênico, houve aumento de $\ddot{O}IIe$ e ETR com manutenção da qP na condição de déficit hídrico, comparada à condição ideal.

O comportamento do 2B707 foi praticamente o inverso do 30A95, pois o seu convencional, quando cultivado em condição de estresse, apresentou declínio do $\ddot{O}IIe$ e qP , sem variar a ETR. Entretanto, o seu isogênico transgênico manteve o mesmo comportamento no cultivo com e sem estresse para essas características (Tabela 3).

Para o BG 7049 convencional, verificou-se que o $\ddot{O}IIe$ foi maior no estresse, mantendo o qP e ETR estável. Contudo, no cultivo do transgênico, houve redução de $\ddot{O}IIe$ e ETR com manutenção da qP no cultivo com estresse, comparada à condição sem estresse, sendo contrário ao 30A95 transgênico (Tabela 3).

Ressalta-se que as cultivares isogênicas dos diferentes híbridos não seguiram uma mesma tendência de comportamento nas diferentes condições hídricas avaliadas. Isso se deve possivelmente às interações do gene *Bt* com a constituição genética específica de cada híbrido, no meio em que se encontra inserida.

Segundo Cruz e Regazzi (1994) e Sangoi et al. (2010), os genótipos se desenvolvem em sistemas dinâmicos, em que ocorrem constantes mudanças, que vão desde a semeadura até a maturação; há, geralmente, um comportamento diferenciado deles em termos de resposta às variações ambientais. Essas variações, como o déficit

hídrico, provocam modificações importantes no comportamento vegetal, cuja irreversibilidade vai depender do genótipo, da duração, da severidade e do estágio de desenvolvimento da planta (SANGOI et al., 2010; CRUZ et al., 2014).

Em estudo realizado por Caires et al. (2010), foi comprovado que a modificação genética pode proporcionar resposta diferente à tensão de água, quando comparado com os convencionais, com diferenças importantes na dinâmica do movimento estomático e também na degradação de clorofila em cultivares isogênicas de soja em condições de seca, podendo variar, dependendo da constituição genética de cada cultivar e sua interação com os fatores ambientais.

Para a característica SPAD, houve significância para a interação dupla entre o fator híbrido e gene (Tabela 4). Dessa forma, verificaram-se diferenças entre as cultivares convencionais, em que o híbrido 2B707 foi superior aos demais, que não diferiram entre si. Para os transgênicos, também se observou que a média de clorofila do 2B707 foi superior à do BG 7049, mas não diferiram do 30A95. Ao comparar cultivares isogênicas de cada híbrido, constatou-se superioridade da transgênica em relação à convencional do híbrido 30A95 (Tabela 4).

Tabela 4 - Valores médios do teor de clorofila (SPAD) no desdobramento da interação entre híbrido e gene. Viçosa-MG, 2013

Híbrido	SPAD	
	Não- <i>Bt</i>	<i>Bt</i>
Agromen 30A95	41,19 bB	46,46 abA
Dow 2B707	51,98 aA	49,28 aA
BG 7049	44,12 bA	41,80 bA

* Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas e maiúsculas na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Gene: Não-*Bt* – convencional e *Bt* – transgênico.

Como se observou na Tabela 5, houve significância para as características *Fo*, *Fm* e *Fv*. Desse modo, o comportamento obtido foi o mesmo para essas características, sendo o híbrido BG7049 inferior aos demais, que não diferiram entre si. A avaliação da fluorescência da clorofila, por sua vez, é importante para avaliação do comportamento das cultivares em relação à atividade fotoquímica, com estimativa do potencial fotossintético de maneira quase instantânea (MAXWELL; JOHNSON, 2000), indicando desempenho fotossintético inferior do híbrido BG7049 nessa condição.

Tabela 5 - Valores médios de fluorescência inicial (F_o), fluorescência máxima (F_m) e fluorescência variável (F_v) dos diferentes híbridos de milho. Viçosa-MG, 2013

Híbrido	F_o	F_m	F_v
Agr. 30A95	797,600 a	3665,25 a	2867,65 a
Dow 2B707	810,800 a	3785,40 a	2974,60 a
BG 7049	756,900 b	3455,90 b	2699,00 b

* Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Neste trabalho, optou-se por avaliar apenas as relações F_v/F_m e F_o/F_m , visto que elas são as mais representativas do estado fotoquímico das folhas ou mesmo indicadoras de estresse (ZANANDREA et al., 2006; MOREIRA et al., 2013).

Na Tabela 6, verificou-se, entre as disponibilidades hídricas, que as plantas de milho apresentaram reduções de F_v/F_m e teor de clorofila (SPAD) e aumento de F_o e F_o/F_m quando foram cultivadas em condição de déficit hídrico.

De acordo com as afirmações de Bolhár-NordenKampf & Öquist (1993) e Moreira et al. (2013), plantas sem estresse apresentam relação F_v/F_m entre 0,85 e 0,75, indicando que plantas do tratamento CE haviam se recuperado do estresse causado no estágio V6-V9.

No entanto, F_o/F_m apresenta como componentes implícitos a produção quântica mínima no estado adaptado ao escuro (DAS) (ΦF_o); e a produção quântica de dissipação térmica dentro do FSII em DAS (ΦD_o); dessa forma: $F_o/F_m = \Phi F_o + \Phi D_o$ (ROHÁČEK; BARTÁK, 1999). Tem-se a utilização do aumento dessa relação como indicativo de estresse, sugerindo valores normais, ou seja, valores preconizados como padrão, entre 0,14 e 0,20 (ROHÁČEK, 2002).

Esses resultados indicam superioridade de plantas de milho em condição ideal de cultivo, com valores maiores de F_v/F_m e menores de F_o/F_m . Porém, a alteração fisiológica proporcionada não foi somente atribuída ao déficit hídrico, como também às altas temperaturas observadas anteriormente à medição (Figura 1), pois, mesmo com a menor média da condição SE, comparada à CE, ainda assim, verificou-se que estava acima do padrão (Tabela 6).

No entanto, é possível afirmar que essa alteração não chegou a causar danos irreversíveis às plantas, pois as médias de F_o/F_m com e sem estresse estavam próximas de 0,22 e 0,21 respectivamente; contudo, a F_v/F_m de ambas não chegou a ser afetada consideravelmente, permanecendo acima de 0,75 (Tabela 6).

Tabela 6 - Valores médios de conteúdo de clorofila (SPAD), fluorescência inicial (F_o), rendimento quântico máximo (F_v/F_m) e produção quântica basal dos processos não fotoquímicos no PSII (F_o/F_m) de plantas de milho nas diferentes disponibilidades hídricas. Viçosa-MG, 2013

Disponibilidade Hídrica	SPAD	F_o	F_v/F_m	F_o/F_m
CE	43,62 b	801,03 a	0,771 b	0,220 a
SE	47,99 a	775,83 b	0,807 a	0,213 b

* Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Disponibilidade hídrica: CE – déficit hídrico e SE – sem estresse.

Quando se comparou a interação entre os fatores Gene e Disponibilidade Hídrica (Tabela 7), verificou-se que plantas de milho que expressam o gene *Bt*, ao serem cultivadas em condição ótima, apresentavam menor F_o em relação à condição com estresse. Esse resultado somente foi observado para os transgênicos, fato esse que os diferenciou dos convencionais avaliados. Contudo, independentemente da condição hídrica, verificou-se que as cultivares *Bt* tiveram a fluorescência inicial inferior à das cultivares convencionais.

Esse resultado pode estar relacionado a menores danos ao centro de reação do PSII, pois, segundo os autores, o aumento de F_o reflete a destruição do centro de reação do PSII ou o impedimento da transferência de energia para o centro de reação do PSII, pela dissociação do *LHCII* do centro de reação do PSII (BOLHÀR-NODERKAMPF et al., 1993; BERTAMINI; NEDUNCHEZHIAN, 2003; BAKER; ROSENQVST, 2004; GUIDI et al., 2006; TAIZ; ZEIGER, 2009), sinalizando o início dos danos para o PSII. Esse aumento é dependente das condições estruturais que afetam a probabilidade da transferência de energia entre os pigmentos da antena coletora de luz e o centro de reação do PSII (KRAUSE; WEIS, 1984; TAIZ; ZEIGER, 2009). Desse modo, Catuchi et al. (2011) verificaram diferenças fisiológicas relacionadas a menores danos às membranas celulares na cultivar transgênica, indicando possivelmente o mesmo comportamento do milho transgênico neste trabalho.

Por outro lado, verifica-se que com o aumento de F_o , há tendência de aumento da dissipação de energia não fotoquímica (NPQ), que é um bom indicador do fluxo de energia como calor, e seu aumento pode ocorrer como resultado do processo de proteção do dano fotoinduzido na folha (MAXWELL; JOHNSON, 2000). Alguns pesquisadores demonstraram que o NPQ está diretamente associado com a determinação da dissipação do calor através do ciclo das xantofilas (CHEN; CHENG, 2003; JIANG et al., 2005), protegendo as folhas dos danos decorrentes do excesso de

excitação das clorofilas, ou seja, o NPQ está relacionado aos processos de fotoproteção (ARAÚJO; DEMINICIS, 2009).

Pode-se observar que houve interação de Gene com Disponibilidade Hídrica também para a variável NPQ (Tabela 7). Nesse sentido, quando se comparou o cultivo de transgênicos com convencionais na condição de estresse, verificou-se maior eficiência do processo fotoquímico das cultivares transgênicas, no sentido de dissipação de energia, porém sem alterar significativamente a fotossíntese e a condutância estomática.

Tabela 7 - Valores médios de fluorescência inicial (*F_o*) e dissipação não fotoquímica (NPQ) de plantas de milho com ou sem o gene *Bt* nas diferentes disponibilidades hídricas. Viçosa-MG, 2013

Gene	<i>F_o</i>		NPQ	
	CE	SE	CE	SE
Não- <i>Bt</i>	799,53 aA	804,266 aA	0,602 bB	1,159 aA
<i>Bt</i>	802,53 aA	747,400 bB	1,049 aA	0,995 aA

* Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula na linha, para cada variável não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Disponibilidade hídrica: CE – déficit hídrico e SE – sem estresse.

Ao se avaliar cada cultivar nas diferentes condições, não houve mudança de comportamento dos transgênicos da condição de estresse para a sem estresse. Esse fato não foi observado para os convencionais, pois, quando cultivados em ambiente com déficit hídrico, houve redução da capacidade de dissipação de calor. Constatou-se que as cultivares convencionais na condição CE apresentaram NPQ inferior, em comparação ao cultivo sem estresse. Contudo, quando se compararam as isogênicas na condição de estresse, constatou-se que houve aumento do NPQ na presença do gene *Bt* (Tabela 7).

Corroborando esses resultados, Jesus Nunes (2007), avaliando linhas transgênicas e não transgênicas, observou que a linha transgênica mostrou maior eficiência na proteção do aparato fotossintético sob limitação hídrica. Segundo esse autor, isso parece revelar que a expressão constitutiva dos genes influenciou o sistema fotossintético em condições de estresse, como observado neste trabalho.

Além disso, no caso do milho, os transposons conformam a maior parte do seu genoma e podem contribuir para o desenvolvimento de alterações em nível de DNA (BIÉMONT; VIEIRA, 2006; CANDELA; HAKE, 2008; PRAY, 2008). Um fator a considerar na desestabilização da atividade dos transposons é o ambiente genético

individual, o qual, ao encontrar um ambiente genético diferente, pode interagir com outros transposons ou outros genes, quebrando a estabilidade. Isso pode resultar em variações morfofisiológicas importantes, pois podem ser variações decorrentes de processos regulatórios e não estruturais (CANDELA; HAKE, 2008; FEDOROFF, 2000).

Em trabalho com a cultura do arroz, Wang et al. (2012) concluíram que nem todos os eventos transgênicos tiveram o mesmo efeito sobre o desempenho agrônômico e fisiológico; por isso, não é interessante tirar uma conclusão geral sobre o efeito de *Bt* transgenes, pois, apesar das vantagens da utilização de plantas geneticamente modificadas resistentes a insetos, ainda há preocupação com os efeitos desconhecidos associados a essa tecnologia (NUNES, 2010; KOUSER; QAIM, 2011).

Experimento 2: Desempenho de cultivares de milho isogênicas (Bt e não-Bt) no estádio de florescimento pleno (R1) submetidas à competição com plantas de *Bidens pilosa* em condições ótimas e de déficit hídrico

Após análise estatística, constatou-se que não houve interação tripla ou dupla neste experimento. Entretanto, para o estudo de fator isolado, houve significância somente para híbridos nas características teor de clorofila (SPAD), produção quântica fotoquímica efetiva do FSII em estado adaptado à luz (Φ PSII) e taxa de transporte de elétrons (ETR) (Tabela 8).

Para a variável SPAD, o híbrido 2B707 foi superior aos demais, que não diferiram entre si. Na Φ PSII, o BG 7049 foi superior ao 30A95, porém esses não diferiram do 2B707. Assim, na ETR, o 2B707 e BG 7049 foram superiores ao 30A95, não diferindo entre si. Observa-se que, mesmo em condições de competição contínua com plantas de *B. pilosa*, o híbrido simples 2B707, por ter menor tolerância a condições desfavoráveis de cultivo, apresentou resultados satisfatórios com relação às variáveis discutidas, na comparação com os híbridos triplos avaliados.

O maior teor de clorofilas pode implicar maior capacidade de absorção de fótons por unidade de área foliar; desse modo, afetará positivamente a fluorescência deste híbrido, já que o potencial fotossintético é diretamente proporcional à quantidade de clorofila presente no tecido foliar (SCHLEMMER et al., 2005). No entanto, em plantas sob estresse, a menor eficiência fotossintética pode ser causada pela menor dissipação de energia através do transporte de elétrons, provocando declínio na eficiência do PSII, indicado pela menor taxa de transporte de elétrons (ETR) e aumento no *pool* de

zeaxantina (HAVAUX, 1999; TAIZ; ZEIGER, 2009) ou pelo início dos processos de fotoinibição, quando a capacidade de fotoproteção é excedida (ARAÚJO; DEMINICIS, 2009).

Tabela 8 - Valores médios do teor de clorofila (SPAD), produção quântica fotoquímica efetiva do FSII em estado adaptado à luz (ÖPSII) e taxa de transporte de elétrons (ETR) para os diferentes híbridos de milho avaliados, em competição com *Bidens pilosa*. Viçosa-MG, 2013

Híbrido	SPAD	ÖPSII	ETR
Agr. 30A95	40,642 b	0,606 b	30,535b
Dow 2B707	46,132 a	0,647 ab	32,595 a
BG 7049	40,677 b	0,652 a	32,860 a

* Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O rendimento quântico efetivo (Φ PSII), obtido a partir da fluorescência da clorofila *a*, pode estimar a integridade do FSII de uma determinada folha, pois revela o nível energético de excitação dos pigmentos que dirigem a fotossíntese (O'NEIL et al., 2006). Esse nível depende do balanço entre irradiação e da soma das taxas de fotossíntese e dissipação térmica (SCHOLES; HORTON, 1993); esta última não foi significativa para a comparação entre híbridos.

Nota-se que as variáveis obtidas nas trocas gasosas não mostraram diferenças quando as plantas foram conduzidas continuamente em condição de competição com *B. pilosa*, e mesmo quando se aplicou o déficit hídrico. Assim, além de os híbridos apresentarem comportamento diferenciado entre si, devido provavelmente à expressão do potencial genético intrínseco a cada cultivar e suas interações com o ambiente, eles apresentaram, no geral, resultados que indicam estarem em condições fotoquímicas adequadas.

Diante dos resultados apresentados nesses experimentos, conclui-se que, em condição de déficit hídrico, a presença do gene *Bt* nos híbridos 30A95 e 2B707 alterou positivamente o desempenho fotoquímico destes (ETR, Φ IIe e qP). No entanto, o híbrido triplo (BG 7049) mostrou desempenho inferior com o gene *Bt*, porém sem reflexos nas trocas gasosas. A modificação genética (*Bt*) proporcionou resposta fotossintética diferente ao déficit hídrico, quando comparado com os convencionais, podendo variar, dependendo da constituição genética de cada híbrido. O déficit hídrico aplicado não alterou o potencial fotossintético (fotossíntese, condutância estomática,

eficiência no uso da água, carbono consumido, razão *Ci/Ca* e transpiração) no estágio de florescimento das plantas de milho. Isso indica ter ocorrido recuperação das plantas de milho após reposição de água. Em competição com plantas de *Bidens pilosa*, o desempenho fotossintético dos híbridos de milho 30A95, 2B707 e BG 7049 foi semelhante quanto às trocas gasosas e diferiu em teor de clorofila e na fluorescência da clorofila *a*, com melhor desempenho do híbrido 2B707. O comportamento quanto ao potencial fotossintético das plantas de milho com o gene *Bt*, em competição com *B. pilosa*, cultivados com e sem déficit hídrico, não foi afetado.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, S. A. C.; DEMINICIS, B. B. Fotoinibição da fotossíntese. **Revista Brasileira Biociência**, Porto Alegre, v. 7, n. 4, p. 463-472, 2009.
- BAKER, N. R.; ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, p. 1607-1621, 2004.
- BERTAMINI, M., NEDUNCHEZHIAN, N. Photoinhibition of photosynthesis in mature and young leaves of grapevine (*Vitis vinifera* L.). **Plant Science**, v. 164, n. 4, p. 635-644, 2003.
- BIÉMONT, C.; VIEIRA, C. Genetics: Junk DNA as an evolutionary force. **Nature**, v. 443, n. 7111, p. 521-524, 2006.
- BOLHÁR-NORDENKAMPH, H. R.; ÖQUIST, G. Chlorophyll fluorescence as a tool in photosynthesis research. In: HALL, D. O.; SCURLOCK, J. M. O.; BOLHÁR-NORDENKAMPH, H. R.; LEEGOOD, L. R. C. (Ed.). **Photosynthesis and production in changing environment: a field and laboratory manual**. London: Chapman & Hall, 1993. p. 193-206.
- CAIRES, A. R. L.; SCHERER M. D.; SANTOS, T. S. B.; PONTIM, B. C. A.; GAVASSONI, W. L.; OLIVEIRA, S. L. Water Stress Response of Conventional and Transgenic Soybean Plants Monitored by Chlorophyll a Fluorescence. **Journal Fluorescence**, v. 20, p. 645-649, 2010.
- CANDELA, H.; HAKE, S. The art and design of genetic screens: maize. **Nature Reviews Genetics**, v. 9, n. 3, p. 192-203, 2008.
- CARNEIRO, A. A.; GUIMARÃES, C. T.; VALICENTE, F. H.; WAQUIL, J. M.; VASCONCELOS, M. J. V.; CARNEIRO, N. P.; MENDES, S. M. **Milho Bt: teoria e prática da produção de plantas transgênicas resistentes a insetos-praga**. Sete Lagoas, MG: Embrapa, 2009. (Circular Técnica, 135)

- CATUCHI, T. A.; VITOLO, H. F.; BERTOLLI, S. C.; SOUZA, G. M. Tolerance to water deficiency between two soybean cultivars: transgenic versus conventional. **Ciência Rural**, v. 41, n. 3, p. 373-378, 2011.
- COELHO, H. A. **Diferentes condições de estresse hídrico no desenvolvimento de milho transgênico e convencional**. 2013. 93 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP, 2013.
- CHEN, L. S.; CHENG, L. Both xanthophyll cycle-dependent thermal dissipation and the antioxidant system are up-regulated in grape (*Vitis labrusca* L. cv. Concord) leaves in response to N limitation. **Journal of Experimental Botany**, v. 54, p. 2165-2175, 2003.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 1994. p. 390.
- CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; QUEIROZ, L. R. **Milho – cultivares para 2013/2014**. Embrapa Milho e Sorgo. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/milho/cultivares/index.php>>. Acesso em: 19 mar 2014.
- DIAS, M. C.; BRÜGGEMANN, W. Limitations of photosynthesis in *Phaseolus vulgaris* under drought stress: gas Exchange, chlorophyll fluorescence and Calvin cycle enzymes. **Photosynthetica**, Prague, v. 48, n. 1, p. 96-102, 2010.
- DILLEHAY, B. L.; ROTH, G. W.; CALVIN, D. D.; KRATOCHVIL, R. J.; KULDAU, G. A.; HYDE, J. A. Performance of *Bt* hybrids, their near isolines and leading corn hybrids in Pennsylvania and Maryland. **Agronomy Journal**, v. 96, p. 818-824, 2004.
- FALQUETO, A. R.; CASSOL, D.; JUNIOR, A. M. M.; OLIVEIRA, A. C.; BACARIN, M. A. Características da fluorescência da clorofila em cultivares de arroz com ciclo precoce, médio e tardio. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, (supl. 2), p. 579-581, 2007.
- FEDOROFF, N. Transposons and genome evolution in plants. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 97, n. 13, p. 7002, 2000.
- GAYLER, S.; LESER, C.; PRIESACK, E.; TREUTTER, D. Modelling the effect of environmental factors on the “trade off” between growth and defensive compounds in Young Apple trees. Springer Berlin / Heidelberg. **Trees**, v. 18, p. 363-371, 2004.
- GENTY, B.; BRIANTAIS, J. M.; BAKER, N. R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron-transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 990, n. 1, p. 87-92, 1989.
- GUIDI, L.; DEGL’INNOCENTI, E.; FAMBRINI, M.; PUGLIESI, C.; SOLDATINI, G. F. Gas exchange analysis and chlorophyll a fluorescence in cotyledons of the xan1 sunflower mutant with defects in light energy utilization. **Environmental and Experimental Botany**, v. 56, n. 2, p. 182-189, 2006.

- HAVAUX, M.; NIYOGI, K. K. The violaxanthin cycle protects plants from photo-oxidative damage by more than one mechanism. **Proceedings of the National Academy of Sciences, USA**, v. 96, p. 8762-8767, 1999.
- JIAO, D.; JI, B.; LI, X. Characteristics of chlorophyll fluorescence and membrane-lipid peroxidation during senescence of flag leaf in different cultivars of rice. **Photosynthetica**, v. 41, n. 1, p. 33-41, 2003.
- JESUS NUNES, C. M. de. **Caracterização da Resposta ao Deficit Hídrico de Linhas Transgênicas de *Medicago truncatula* cv. Jemalong**. 2007. 74 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Celular e Biotecnologia) – Universidade de Lisboa, Portugal, 2007.
- JIANG, C. D.; LI, P. M.; GAO, H. Y.; ZOU, Q.; JIANG, G. M.; LI, L. H. Enhanced photoprotection at the early stages of leaf expansion in field-grown soybean plants. **Plant Science**, v. 168, n. 4, p. 911-919, 2005.
- JUNEAU, P.; GREEN, B. R.; HARRISON, P. J. Simulation of Pulse-Amplitude-Modulated (PAM) fluorescence: Limitations of some PAM-parameters in studying environmental stress effects. **Photosynthetica**, v. 43, n. 1, p. 75-83, 2005.
- KRAUSE, G. H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. **Annual Review of Plant Physiology and Biology**, v. 42, p. 313-349, 1991.
- KOUSER, S.; QAIM, M. Impact of *Bt* cotton on pesticide poisoning in smallholder agriculture: A panel data analysis. **Ecological Economics**, v. 70, p. 2105-2113, 2011.
- LATHAM, J. R.; WILSON, A. K.; STEINBRECHER, R. A. The mutational consequences of plant transformation. **Journal of Biomedicine and Biotechnology**, v. 2006, p. 1-7, 2006.
- LAUER, J.; WEDBERG, J. Grain yield of initial *Bt* corn hybrid introductions to farmers in the Northern Corn Belt. **Journal of Production Agriculture**, v. 12, p. 373-376, 1999.
- MA, B. L.; SUBEDI, K. D. Development, yield, grain moisture and nitrogen uptake of *Bt* corn hybrids and their conventional near-isolines. **Field Crops Research**, v. 93, n. 2, p. 199-211, 2005.
- MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence -- a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, p. 659-668, 2000.
- MONTEITH, J. L.; ELSTON, J. Climatic constraints on crop production, In: FOWDEN, L.; MANSFIELD, T., STODDART, J. (Eds.). **Plant adaptation to environmental stress**. London: Chapman e Hall, 1996. p. 3-18.
- MOREIRA, L. R.; CARVALHO ERVILHA, J. D.; COUTINHO, P. H.; VIDIGAL, J. G.; OGLIARI, J.; MIRANDA, G. V.; PEREIRA, L.F. **Revista Vértices**, Campos dos Goytacazes/ RJ, v. 15, n. 2, p. 39-48, 2013.

MUNGAI, N. W.; MOTAVALLI, P. P.; NELSON, K. A.; KREMER, R. J. Differences in yields, residue composition and N mineralization dynamics of *Bt* and non-*Bt* maize. **Nutrition cycle agroecosystem**, v. 73, n. 1, p. 101-109, 2005.

NUNES, D.H. **Efeitos do algodoeiro geneticamente modificado (Bollgard®) em organismos não-alvo**. 2010, 211 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2010.

O'NEILL, P. M.; SHANAHAN, J. F.; SCHEPERS, J. S. Use of chlorophyll fluorescence assessments to differentiate corn hybrid response to variable water conditions. **Crop Science**, v. 46, n. 2, p. 681-687, 2006.

PRAY, L. Transposons, or jumping genes: Not junk DNA. **Nature Education**, v. 1, n. 1, p. 32, 2008.

RASCO, E. T.; MANGUBAT, J. R.; BURGONIO, A. B.; LOGRONO, M. L.; VILLEGAS, V. N.; FERNANDEZ, E. C. Agronomic performance and Asiatic corn borer resistance of tropical converted transgenic corn hybrids containing the truncated Cry1A(b) gene (*Bt* -11) in Davao City, Philippines. Philipp. **Journal Crop Science**, v. 35, p. 1-15, 2010.

ROHÁČEK, K. Chlorophyll fluorescence parameters: the definitions, photosynthetic meaning, and mutual relationships. **Photosynthetica**, v. 40, n. 1, p. 13-29, 2002.

ROHÁČEK, K.; BARTAK, M. Technique of the modulated chlorophyll fluorescence: basics concepts, useful parameters, and some applications. **Photosynthetica**, v. 37, n. 3, p. 339-363, 1999.

SAEG – Sistema para análise estatística, versão 8.0. Viçosa-MG: Fundação Artur Bernardes, 2000.

SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; RAMBO, L. **Ecofisiologia da cultura do milho para altos rendimentos**. Lages: Graphel, 2010. p. 87.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. **Manejo da irrigação no feijoeiro**. Comunicado Técnico 38, 2002.

SCHREIBER, U.; BILGER, W.; HORMANN, H.; NEUBAUER, C. In: RAGHAVENDRA, A. S. (Ed.). **Photosynthesis: a comprehensive treatise**. Cambridge: Cambridge University Press, 1998. 320 p.

SCHLEMMER, M. R.; FRANCIS D. D.; SHANAHAN, J. F.; SCHEPERS, J. S. Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. **Agronomy Journal**, v. 97, p. 106-112, 2005.

SCHOLES, I. D.; HORTON, P. **Photosynthesis and chlorophyll fluorescence: simultaneous measurements**. In: METHODS IN COMPARATIVE PLANT ECOLOGY. HENDRY, G. A. F. (Ed). A laboratory manual. Ed. by Grime IP. London: Chapman & Hall, 1993. 252 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. p. 820.

TAKEDA, S.; MATSUOKA, M. Genetic approaches to crop improvement: responding to environmental and population changes. **Nature Reviews Genetics**, v. 9, p. 444-57, 2008.

VAN KOOTEN, O.; SNEL, J. F. H. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. **Photosynthesis Research**, v. 25, n.3, p.147-150, 1990.

ZANANDREA, I.; NASSI, F. L.; TURCHETTO, A. C.; BRAGA, E. J. B.; PETERS, J. A.; BACARIN, M. A. Efeito da salinidade sob parâmetros de fluorescência de clorofila em *Phaseolus vulgaris*. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 12, n. 2, p. 157-161. 2006.

WANG, F.; YE, C.; ZHU, L.; N, L.; CUI, K.; PENG, S.; LIN, Y.; HUANG J. Yield differences between *Bt* transgenic rice lines and their non-*Bt* counterparts, and its possible mechanism. **Field Crops Research**, v. 126, n. 1, p. 8-15, 2012.

WERLE, A. J. K.; NICOLAY, R. J.; SANTOS, R. F.; BORSOI, A.; SECO, D. Avaliação de híbridos de milho convencional e transgênico (*Bt*), com diferentes aplicações de inseticida em cultivo safrinha. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v. 4, n. 1, p. 150-168, 2011.

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE CULTIVARES ISOGÊNICAS DE MILHO (*Bt* E NÃO-*Bt*) e de *Bidens pilosa* EM CONDIÇÕES DE ESTRESSES

RESUMO

Acredita-se que as características morfológicas de cultivares isogênicas de milho (*Bt* e não-*Bt*) e de plantas de picão-preto possam ter alterações quando cultivadas em condições de estresses. A fim de esclarecer essa hipótese, realizou-se este trabalho com o objetivo de conhecer o desempenho de cultivares isogênicas de milho (*Bt* e não-*Bt*) em competição com plantas de *Bidens pilosa* com e sem déficit hídrico, cultivadas em condições ótimas e de estresses bióticos e abióticos, quanto a fluorescência da clorofila *a*, trocas gasosas e teor de clorofilas. Foram realizados dois experimentos: no primeiro, avaliaram-se cultivares isogênicas de milho sob condições ótimas e de limitação hídrica; e, no segundo, esses materiais foram cultivados nessas condições, em competição com *B. pilosa*. Em ambos os experimentos utilizou-se o esquema fatorial 3 x 2 x 2, no delineamento de blocos casualizados com cinco repetições. O primeiro fator foram três híbridos de milho; o segundo, dois tipos de cada híbrido (transgênicos com um evento e convencional); e o terceiro foi o cultivo do milho na presença ou não do déficit hídrico (60% e 100% da capacidade de campo). O primeiro déficit hídrico foi aplicado quando as plantas de milho estavam no estágio V6 ao V9, totalizando 21 dias de déficit hídrico, e o segundo no estágio R1 (florescimento), com duração de sete dias. As avaliações morfológicas foram realizadas no estágio R3 (grãos leitosos). Entre os híbridos avaliados, o 2B707 apresentou melhor desempenho agrônômico, porém com maior instabilidade na presença do gene *Bt*. Ocorreram modificações não esperadas quanto ao desempenho morfológico das plantas de milho cultivadas em condições de déficit hídrico, o que resultou em aumento do número de dias entre o florescimento masculino e o feminino. Isso interferiu negativamente no acúmulo de massa de matéria seca na espiga e no pendão. Os híbridos 2B707 e BG7049 mostraram melhor desempenho quando em competição com plantas de *B. pilosa*. Plantas com a inserção do gene *Bt* tiveram menor desempenho morfológico em condição de competição. Houve aumento do intervalo entre o florescimento masculino e o feminino e redução da matéria seca na parte reprodutiva do milho. O comportamento morfológico de plantas de *B. pilosa* não foi alterado por cultivares isogênicas de milho em condição de déficit hídrico. No entanto, os componentes de produção das plantas de *B. pilosa* em competição com híbridos de milho em condição de déficit hídrico foram afetados negativamente.

Palavras-chave: transgênico, convencional, planta daninha e *Zea mays* L.

MORPHOLOGICAL FEATURES OF INBRED MAIZE VARIETIES (*Bt* AND NON-*Bt*) AND *Bidens pilosa* UNDER STRESS

ABSTRACT

It is believed that the morphology of inbred maize varieties (*Bt* and non-*Bt*) and beggartick plants may change when they are under stress. In order to verify this hypothesis, this study was conducted to gain further information on the performance of inbred maize varieties (*Bt* and non-*Bt*) in competition with *Bidens pilosa* plants with and without water deficit, grown under optimal conditions and under biotic and abiotic stresses as regards chlorophyll *a* fluorescence, gas exchange and chlorophyll content. Two experiments were performed: the first evaluated inbred maize varieties under optimal conditions and under water deficit; and in the second experiment, these materials were grown under these conditions, in competition with *B. pilosa*. Both experiments used a factorial 3 x 2 x 2 arrangement, in a randomized block design with five replications. The first factor was three maize hybrids; the second, two types of each hybrid (GM with one event, and inbred); and the third was maize cropping in the presence or absence of water deficit (60% and 100% of field capacity). The first water stress was applied when the maize plants were at stages V6 to V9, totaling 21 days of water stress, and the second, at stage R1 (flowering), lasting seven days. Morphological evaluations were conducted at stage R3 (milky grains). Among the assessed hybrids, 2B707 showed the best agronomic performance, but had the greatest instability in the presence of the *Bt* gene. There were unexpected changes in the morphological performance of maize plants grown under water deficit, which resulted in an increase in the number of days between male and female flowerings. This negatively affected dry matter accumulation in the ear and tassel. The 2B707 and BG7049 hybrids showed better performance when in competition with *B. pilosa* plants. Plants with the insertion of the *Bt* gene had lower morphological performance when in competition. There was an increase in the gap between male and female flowerings and reduction of dry matter at the reproductive stage of maize. The morphological behavior of *B. pilosa* was not altered by inbred maize varieties under water stress. However, the production components of *B. pilosa* plants in competition with maize hybrids under water stress conditions were adversely affected.

Keywords: GM, conventional, weed and *Zea mays* L.

INTRODUÇÃO

Atualmente o milho (*Zea mays* L.) é produzido em cerca de 100 milhões de hectares, em 125 países, e está entre as três culturas mais cultivadas em 75 destes países. Em 2012/2013, a produção mundial total foi de aproximadamente 872 milhões de toneladas de grãos, em uma área cultivada de 177 milhões de hectares. O Brasil produziu cerca de 71 milhões de toneladas em uma área de 14 milhões de ha, com média de 5.005,7 kg em produtividade, com estimativa na safra de 2013/2014 de 73,8 milhões de toneladas produzidas praticamente na mesma área (FAOSTAT, 2014).

O avanço em produtividade enfrenta um importante desafio, que está relacionado à adaptação de culturas às mudanças climáticas e à manutenção da resistência genética a insetos e doenças. No cultivo do milho, as perdas causadas por pragas constituem um dos fatores limitantes para obter altas produtividades; no Brasil, a lagarta-do-cartucho é a principal praga encontrada na cultura do milho, causando reduções na produção de grãos de até 30% (PURCINO et al., 2009). Além disso, a ocorrência de deficiência hídrica nas diferentes fases fenológicas da cultura do milho afeta a produtividade de formas distintas (MAGALHÃES; DURÃES, 2002; BERGAMASCHI et al., 2004; ARAUS et al., 2011). O déficit hídrico provoca modificações importantes no comportamento vegetal, cuja irreversibilidade vai depender do genótipo, da duração, da severidade e do estágio de desenvolvimento da planta (SANGOI et al., 2010; CRUZ et al., 2013).

Algumas pesquisas já foram realizadas com foco no desempenho agrônomico das culturas transgênicas *Bt* em comparação com seus homólogos não-*Bt*, principalmente na cultura do tabaco (YAN et al., 2003), algodão (CHEN et al., 2005; BLANCHE et al., 2006; KOUSER et al., 2011), arroz (KIM et al., 2008; CHEN et al., 2006; WANG et al., 2012), soja (CAIRES et al., 2010; CATUCHI et al., 2011) e milho (COLL et al., 2009; SCHIOCHET; MARCHIORO, 2011; WERLE et al., 2011; FONSECA et al., 2013; BALIEIRO NETO et al., 2013), em diferentes condições de cultivo.

Desse modo, é possível afirmar que modificações genéticas para contornar as perdas por estresses bióticos, como a resistência de plantas a insetos, podem vir a proporcionar nas plantas transgênicas uma resposta diferente ao uso de recursos naturais (água, CO₂, luz, nutrientes), quando comparadas com as convencionais (BARROS et al., 2010; SCHIOCHET; MARCHIORO, 2011; WERLE et al., 2011; FONSECA et al., 2013; BALIEIRO NETO et al., 2013). Portanto, podem-se esperar significativas

interações (genótipo x ambiente x manejo) com variabilidade na resposta das atuais cultivares de milho às tecnologias atualmente utilizadas.

Objetivou-se neste estudo avaliar o comportamento morfológico de cultivares isogênicas de milho (*Bt* e não-*Bt*) submetidas a condições ótimas e de limitação hídrica, com e sem competição com plantas de *Bidens pilosa*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados em casa de vegetação entre os meses de março e junho do ano de 2013, em esquema fatorial 3 x 2 x 2, no delineamento de blocos casualizados com cinco repetições. O primeiro fator foi constituído por três híbridos de milho (AGROMEN 30A95, DOW 2B707 e BG 7049). O segundo foram dois tipos de cada híbrido utilizado: os transgênicos com o evento *Bt* [AGROMEN 30A95Hx (TC 1507), DOW 2B707Hx (TC 1507) e BG 7049Y (MON 810)], sendo os dois primeiros da marca Herculex I[®] e o último da marca YieldGard[®]; e os convencionais (AGROMEN 30A95, DOW 2B707 e BG 7049). O terceiro fator foi a presença ou não do déficit hídrico (60% e 100% da capacidade de campo).

O delineamento experimental e os fatores supracitados foram utilizados em dois experimentos distintos, descritos a seguir:

Experimento 1 - Avaliaram-se cultivares isogênicas de milho em condições ótimas e de limitação hídrica.

Experimento 2 - Avaliaram-se cultivares isogênicas de milho em condições ótimas e de limitação hídrica em competição com *Bidens pilosa*.

Todos os procedimentos e avaliações descritos a seguir foram realizados de forma simultânea em ambos os experimentos, porém estudados separadamente.

Para monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar, foi instalado no centro do experimento uma estação meteorológica sem fio, realizando-se as leituras diariamente às 16h. A temperatura máxima registrada no aparelho foi sempre em torno das 13h, e a mínima do dia, de madrugada.

O cálculo da soma térmica em graus-dia (GD) foi feito a partir da temperatura média do ar, subtraída da temperatura-base. Assumiu-se que o desenvolvimento das plantas foi constante entre a temperatura-base inferior (10 °C) e a temperatura base superior (32 °C), conforme Monteith e Elston (1996). Considerou-se a equação 1:

$$UTD = \sum_{\text{Emergência}}^{\text{Estádio 3}} [(T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}}) / 2] - T_{\text{base}} \quad (\text{eq. 1})$$

em que:

UTD = unidade térmica diária ($^{\circ}\text{C}$);

$T_{\text{máx}}$ = temperatura máxima do dia considerado ($^{\circ}\text{C}$);

$T_{\text{mín}}$ = temperatura mínima do dia considerado ($^{\circ}\text{C}$); e

T_{base} = temperatura-base inferior.

O substrato utilizado para o cultivo das plantas foi constituído de amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) de textura argiloarenosa. Antes do enchimento dos vasos, o solo foi seco ao ar, destorroado, passado em peneira com mesh de 20 mm e corrigido com 0,045 kg de calcário dolomítico 100% PRNT/vaso contendo 33,0 L do solo (3,0 t/ha do corretivo). Após isso, manteve-se a umidade do solo com 60% da capacidade de campo por dois meses, para finalmente realizar a adubação do substrato e o plantio do milho, conforme análise físico-química do solo (Tabela 1).

A adubação de plantio foi feita utilizando-se adubação fosfatada (P_2O_5) de 160 mg dm^{-3} e adubação potássica (K_2O) de 75 mg dm^{-3} , empregando como fontes o susperfosfato simples e o cloreto de potássio, respectivamente.

Tabela 1 - Resultados das análises químicas do Latossolo Vermelho-Amarelo utilizado no experimento. Viçosa-MG

Características químicas do solo ⁽¹⁾								
pH	Ca	Mg	Al	H + Al	t	T	P	K
(H_2O)	(cmol _c dm ⁻³)						(mg dm ⁻³)	
4,2	0,30	0,10	0,80	6,50	4,59	7,52	1,00	39,1
Cu	Zn	Fe	Mn	B	V		M,O	Prem
(mg dm ⁻³)					(%)		(dag kg ⁻¹)	(mg L ⁻¹)
0,18	0,30	99,00	2,50	0,18	40,2		0,01	0,89
Características físicas do solo ⁽²⁾								
Argila		Silte		Areia fina		Areia Grossa		
(dag kg ⁻¹)								
75		3		13		9		

⁽¹⁾ Determinações: pH em água; solo:solução 1:2,5; Ca, Mg e Al, extrator KCl 1 mol L⁻¹ (EMBRAPA, 1997); Ca(OAc)² 0,5 mol L⁻¹ pH7 - H+Al; P, K, Cu, Zn, Fe, Mn, extrator Mehlich-1 (DEFELIPO; RIBEIRO, 1981); B, água quente (BERGER; TRUOG, 1939); V, índice de saturação por bases; m, índice de saturação por alumínio; MO, matéria orgânica; Prem, P remanescente (ALVAREZ V. et al., 2000).

⁽²⁾ Ruiz (2005).

A parcela experimental foi composta por um vaso com capacidade de 30 dm³ e altura de 40 cm, com diâmetro superior de 33 cm e diâmetro inferior de 29 cm. Foi realizada a adubação individual das parcelas, para maior homogeneização. Assim, o solo de cada vaso foi colocado em saco de rafia e, em seguida, os adubos foram incorporados por meio de escarificação do solo agitando-se a mistura solo-adubo em sacos de rafia. O adubo 20-0-20 foi aplicado (3 g/vaso) em superfície; logo depois, foi feita a irrigação manual, mantendo-os na capacidade de campo.

O déficit hídrico foi calculado de acordo com a curva de retenção de água no solo, realizada no laboratório (Gráfico 1). Os resultados de retenção foram interpolados pela equação de Van Genuchten, dada a seguir (eq. 2), que descreve o comportamento da umidade do solo em função da tensão.

$$\theta_v = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha|\Psi_m|)^n]^m} \quad (\text{eq. 2})$$

em que:

θ = umidade a base de volume, em cm³ cm⁻³;

θ_r = umidade residual, em cm³ cm⁻³;

θ_s = umidade de saturação, em cm³ cm⁻³;

Ψ_m = potencial matricial, em cm; e

α , m , n = parâmetros do modelo.

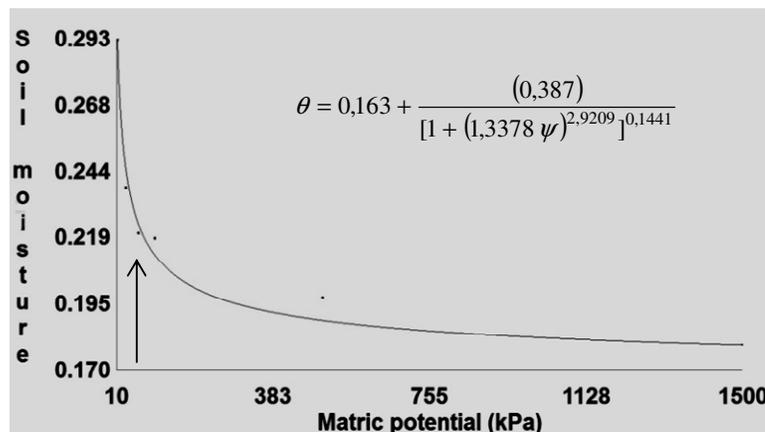


Gráfico 1 - Curva de retenção de água no solo gerada pelo programa Soil Water Retention Curve (versão 3.0).

O plantio do milho no experimento 1 foi realizado de forma manual, semeando-se três sementes de milho por vaso, colocando-as a 3,0 cm de profundidade e a 5,0 cm de distância entre si, na parte central do vaso. Após a emergência delas, ocorrida em 20/03/2014, iniciou-se o desbaste, mantendo-se uma planta de milho por vaso.

O plantio do milho e de *B. pilosa* no experimento 2 foi realizado da seguinte forma: para que a emergência das plantas ocorresse na mesma época, as sementes de *B. pilosa* foram semeadas 12 dias antes do plantio do milho. Realizou-se o plantio manual, semeando-se 10 sementes da planta daninha e três sementes de milho por vaso, colocando-as a 3,0 cm de profundidade e a 5,0 cm de distância entre si, na parte central do vaso. Após a emergência delas, ocorrida em 20/03/2014, iniciou-se o desbaste, mantendo-se uma planta de milho e duas de *B. pilosa* por vaso.

A adubação com micronutrientes foi feita aplicando-se no solo, aos 17 dias após a emergência da milho, 1,39 mg dm⁻³ de H₃BO₃ (ácido bórico), 2,61 mg dm⁻³ de CuCl₂.2H₂O (cloreto de cobre di-hidratado), 2,03 mg dm⁻³ de ZnCl₂ (cloreto de zinco) e 0,36 mg dm⁻³ de MoO₃ (ácido molibdico). Na adubação nitrogenada, a uréia foi aplicada na forma de solução e parcelada em duas aplicações: 50% com 5 a 7 folhas completamente expandidas e 50% com 9 a 12 folhas.

O monitoramento da umidade no solo foi feito na zona de maior atividade das raízes (0-20 cm). Esse acompanhamento foi realizado, indiretamente, por meio de medidas da tensão em que a água se encontra retida no solo. Essas medidas foram obtidas utilizando-se o T5 Minitensiômetro digital (INFIELD 5) com sensibilidade de 0,1 kPa.

As leituras foram realizadas a cada 24 horas e seus respectivos dados anotados em uma ficha de campo, devido ao não armazenamento do tensiômetro. O manejo de água (momento e volume de irrigação) foi realizado após duas medições por parcela com tensiômetro, quando atingiram as tensões propostas. O volume de água aplicado por irrigação foi calculado com base na curva de retenção de água no solo; toda irrigação foi feita elevando-se a umidade do solo à capacidade de campo (-10 kPa) e quando aplicado o déficit hídrico (-70 kPa). Com as tensões observadas, foram calculadas as umidades correspondentes, a partir da curva de retenção. De posse dessas umidades e com a correspondente à capacidade de campo, foi calculado o volume de reposição, por meio da equação 3.

$$V = (\theta_{cc} - \theta_{Atual}) \times 19.000 \quad (\text{eq. 3})$$

em que:

V = volume de água, em cm^3 ;

θ_{cc} = umidade na capacidade de campo, em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

θ_{Atual} = umidade na tensão de cada tratamento, em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$; e

19000 = volume de solo no vaso, em cm^3 .

Para maior confiabilidade do efeito dos tratamentos neste estudo, o déficit hídrico foi aplicado em dois períodos no ciclo do milho. Dessa forma, o primeiro estresse foi iniciado no estágio vegetativo das plantas de milho, precisamente no estágio V5 (cinco folhas completamente expandidas: 10/04/2013) até o estágio V9 (nove folhas completamente expandidas: 01/05/2013), com duração de 21 dias. O segundo estresse foi aplicado no florescimento (50% dos estilo-estigmas visíveis: 27/05) no estágio R1, com duração de sete dias.

Avaliações morfológicas

Ao final do experimento (87 dias após emergência – estágio fenológico R2-R3), retirou-se a parte aérea das plantas de milho, separando-as em folhas, órgãos reprodutivos (primórdio de espiga e pendão) e colmo. Foi retirado o solo juntamente com as raízes e, assim iniciado o processo de lavagem por meio de água; lavou-se repetidamente em baldes, até a total retirada do solo aderido às raízes.

Foram avaliadas as seguintes características morfológicas nas plantas de milho no estágio reprodutivo:

- a) Intervalo entre florescimento masculino e feminino (IFMF): foram conferidas três vezes ao dia, após a liberação do pendão nas plantas de milho; anotou-se a data de liberação do pólen da parte masculina (pendão) e a exposição dos cabelos das espigas (estilo-estigmas) da parte feminina.
- b) Número de folhas verdes e total (NFV e NFT): as folhas foram retiradas das plantas e contadas, iniciando-se a avaliação a partir da primeira folha da base até a folha-bandeira totalmente expandida.
- c) Diâmetro do caule e altura de planta (DIAM e ALT): avaliados na fase de liberação do pendão e do estilo-estigma – pleno florescimento das plantas de milho (aproximadamente 60 dias após emergência). Avaliou-se a altura das plantas, do solo até a inserção da folha-bandeira, com auxílio de uma trena graduada, e o

diâmetro de colmo, utilizando-se um paquímetro, na parte mais larga do colmo, a 10 cm do solo.

- d) Altura da inserção da primeira espiga (ALTPE): verificada pela distância do solo até a inserção da espiga no colmo.

Foram colocados, separadamente, folhas, órgãos reprodutivos, colmo e raízes das plantas de milho em sacos de papel e levados à estufa de circulação forçada de ar, a 70 °C, até atingirem peso constante, para determinação da matéria seca. Foi avaliada a matéria seca de folhas (MSF), do caule (MSC), dos órgãos reprodutivos – espiga e pendão (MSOR) e do sistema radicular (MSR), determinada por ocasião da colheita do experimento, aos 90 dias após emergência.

Por meio dos parâmetros para a análise de crescimento descrita por Benincasa (1988), foram avaliadas as seguintes características do milho:

- Área foliar específica (AFE), em $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$: obtida pelo quociente entre a área da folha mais jovem totalmente expandida – analisada no equipamento de mesa LI-COR (LI-3000) – e a matéria seca de folha.
- Área foliar total (AFT), em cm^2 : todas as folhas da planta foram analisadas utilizando o equipamento de mesa LI-COR (LI-3000).
- Razão de massa foliar (RMF), em g g^{-1} : fornecida pelo quociente entre a matéria seca de folhas e a matéria seca total da planta.
- Razão de massa caulinar (RMC): obtida pelo quociente entre a matéria seca do caule e a matéria seca total da planta.
- Razão de massa radicular (RMR): obtida pelo quociente entre a matéria seca radicular e a matéria seca total da planta.
- Razão de folhas verdes (RFV): obtida pelo quociente entre o número de folhas verdes e o número de folhas senescentes da planta.
- Índice de colheita (IC), em g g^{-1} : obtido pelo quociente entre a matéria seca das espigas e a matéria seca total da planta.
- Razão parte aérea/sistema radicular (PA/SR), em g g^{-1} : obtida a partir da soma da matéria seca da parte aérea da planta (folhas + caule + primórdios florais) dividida pela matéria seca do sistema radicular (raiz).

Foram colocados, separadamente, folhas, sementes, caule e raízes das plantas daninhas de *Bidens pilosa* em sacos de papel e levados à estufa de circulação forçada de

ar, a 65 °C, até atingirem peso constante, para determinação da matéria seca. Avaliou-se a matéria seca de folhas (MSF), do caule (MSC), das sementes (MSS) e do sistema radicular (MSR). Por meio dos parâmetros para a análise de crescimento descrita por Benincasa (1988), foram avaliadas as seguintes características de *B. pilosa*:

- Razão de massa foliar (RMF), em $g\ g^{-1}$: obtida pelo quociente entre a matéria seca de folhas e a matéria seca total da planta.
- Razão de massa caulinar (RMC), em $g\ g^{-1}$: obtida pelo quociente entre a matéria seca do caule e a matéria seca total da planta.
- Razão de massa radicular (RMR), em $g\ g^{-1}$: obtida pelo quociente entre a matéria seca radicular e a matéria seca total da planta.

Análise estatística

Os resultados das avaliações foram submetidos à análise de variância, e as médias, comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância, utilizando o programa estatístico SAEG. Quando necessário, realizou-se desdobramento dos fatores em estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As plantas de milho emergiram três dias após o plantio, e o florescimento delas (50% das plantas com estilo-estigmas visíveis) ocorreu, em média, aos 60 dias após a emergência. Utilizando-se da equação 1, em média, foram computados 887,6 graus-dia para florescimento das plantas e 1.399,2 graus-dia até o estágio R2-R3. Os valores de temperaturas mínimas e máximas (médias de 16,5 °C a 32,5 °C, respectivamente) e de umidade relativa do ar (média de 85,3%) obtidos dentro da casa de vegetação durante a realização do experimento estão apresentados nas Figuras 1 e 2.

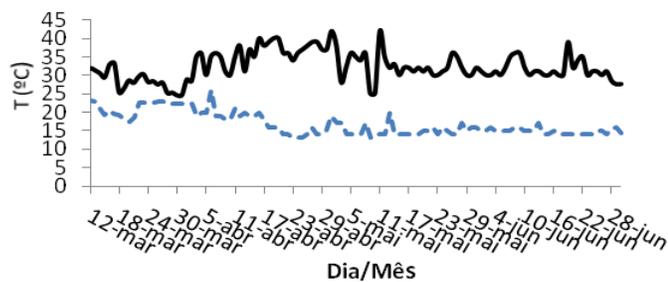


Figura 1 - Temperaturas (máximas e mínimas) na casa de vegetação durante a condução do experimento, em Viçosa-MG, 2013.

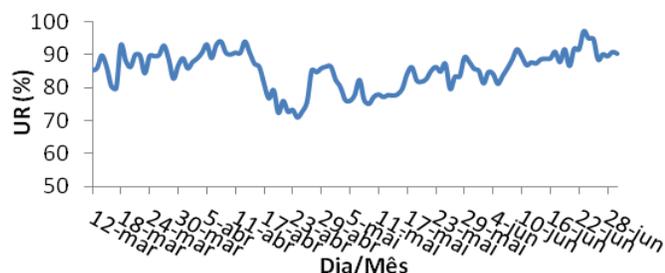


Figura 2 - Umidade relativa média do ar obtida diariamente dentro da casa de vegetação durante o experimento, em Viçosa-MG, 2013.

Experimento 1 - Avaliação biométrica de cultivares isogênicas de milho (*Bt* e não-*Bt*) em condições ótimas e de déficit hídrico

Após análise estatística, constatou-se interação tripla para a característica intervalo entre florescimento masculino e feminino (IFMF). Dessa forma, a interação foi desdobrada, estudando-se Híbridos dentro de Gene e Disponibilidade Hídrica (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2 - Médias de intervalo entre florescimento masculino e feminino (IFMF) das plantas de milho, na combinação de híbridos, gene e disponibilidade hídrica. Viçosa-MG, 2013

Híbrido	IFMF (dias)			
	CE		SE	
	Não- <i>Bt</i>	<i>Bt</i>	Não- <i>Bt</i>	<i>Bt</i>
Agr. 30A95	3,0 aA	4,4 bA	4,0 aA	1,2 bB
Dow 2B707	4,0 aB	7,2 aA	0,4 bB	4,6 aA
BG 7049	1,6 bA	2,6 bA	3,4 aA	1,2 bB

* Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha, para cada disponibilidade hídrica não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Disponibilidade hídrica: CE – déficit hídrico e SE – sem estresse; Gene: não-*Bt* – convencional e *Bt* – transgênico.

Entre os híbridos convencionais, houve diferença em dias no IFMF na condição CE, em que o híbrido BG 7049 foi inferior aos demais. Para a condição sem estresse (SE), o híbrido 2B707 foi inferior aos demais, que não diferiram entre si. No entanto, quando se avaliaram os híbridos transgênicos, nas duas condições hídricas (CE e SE), o 2B707 apresentou menor valor de IFMF em relação aos demais, que não diferiram entre si (Tabela 2).

Tabela 3 - Médias de intervalo entre florescimento masculino e feminino (IFMF) das plantas de milho, na combinação de híbridos, gene e disponibilidade hídrica. Viçosa-MG, 2013

Híbrido	IFMF (dias)			
	Não- <i>Bt</i>		<i>Bt</i>	
	CE	SE	CE	SE
Agr. 30A95	3,0 a	4,0 a	4,4 a	1,2 b
Dow 2B707	4,0 a	0,4 b	7,2 a	4,6 b
BG 7049	1,6 a	3,4 a	2,6 a	1,2 a

* Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas, para o mesmo gene, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Disponibilidade hídrica: CE – déficit hídrico e SE – sem estresse; Gene: não-*Bt* – convencional e *Bt* – transgênico.

Nesta mesma Tabela, observa-se que, quando as cultivares convencionais e transgênicas foram comparadas entre si dentro da condição CE, o transgênico do híbrido 2B707 apresentou maior IFMF em relação ao seu isogênico convencional.

Em condições ideais de disponibilidade hídrica, todos os híbridos diferiram entre os seus isogênicos; os convencionais do 30A95 e o BG 7049 foram superiores aos seus isogênicos transgênicos, diferentemente do comportamento do 2B707, que apresentou maior IFMF no transgênico (Tabela 2). Assim, observa-se que a redução da disponibilidade hídrica afetou em maior magnitude o intervalo entre o florescimento masculino e o feminino dos transgênicos.

Na Tabela 3, observa-se que, entre os híbridos convencionais, o que apresentou diferença no IFMF nas diferentes condições (CE e SE) foi o híbrido 2B707 convencional, que apresentou maior IFMF no cultivo em condições de CE quando comparado a SE, o que não foi observado entre os demais híbridos. Observou-se que as cultivares transgênicas 30A95 e 2B707 aumentaram o IFMF em condições CE quando comparadas na condição SE, fato esse não observado para o BG 7049 (Tabela 3).

Essa vem sendo uma das principais características secundárias para discriminar genótipos de milho em condições de déficit hídrico (ARAUS et al., 2011; BADU-APRAKU et al., 2011; HAO et al., 2011). Souza et al. (2013), trabalhando com dois híbridos de milho em campo, observaram que o maior valor da IFMF foi de 4,25 dias para o híbrido sensível a condições hídricas reduzidas. Entretanto, trabalhando também com cultivar resistente a seca, verificou 2,75 dias como o máximo intervalo entre o florescimento, o que indica que a natureza genética natural obtida por cruzamentos convencionais influencia no comportamento produtivo das cultivares, com possível alteração do IFMF.

Verificou-se que, de forma geral, houve tendência, no déficit hídrico, de aumento do IFMF nos isogênicos *Bt* em relação aos seus não-*Bt*. Esse aumento coincidiu com menor matéria seca de órgãos reprodutivos (MSOR) em condição de déficit hídrico (Tabela 4). A falta de sincronismo entre as inflorescências nos transgênicos pode ser um dos fatores que podem ter afetado a produção de massa seca dos órgãos reprodutivos dessa cultivar (DUBEY et al., 2010; SOUZA et al., 2013).

Segundo Latham et al. (2006), o processo de transgenia em si pode ser um fator indutor de mutações, desde que a inserção do transgene rompa a sequência de DNA endógena da planta hospedeira, gerando fenótipos inesperados e indesejados, como observado neste estudo. Outro fato a ser considerado é o número de cópias e a localização do transgene, sendo relevantes para o desenvolvimento de modificações fenotípicas (MICHALAK, 2008; VAUCHERET; FAGARD, 2001).

O maior IFMF nestas cultivares pode ser explicado pela maior sensibilidade a dias mais quentes (EDREIRA et al., 2011), sendo observadas neste experimento (Figura 1), em determinados dias, temperaturas próximas a 40 °C.

Avaliando as variáveis número de folhas totais (NFT) e número de folhas senescentes (NFS), verificou-se interação significativa entre Híbrido e Gene (Tabela 4). Na mesma Tabela, observa-se que a matéria seca de órgãos reprodutivos (MSOR) e a matéria seca total (MST) foram significativas na combinação entre Gene e Disponibilidade Hídrica.

Observou-se que, entre as cultivares isogênicas convencionais, o 30A95 apresentou NFT inferior ao dos demais híbridos. No entanto, entre os transgênicos, os híbridos 30A95 e 2B707 foram iguais e superiores ao BG 7049. Além de o 30A95 apresentar menor NFT entre convencionais, esse híbrido teve maior número de folhas senescentes (NFS) que o BG 7049 e, significativamente, foi semelhante ao 2B707. Entre os transgênicos, o 2B707 apresentou maior NFS que o BG 7049, porém não diferiu do 30A95. Esse resultado representa menor eficiência para produção de fotoassimilados, ou seja, ganho de carbono para a planta, por apresentar menor quantidade de folhas fotossinteticamente ativas na planta.

Ao se comparar o NFT de convencionais com transgênicos do híbrido 30A95, verificou-se que o transgênico foi superior ao seu isogênico convencional, não diferindo entre os isogênicos dos demais híbridos. Contudo, quando comparado o NFS dos híbridos convencionais e transgênicos, o 2B707 foi o único a apresentar diferença entre seus isogênicos, sendo o transgênico superior ao seu convencional (Tabela 4).

Tabela 4 - Valores médios de número de folhas totais (NFT), número de folhas senescentes (NFS) referente a combinação entre híbrido e gene, matéria seca de órgãos reprodutivos (MSOR) e matéria seca total (MST) na combinação entre gene e disponibilidade hídrica. Viçosa-MG, 2013

Híbrido	NFT		NFS	
	Não- <i>Bt</i>	<i>Bt</i>	Não- <i>Bt</i>	<i>Bt</i>
Agr. 30A95	15,70 bB	17,10 aA	3,60 aA	2,60 abA
Dow 2B707	17,50 aA	18,00 aA	2,40 abB	3,80 aA
BG 7049	17,60 aA	16,50 bA	2,20 bA	2,20 bA

Gene	MSOR (g)		MST (g)	
	CE	SE	CE	SE
Não- <i>Bt</i>	157,80aA	177,93aA	271,86 aB	384,00 bA
<i>Bt</i>	116,46aB	213,20aA	231,40 aB	404,87 aA

* Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula na linha, para cada variável, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Gene: não-*Bt* – convencional e *Bt* – transgênico; Disponibilidade hídrica: CE – déficit hídrico e SE – sem estresse.

Verificou-se que, quanto menor a sincronia entre o IFMF, maior a senescência foliar em alguns híbridos, o que, de acordo com Sangoi et al. (2013), em trabalho avaliando a senescência foliar e a resposta de híbridos de milho à seca, é justificável, pois esses autores concluíram que a maior sincronia entre a antese e o espigamento e a menor esterilidade feminina contribuem para retardar a senescência foliar após florescimento, resultando em maior tolerância a estresses presentes no ambiente.

A senescência foliar é um dos primeiros sintomas visíveis a ser observado na seca (SMIT; SINGELS, 2006). A senescência da folha pode ser causada por maior degradação dos pigmentos pelas espécies reativas de oxigênio (ERO), que, em condição de déficit hídrico, têm sua produção aumentada (KARUPPANAPANDIAN et al., 2011). A evolução da senescência foliar durante o enchimento de grãos depende da disponibilidade hídrica, do suprimento de nitrogênio e das relações entre fonte e demanda (BOOMSMA et al., 2009; SANGOI et al., 2010), e o seu retardamento é uma alternativa para aumentar a quantidade de carbono fixada pelas culturas (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Para massa seca de órgãos reprodutivos (MSOR), não se observou diferença entre as cultivares isogênicas, dentro de cada condição hídrica. Contudo, os transgênicos cultivados em déficit hídrico apresentaram menor MSOR, comparado com o cultivo em disponibilidade hídrica ideal, o que não ocorreu nos convencionais (Tabela 4). Nesta

tabela, nota-se que houve reduções na massa seca total das plantas (MST) quando estas foram cultivadas em condição de déficit hídrico, tanto para os transgênicos quanto para os convencionais, porém ressalta-se que somente houve redução significativa da MSOR nos transgênicos.

Nesse sentido, observa-se que plantas transgênicas também tiveram maior altura de plantas e da primeira espiga, comparadas com as convencionais (Tabela 5).

Tabela 5 - Valores médios de altura das plantas de milho (ALT) com o seu o gene *Bt*. Viçosa-MG, 2013

Gene	ALT (cm)	ALTPE (cm)
<i>Não-Bt</i>	227 b	99 b
<i>Bt</i>	253 a	117 a

* Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Gene: *não-Bt* – convencional e *Bt* – transgênico.

Resultados obtidos por diversos autores divergem do verificado neste trabalho, pois, de acordo com Coelho (2013), altura de plantas não apresentou diferença estatística entre o milho convencional e o milho transgênico, e Werle et al. (2011) demonstraram que apenas um de 10 híbridos mostrou diferença estatística entre convencional e transgênico. Riquetti (2011) observou não haver diferença entre milho convencional e transgênico quando submetidos a diferentes manejos de solo: a altura do milho variou de 2,41 a 2,48 m. Provavelmente estes resultados diferem devido aos diferentes híbridos utilizados, ao evento transgênico testado e às condições experimentais.

Ressalta-se que houve o máximo de controle de pragas, sendo o cultivo realizado em local protegido; portanto, o material convencional não encontrou barreiras ou empecilhos para o seu desenvolvimento. O milho convencional apresentou menor altura de plantas e inserção da espiga e mesmo diâmetro de colmo.

O investimento desproporcional em altura pode influenciar negativamente no rendimento de grãos por plantas e, possivelmente, apresentar gastos metabólicos excessivos para crescimento vegetativo de colmo e folhas. No entanto, vale salientar que altura de planta e inserção de espiga são fatores que, em geral, não sofrem grandes variações para cultivares testadas em um mesmo local, sob as mesmas condições climáticas e de solo, conforme relatam Souza et al. (2001), embora sejam considerados indicadores de maior produtividade de grãos (WERLE, 2011).

Na combinação desses resultados, deve-se levar em conta que a maior importância está na eficiência de formação do órgão de interesse econômico, que no caso do milho é o enchimento de grãos nas espigas. O que se espera é que plantas se desenvolvam em sua plenitude, investindo no acúmulo de carboidratos em suas partes vegetativas, para que posteriormente, na época adequada, ocorra a remobilização de assimilados e nutrientes armazenados durante o seu desenvolvimento (folhas, caule e raiz) para os grãos (SANGOI et al., 2010, 2013).

Desse modo, verificou-se que houve maior sensibilidade dos transgênicos ao déficit hídrico, com menor produção de massa seca de espiga e pendão (MSOR). Nota-se a importância de se ter maior peso de órgãos reprodutivos, mesmo em condições de baixa disponibilidade hídrica, principalmente levando-se em consideração o peso das espigas, que representam grande parte da MSOR, o que influenciará diretamente no potencial produtivo final da cultivar (MAGALHÃES et al., 2009; SANGOI et al., 2010, 2013).

Na avaliação das características DIAM, NFT, MSF, AFT, RFV e IC entre os híbridos (Tabela 6), verificou-se que o DIAM do 2B707 foi superior aos demais, porém estes não diferiram entre si. Para as características NFT, MSF e AFT, observou-se que 2B707 foi superior ao 30A95, porém eles não diferiram do BG 7049. Contudo, para a variável RFV, o híbrido BG 7049 foi superior ao 30A95, porém eles não diferiram significativamente do 2B707.

De modo geral, o 2B707 foi superior aos demais híbridos em todas as variáveis morfológicas relativas ao crescimento, porém, para o índice de colheita, o BG 7049 foi superior ao 2B707, sendo que eles não diferiram do 30A95 (Tabela 6).

Tabela 6 - Valores médios de diâmetro do caule (DIAM), número de folhas totais (NFT), matéria seca de folha (MSF), área da maior folha (AMF), área foliar total (AFT), razão de folhas verde (RFV) e índice de colheita (IC) de híbridos de milho. Viçosa-MG, 2013

Híbrido	DIAM (cm)	NFT (unidade)	MSF (g)	AFT (cm ²)	RFV	IC (g g ⁻¹)
Agr. 30A95	14,80 b	16,40b	69,85 b	10921,80 b	8,10 b	0,287 ab
Dow 2B707	17,80 a	17,80a	90,50 a	13696,45 a	8,25 ab	0,245 b
BG 7049	14,55 b	17,05ab	79,10 ab	12445,65 ab	8,70 a	0,317 a

* Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

De acordo com Magalhães et al. (2009), um dos motivos que podem ter levado a um melhor rendimento de determinado híbrido em seu trabalho foi o aumento do índice de colheita, ou seja, uma maior alocação diferencial de fotoassimilados para a espiga durante seu ciclo de vida. Essa diferença na alocação entre os híbridos reforça ainda mais a ideia de que determinados híbridos são fortemente limitados pelo dreno (BORRÁS et al., 2004; TAIZ; ZEIGER, 2009).

O índice de colheita identifica a habilidade de um híbrido em combinar elevada capacidade de produção total e destinar a matéria seca acumulada aos grãos (GRUZSKA, 2012). Cui et al. (2009), estudando um híbrido de milho durante dois anos, registraram índices de colheita de 0,42 e 0,46, respectivamente. Vale ressaltar que o IC avaliado no estádio R3 teve como objetivo obter informação no que diz respeito à capacidade de disponibilizar fotoassimilados para formação da estrutura reprodutiva das plantas de milho, ou seja, os dados apresentados se referem ao potencial de fotoassimilados que foram destinados à produção da estrutura reprodutiva (espigas empalhadas mais pendão) nessa fase de desenvolvimento em que se encontra, o que poderá refletir na época de colheita e, assim, justificar os resultados encontrados na literatura.

Trabalhando com diferentes híbridos transgênicos, Schiochet e Marchioro (2011) observaram que a tecnologia *Bt* não foi determinante para o incremento no rendimento de grãos para os híbridos avaliados. Esses autores concluíram que diferentes componentes do rendimento de grãos foram responsáveis pelo desempenho superior em produtividade de determinado híbrido. Entretanto, neste trabalho não foi efetuado o controle de insetos com inseticidas, embora, segundo os autores, as condições não tenham sido favoráveis ao ataque de pragas.

Com os resultados, pode-se afirmar, com base nos trabalhos realizados, que plantas de milho com maior colmo provavelmente apresentam maior capacidade de alocar seus recursos (DOURADO NETO et al., 2003; MANFRON et al., 2003; SANGOI et al., 2010). Não foi observada esta relação (DIAM e IC) neste trabalho, possivelmente devido a antecipação da avaliação realizada, havendo diferença na cinética de retranslocação de assimilados entre os híbridos (TAIZ; ZEIGER, 2009), ou mesmo nas relações supracitadas (IFMF, NFT e NFS), já discutidas.

O volume de fotoassimilados produzidos influenciou o crescimento do colmo, aumentando a sua capacidade cúbica de armazenamento. No segundo momento, os carboidratos armazenados no colmo são translocados para a formação e emissão das

inflorescências, com posterior desenvolvimento dos grãos, que ocorre em maior magnitude no estágio R3, quando o grão está leitoso (MAGALHÃES; DURÃES, 2002; CASTRO et al., 2008; SANGOI et al., 2010).

Além das informações supracitadas, verifica-se que em vários trabalhos as plantas com maior diâmetro de colmo também apresentam maior comprimento e diâmetro médio em suas espigas e grãos, com reflexos positivos na produtividade, atuando como órgão equilibrador da relação “fonte-dreno”, na remobilização de carboidratos de reserva, com contribuição percentual que pode variar de 17% a 44%, dependendo do genótipo (FANCELLI, 2013; BRITO et al., 2013), da população e da prolificidade (DOURADO NETO et al., 2003; SANGOI et al., 2010).

Nas razões de massas avaliadas (RMF, RMC e RMR), na combinação entre híbrido e disponibilidade hídrica, verificou-se que somente para RMF houve diferença entre os híbridos dentro de cada disponibilidade hídrica (CE e SE). Desse modo, na condição CE o híbrido 30A95 teve a RMF superior à dos demais, que não diferiram entre si. Contudo, na condição SE, o híbrido 2B707 foi superior aos demais, que não diferiram entre si (Tabela 7).

Tabela 7 - Valores médios de razão de massa foliar (RMF), razão de massa caulinar (RMC) e razão de massa radicular (RMR) referente à combinação de híbrido com disponibilidade hídrica. Viçosa-MG, 2013

Híbrido	RMF (g g ⁻¹)		RMC (g g ⁻¹)		RMR (g g ⁻¹)	
	CE	SE	CE	SE	CE	SE
Agr. 30A95	1,90 aA	1,10 bB	2,90 aA	2,60 aA	2,30 aB	3,20 aA
Dow 2B707	1,20 bA	1,60 aA	3,10 aA	3,30 aA	2,70 aA	2,70 aA
BG 7049	1,40 bA	1,10 bA	2,90 aA	3,10 aA	2,00 aB	2,90 aA

* Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha, para cada variável, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Disponibilidade hídrica: CE – déficit hídrico e SE– sem estresse.

Na mesma Tabela, na comparação do mesmo híbrido entre as condições de cultivo, observou-se que o híbrido 30A95 aumentou a RMF paralelamente à redução de sua RMR e manutenção da RMC quando a disponibilidade de água foi reduzida (CE). O mesmo ocorreu para o BG 7049, com aumento da RMF e manutenção da RMC, porém sem diferença estatística para essa característica.

O mesmo resultado já havia sido observado em trabalho realizado por Vilela e Bull (1999) em milho submetido à limitação hídrica, onde se verificou, em todas as épocas, que as plantas submetidas a estresse intenso tiveram os valores de RMF significativamente maiores que os das plantas controle, sugerindo menor exportação de assimilados da folha para outros órgãos da planta. Segundo esses autores, aos 83 dias após a emergência, a massa seca do caule do estresse se igualou à do tratamento sem déficit hídrico.

Na raiz, a presença de vasos de xilema em maior número e com menor diâmetro pode favorecer a conservação de água nas plantas de milho. Essas características podem indicar maior condutividade hidráulica, aumentando a capacidade de transporte de água (LI et al., 2009). As camadas de células nas raízes conhecidas como endoderme e a exoderme podem ser medidas, e uma maior espessura dessas estruturas pode indicar impedimento da saída de água dos feixes de xilema para o solo, evitando a desidratação (SOUZA et al., 2013). Aerênquimas (câmaras de ar) nas raízes de milho podem ter a função de favorecer a maior exploração do solo e aquisição de água, pois estas estruturas decrescem o custo metabólico de raízes em crescimento, devido à diminuição da presença de células em respiração (SOUZA et al., 2013; ZHU et al., 2010).

Em trabalho com objetivos diferentes dos deste, verificaram-se resultados que contrastam com o aqui encontrado, a exemplo do estresse por competição com plantas daninhas. Lemos et al. (2012) observaram que houve redução da razão parte aérea/sistema radicular, o que alterou o equilíbrio funcional da alocação de biomassa das plantas. Em contrapartida, Liu et al. (2009) observaram que plantas de milho apresentaram aumento da razão parte aérea/sistema radicular. Esses resultados indicam que a alocação de massa nas diferentes partes da planta pode variar, além da constituição genotípica do híbrido utilizado, também com o tipo de estresse presente no ambiente e suas interações.

Na Tabela 8, observa-se que houve diferença entre as disponibilidades hídricas para as variáveis DIAM, ALT, ALTPE, MSR, MSC, MSF, MSOR, AFE, AFT, MST, RMF e RMR, com reduções em todas elas quando as plantas de milho foram cultivadas em condição de estresse (CE). Entretanto, para a variável PA/SR, plantas em CE apresentaram-se superiores àquelas cultivadas com disponibilidade hídrica adequada. Há trabalhos que apresentam redução do desenvolvimento radicular das plantas, devido à baixa disponibilidade hídrica e sua associação com a deficiência de fósforo, o que altera a alocação de biomassa e, conseqüentemente, o equilíbrio funcional da planta (RESENDE et al., 1999; FREIRE et al., 2012).

Tabela 8 - Valores médios de diâmetro do caule (DIAM), altura de plantas (ALT), altura de inserção da primeira espiga (ALTPE), matéria seca da raiz (MSR), matéria seca do caule (MSC), matéria seca de folha (MSF), matéria seca de órgãos reprodutivos (MSOR), área foliar específica (AFE), área foliar total (AFT), matéria seca total (MST), razão de massa foliar (RMF), razão de massa radicular (RMR) e razão parte aérea / sistema radicular (PA/SR) das plantas de milho. Viçosa-MG, 2013

D.H.	DIAM (cm)	ALT (cm)	ALTPE (cm)	MSR (g)	MSC (g)	MSF (g)	MSOR (g)	AFE (cm ² g ⁻¹)	AFT (cm ²)	MST (g)	RMF (g g ⁻¹)	RMR (g g ⁻¹)	PA/SR (g g ⁻¹)
CE	14,4 b	2,1 b	98,6 b	101 b	128 b	67 b	137 b	55,6 b	10398 b	351,6 b	1,5 a	2,3 b	3,9 a
SE	17,0 a	2,7 a	117,6 a	121 a	221 a	91 a	195 a	63,2 a	14311 a	444,4 a	1,3 b	2,9 a	2,7 b

* Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. D.H. - disponibilidade hídrica: CE – déficit hídrico e SE – sem estresse.

Essas descrições reforçam a importância do controle adequado da irrigação no cultivo de milho. Conforme Wu et al. (2011), estudando o crescimento e a transpiração do milho em casa de vegetação sob deficiência hídrica, ocorre redução na formação de fitomassa e na transpiração quando a umidade nos vasos é inferior a 90% da capacidade de campo. Já segundo Schittenhelm (2010), trabalhando com a cultura do milho em consórcio com sorgo e girassol, o milho tem potencial de produção mesmo em anos com baixa disponibilidade hídrica. Para Chun et al. (2011), a redução da disponibilidade hídrica favorece o estresse às plantas de milho, com redução de seu crescimento, mesmo sob condições de atmosfera modificada com aumento de CO₂.

Caso ocorra menor disponibilidade de água nas fases principais do milho (SANGOI et al., 2013), pode ocorrer menor crescimento do sistema radicular, ainda que exista uma barreira de proteção hidráulica próxima à coifa, o que torna esse tecido mais tolerante e com menor redução de crescimento em condições de déficit hídrico que a parte aérea (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Experimento 2 - Avaliação biométrica de cultivares de milho isogênicas (*Bt* e não-*Bt*) submetidas à competição com plantas de *Bidens pilosa* sob condições ótimas e de déficit hídrico

Após análise estatística, para estudo de fator isolado, verificou-se significância das características DIAM, ALTPE, NFT, NFV, MSC, MSF, MSOR, AFT e MST para Híbrido; DIAM, MSR, MSF, MSC, MSOR, AFE, AFT e MST para Disponibilidade Hídrica; e IFMF para Gene.

Para as interações duplas, as variáveis IFMF, MSR e MST foram estudadas na interação de Híbrido e Gene. O NFV e a RFV foram significativos para interação Híbrido e Disponibilidade Hídrica, enquanto NFT, MSOR, AFE e MST foram significativas para interação Gene e Disponibilidade Hídrica. Dessa forma, a interação foi desdobrada, estudando-se os fatores correspondentes entre si.

Verificou-se na Tabela 9, que para diâmetro do caule (DIAM), altura da primeira espiga (ALTPE), número de folhas totais (NFT), matéria seca de folha (MSF), massa seca de órgãos reprodutivos (MSOR) e matéria seca total (MST), o resultado encontrado foi o mesmo, ou seja, os híbridos 2B707 e BG 7049 foram iguais e superiores ao 30A95. No entanto, para número de folhas verdes (NFV) e matéria seca do caule (MSC), o híbrido 2B707 foi superior ao 30A95, porém eles não diferiram significativamente do híbrido BG 7049. Nesse sentido, a área foliar total (AFT) do BG 7049 foi superior à do 30A95, mas eles não diferiram do 2B707.

Tabela 9 - Valores médios de diâmetro do caule (DIAM), altura da primeira espiga (ALTPE), número de folhas totais (NFT), número de folhas verdes (NFV), massa seca de caule (MSC), matéria seca de folha (MSF), massa seca de órgãos reprodutivos (MSOR), área foliar total (AFT) e massa seca total (MST) de híbridos de milho submetidos à competição com plantas de *Bidens pilosa* em condições ótimas e de déficit hídrico. Viçosa-MG, 2013

Híbrido	DIAM (cm)	ALTPE (cm)	NFT (unidades)	NFV (unidades)	MSC (g)	MSF (g)	MSOR (g)	AFT cm ²	MST (g)
Agr. 30A95	12,53 b	87,5 b	15,60 b	13,55b	96,80 b	51,05 b	81,05 b	7268,95 b	331,95 b
Dow 2B707	14,79 a	105,0 a	17,25 a	14,90 a	149,85 a	66,00 a	113,35 a	8568,70 ab	468,65 a
BG 7049	14,52 a	99,0 a	16,65 a	14,15 ab	125,50 ab	66,30 a	120,85 a	9432,45 a	440,50 a

* Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Na Tabela 10, avaliando-se a disponibilidade hídrica, foi possível observar diferença significativa nas variáveis DIAM, MSR, MSC, MSF, MSOR, AFE, AFT, MST, RMF e RMR, em que plantas de milho cultivadas em disponibilidade hídrica ideal (SE) superaram o cultivo onde se havia aplicado o déficit hídrico (CE).

Avaliando o intervalo entre florescimento masculino e feminino (IFMF) na média geral do fator Gene, verificou-se, na comparação entre isogênicos, que a presença do gene *Bt* foi preponderante para o aumento nos dias no IFMF, em comparação às plantas sem o gene (Tabela 11). Na mesma tabela, observa-se, na interação entre Híbrido e Gene para essa variável, que os híbridos sem o gene *Bt* não diferiram entre si. No entanto, especificamente entre os transgênicos, constatou-se que o IFMF do 2B707 foi superior ao do BG 7049, sem, contudo, diferirem do 30A95.

Na comparação entre convencionais e transgênicos, observou-se que, nos híbridos simples avaliados (30A95 e 2B707), o IFMF foi superior nas cultivares transgênicas, quando comparadas às convencionais. Somente para o híbrido triplo (BG 7049) não houve diferença entre suas versões (Tabela 11).

Esse resultado representa menor eficiência para produção de grãos em quantidade adequada, ou seja, o aumento no IFMF proporciona a redução da eficiência em polinização e formação de grãos na espiga e, assim, menor força do dreno para a planta, o que causa redução considerável na transferência de fotoassimilados vindos da fonte, que são as reservas da planta, bem como a fotossíntese atual de suas folhas. O que se espera é que plantas se desenvolvam em sua plenitude investindo no acúmulo de carboidratos em suas partes vegetativas, para que posteriormente, na época adequada, ocorra a remobilização de assimilados e nutrientes armazenados durante o seu desenvolvimento (folhas, caule e raiz) para os grãos (SANGOI et al., 2010).

O estresse pode alterar a taxa de transporte de fito-hormônios e carboidratos dentro da planta, tornando as espigas iniciadas tardiamente menos capazes de se tornarem funcionais e produzirem grãos, devido à sua menor capacidade competitiva por fotoassimilados com as demais estruturas da planta (TAIZ; ZEIGER, 2009; SANGOI et al., 2013).

Tabela 10 - Valores médios de diâmetro do caule (DIAM), matéria seca da raiz (MSR), matéria seca do caule (MSC), matéria seca de folha (MSF), matéria seca de órgãos reprodutivos (MSOR), área foliar específica (AFE), área foliar total (AFT) e matéria seca total (MST) das plantas de milho submetidas à competição com plantas de *Bidens pilosa* nas diferentes disponibilidades hídricas. Viçosa-MG, 2013

Disponibilidade hídrica	DIAM (cm)	MSR (g)	MSC (g)	MSF (g)	MSOR (g)	AFE (cm ² g ⁻¹)	AFT (cm ²)	MST (g)
CE	132,76 b	84,63 b	106,36 b	51,87 b	78,77 b	44,36b	7238,83 b	331,43 b
SE	146,26 a	141,46 a	141,73 a	70,36 a	131,40 a	53,03a	9607,90 a	495,96 a

* Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Disponibilidade hídrica: CE – déficit hídrico e SE – sem estresse.

Tabela 11 - Valores médios de intervalo entre florescimento masculino e feminino (IFMF), matéria seca de raiz (MSR) e matéria seca total (MST) de plantas de milho isogênicas submetidas à competição com plantas de *Bidens pilosa* na combinação de híbridos com gene. Viçosa-MG, 2013

Híbrido	IFMF (dias)		MSR (g)		MST (g)	
	Não- <i>Bt</i>	<i>Bt</i>	Não- <i>Bt</i>	<i>Bt</i>	Não- <i>Bt</i>	<i>Bt</i>
Agr. 30A95	3,70 aB	6,60 abA	111,10 aA	75,30 bA	369,30 aA	294,60 bA
Dow 2B707	4,10 aB	8,30 aA	111,60 aA	146,70 aA	434,40 aA	492,90 aA
BG 7049	5,10 aA	3,90 bA	97,20 aA	136,40 aA	398,70 aA	402,30 aA

* Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula na linha, para cada variável, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Gene: Não-*Bt* – convencional e *Bt* – transgênico.

O déficit hídrico ocorreu em um período crítico, ou seja, da pré-floração ao início do enchimento de grãos. A recuperação da capacidade produtiva da cultura poderá não ocorrer de forma satisfatória, uma vez que os eventos reprodutivos são muito mais rápidos do que os verificados durante o crescimento vegetativo, sendo o milho extremamente sensível ao déficit hídrico nessa fase, em decorrência dos processos fisiológicos ligados à formação do zigoto e início do enchimento de grãos (ZINSELMEIER et al., 1995); no entanto, segundo Kron et al. (2008), se as condições hídricas se tornarem favoráveis, poderá garantir níveis satisfatórios de produção de grãos.

Para matéria seca de raiz (MSR) e matéria seca total (MST), houve diferenças principalmente entre transgênicos. Os híbridos transgênicos 2B707 e BG 7049 não diferiram entre si, porém foram superiores ao 30A95. Essa diferença foi evidente: o 30A95 apresentou praticamente a metade da massa da matéria seca dos demais, o que representa uma importante diminuição do crescimento e ganho de massa não só para o sistema radicular, mas para a massa total da planta (Tabela 11). No entanto, entre os isogênicos não se verificou alteração da MSR.

Corroborando esse resultado, Coelho (2013), em trabalho conduzido em ambiente protegido, também não verificou diferença entre o milho transgênico e o milho convencional para MSR, porém o milho convencional produziu 4,28% de massa seca total a mais que o milho transgênico. Resultados semelhantes foram encontrados por Basilli et al. (2008), que avaliaram materiais convencional e transgênico em

diferentes adubações e dosagens de aplicação de inseticidas e não encontraram diferença para MSR.

As médias de número de folhas totais (NFT), matéria seca dos órgãos reprodutivos (MSOR), área foliar específica (AFE) e matéria seca total (MST) da interação entre os fatores Gene e Disponibilidade Hídrica são apresentadas na Tabela 12.

Para o NFT, quando as cultivares convencionais e transgênicas foram avaliadas em uma mesma condição de cultivo (CE ou SE), verificou-se que somente na condição CE foi possível observar diferença entre as cultivares, em que a convencional apresentou menor NFT. Ao se avaliar o comportamento de uma mesma cultivar em diferentes condições, verificou-se que as cultivares convencionais em condição CE apresentaram menor quantidade total de folhas, comparada à condição SE.

Quando as plantas são expostas a situações de déficit hídrico, exibem, frequentemente, respostas fisiológicas que resultam, de modo indireto, na conservação da água no solo, como se estivessem economizando para períodos futuros (KRON et al., 2008), que consistem no decréscimo da produção da área foliar, do fechamento dos estômatos, da aceleração da senescência e da abscisão das folhas (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Quando se avaliou a matéria seca da espiga empalhada e pendão (MSOR), houve variações interessantes no que se refere ao comportamento de transgênicos em relação aos convencionais cultivados no ambiente estressado (CE). Desse modo, verificou-se que cultivares com o gene *Bt* apresentaram menor MSOR comparadas às cultivares convencionais. Também se observou diferença no cultivo dos transgênicos nas diferentes condições propostas, em que plantas transgênicas cultivadas CE apresentaram reduções significativas da MSOR, quando comparadas às do cultivo SE, fato não observado para os convencionais.

Esses resultados corroboram a análise de oito diferentes híbridos de milho isôgenos (convencional e transgênico) com controle de pragas (três aplicações de inseticidas) feita por Werle et al. (2011), onde puderam constatar que seis desses materiais não-*Bt* apresentaram maior produtividade que o seu isogênico *Bt*. Em seu trabalho, verificou-se que houve diferença estatística em quase todas as comparações, com ressalva nos dois casos onde o milho *Bt* apresentou maior produtividade que o não-*Bt*, porém sem diferirem estatisticamente.

Tabela 12 - Valores médios de número de folhas totais (NFT), matéria seca dos órgãos reprodutivos (MSOR), área foliar específica (AFE) e matéria seca total (MST) de plantas de milho isogênicas submetidas à competição com plantas de *Bidens pilosa* na combinação de gene e disponibilidade hídrica. Viçosa-MG, 2013

Gene	NFT		MSOR (g)		AFE (cm ² g ⁻¹)		MST (g)	
	CE	SE	CE	SE	CE	SE	CE	SE
Não- <i>Bt</i>	15,93 bB	16,86 aA	94,13 aA	118,00 aA	48,53 aA	50,26 aA	344,87 aB	456,74 bA
<i>Bt</i>	16,73 aA	16,46 aA	63,40 bB	144,00 aA	40,20 bB	55,80 aA	318,00 aB	535,20 aA

* Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula na linha, para cada variável, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Disponibilidade hídrica: CE – déficit hídrico e SE – sem estresse; Gene: não-*Bt* – convencional e *Bt* – transgênico.

Outra variável importante é a AFE, que indica a eficiência no uso de fotoassimilados na formação do tecido foliar. Assim, quanto maior o resultado, mais eficiente é a planta no uso de fotoassimilados, refletindo na eficiência no uso da luz (LACERDA et al., 2010). Na Tabela 12, observaram-se diferenças entre convencionais e transgênicos somente na condição CE. As cultivares não-*Bt* apresentaram maior AFE em relação às cultivares *Bt*. Verificou-se que plantas *Bt* cultivadas no ambiente estressado mostraram redução significativa da AFE, quando comparadas no cultivo sem estresse, o que não se observou na ausência do gene *Bt*.

De acordo com Vilela e Bull (1999), a matéria seca das folhas foi o componente responsável pela variação na AFE, causando reduções nesse índice quando do aumento desta, e os níveis de estresse não afetaram a área foliar das plantas de milho, o que indica que a presença do gene *Bt* esteja possivelmente relacionada à alteração dessa característica.

O déficit hídrico altera o desenvolvimento das culturas, com redução da área foliar e na fotossíntese, e afeta vários outros processos, como: brotação, polinização, absorção de nutrientes e translocação de fotossintatos (TAIZ; ZEIGER, 2009). Alguns autores têm estudado a cultura do milho em condições de déficit hídrico em casa de vegetação, como Wu et al. (2011), que observaram redução na formação de fitomassa e na transpiração quando a umidade nos vasos foi inferior a 90%, interferindo nos fotoassimilados para o enchimento dos grãos.

Na matéria seca total (MST), verificou-se que entre convencionais e transgênicos somente houve diferença na condição ideal de cultivo. Nesse caso, plantas de milho na presença do gene *Bt* apresentaram maior MST quando comparada às plantas sem o gene (Tabela 12). Entretanto, quando se avaliou o cultivo dos transgênicos e dos convencionais nas diferentes condições propostas, verificou-se que, independentemente da presença ou não do gene, plantas cultivadas CE tiveram reduções na MST, comparada à condição ideal de cultivo (Tabela 12).

O número de folhas verdes na planta (NFV) e a razão de folhas verdes e senescentes (RFVS) foram significativos para a interação entre Híbrido e Disponibilidade Hídrica (Tabela 13).

Para o NFV, houve diferença entre os híbridos avaliados somente quando cultivados na condição de déficit hídrico, na qual o 2B707 e BG 7049 foram iguais e superiores ao 30A95. Contudo, na comparação do mesmo híbrido entre as condições de cultivo, verificou-se que o híbrido 30A95 foi superior na condição sem estresse, porém

o inverso foi obtido para o BG7049. Na RFVS, não foram observadas diferenças entre híbridos dentro da condição de déficit hídrico. No entanto, na condição ideal de cultivo, o híbrido 30A95 foi superior ao BG 7049, porém eles não diferiram significativamente do 2B707 (Tabela 13).

Tabela 13 - Valores médios de número de folhas verdes na planta (NFT) e razão de folhas verdes e senescentes (RFVS) de plantas de milho submetidas à competição com plantas de *Bidens pilosa* na combinação de híbrido e disponibilidade hídrica. Viçosa-MG, 2013

Híbrido	NFV		RFVS	
	CE	SE	CE	SE
Agr. 30A95	12,80 bB	14,30 aA	8,60 aA	8,80 aA
Dow 2B707	15,10 aA	14,70 aA	8,70 aA	8,50 abA
BG 7049	14,70 aA	13,60 aB	8,80 aA	8,10 bA

* Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas e maiúscula na linha, para cada variável, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Disponibilidade hídrica: CE – déficit hídrico e SE – sem estresse.

Nesses resultados, ressalta-se a importância da RFVS, que, no geral, mesmo que determinado híbrido tenha apresentado redução do NFV, manteve a razão estável entre os cultivos (CE e SE), estando essas diferenças provavelmente, relacionadas às várias interações existentes na competição com plantas daninhas de *B. pilosa* (PROCÓPIO et al., 2004, 2005; CHIOVATO et al., 2007; ASPIAZÚ et al., 2010; SANTOS; CURY, 2011; LEMOS et al., 2012a, b; CURY et al., 2013), associada à diferença genotípica de cada híbrido.

A avaliação biométrica de plantas de *B. pilosa* em competição com diferentes cultivares de milho (*Bt* e não-*Bt*) sob condição de déficit hídrico foi realizada com objetivo de conhecer o comportamento desses híbridos e suas cultivares isogênicas a partir da alteração morfológica de *B. pilosa*.

Contudo, de acordo com a análise estatística obtida, não houve quaisquer tipos de interação entre os fatores avaliados (Híbrido x Gene x Disponibilidade hídrica). Na avaliação de fator isolado, houve significância para a Disponibilidade Hídrica, em que foram estudadas as variáveis matéria seca da raiz (MSR), do caule (MSC), da folha (MSF), total (MST) e razão de massa caulinar (RMC) de plantas de *B. pilosa*.

Na Tabela 14, pode-se observar que houve reduções em todas as variáveis supracitadas quando a disponibilidade hídrica foi reduzida, ou seja, em condição de

déficit hídrico. Assim, houve redução de aproximadamente 27% de MSR, 48% de MSC, 36% de MSF, 30% de MSS, 40% de MST e 16% de RMC de plantas de *B. pilosa* em competição com milho em estresse.

Tabela 14 - Valores médios de matéria seca da raiz (MSR), matéria seca do caule (MSC), matéria seca da folha (MSF), matéria seca total (MST) e razão de massa caulinar (RMC) de plantas de *B. pilosa* nas disponibilidades hídricas avaliadas. Viçosa-MG, 2013

Disponibilidade Hídrica	MSR (g)	MSC (g)	MSF (g)	MSS (g)	MST (g)	RMC (g.g ⁻¹)
CE	30,28 b	49,64 b	31,90 b	11,24 b	123,08 b	0,392 b
SE	41,49 a	95,83 a	50,10 a	16,21 a	203,64 a	0,467 a

* Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Disponibilidade hídrica: CE – déficit hídrico e SE – sem estresse.

Em trabalho com a finalidade de verificar a capacidade de sobrevivência ao déficit hídrico, Procópio et al. (2004) constataram que a planta daninha *B. pilosa* é muito eficiente na extração de água do solo, conseguindo retirá-la sob tensão três vezes maior do que plantas de soja e feijão. No entanto, salienta-se que a eficiência na utilização desse recurso não está diretamente relacionada à capacidade de extraí-la do solo (FERREIRA et al., 2011), e sim com a quantidade de água transpirada por certa quantidade de matéria seca produzida (SILVA et al., 2007).

Entretanto, em análises nutricionais das plantas daninhas e do milho, Cury et al. (2012) verificaram que a interferência dos híbridos de milho no desempenho das plantas daninhas foi significativa para o teor relativo de nutrientes das espécies daninhas, o qual foi severamente reduzido em função da competição. Segundo esses autores, o conteúdo relativo de nutrientes nos componentes vegetativos de *B. pilosa* variou conforme a competição com diferentes cultivares de milho; assim, foi possível inferir que o potencial de absorção de nutrientes e água do milho reduziu a disponibilidade de nutrientes essenciais às plantas daninhas.

De modo semelhante ao observado neste trabalho, com a deficiência nutricional e a baixo acúmulo de matéria seca apresentados pelas plantas daninhas, houve menor tolerância à competição por recursos e baixa capacidade de sobrevivência ao déficit hídrico (CURY et al., 2012), sendo associado às altas temperaturas, o que também foi observado neste experimento, confirmadas durante o seu desenvolvimento (Figura 1). Para estes autores, as variáveis avaliadas basicamente relacionadas à parte aérea não

demonstram fidedignamente os efeitos da convivência entre as espécies vegetais, e a competição em nível radicular por recursos do solo pode ser mais importante do que o suposto por outros autores (RONCHI et al., 2003).

Observa-se neste estudo, para as variáveis morfológicas avaliadas, que não houve interferência diferencial do milho especificamente para a presença ou ausência do gene *Bt*, ou mesmo a variabilidade genética entre os híbridos cultivados, os quais não foram suficientes para alterar, frente à competição, a resposta morfológica (matérias secas de raiz, caule, folha e total; e razões de massa foliar, caulinar e radicular) das plantas de *B. pilosa*.

Diante dos resultados apresentados nesses experimentos, conclui-se que, entre os híbridos avaliados, o 2B707 apresentou melhor desempenho agrônômico, porém com maior instabilidade na presença do gene *Bt*. Ocorreram modificações não esperadas quanto ao desempenho morfológico das plantas de milho cultivadas em condições de déficit hídrico, que resultaram no aumento do número de dias entre o florescimento masculino e o feminino. Isso interferiu significativamente na matéria seca de espiga e pendão. Os híbridos 2B707 e BG7049 mostraram melhor desempenho em competição com plantas de *B. pilosa*. Plantas com a inserção do gene *Bt* tiveram menor desempenho morfológico em condição de competição. Houve aumento do intervalo entre florescimento masculino e feminino e redução da matéria seca na parte reprodutiva do milho. O comportamento morfológico de plantas de *B. pilosa* não foi alterado por cultivares isogênicas de milho em condição de déficit hídrico. No entanto, os componentes de produção das plantas de *B. pilosa* em competição com híbridos de milho em condição de déficit hídrico foram afetados significativamente.

REFERÊNCIAS

ARAUS, J. L.; SÁNCHEZ, C.; EDMEADES, G. O. Phenotyping maize for adaptation to drought. In: MONNEVEUX, P.; RIBAUT, J-M. (Ed.). **Drought phenotyping in crops: from theory to practice**. Texcoco, México: CGIAR Generation Challenge Programme, p. 263-283, 2011.

ASPIAZÚ, I.; SEDIYAMA, T.; RIBEIRO JR., J. I.; SILVA, A. A.; CONCENCO, G.; GALON, L.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. F.; BORGES, E. T.; ARAUJO, W. F. Eficiência fotosintética y de uso del agua por malezas. **Planta Daninha**, v. 28, n. 1, p. 87-92, 2010.

BADU-APRAKU, B.; FAKOREDE, M. A. B.; OYEKUNLE, M.; AKINWALE, R. O. Selection of extra-early maize inbreds under low N and drought at flowering and grain-filing for hybrid production. **Journal Maydica**, Bergamo, v. 56, p. 29-42, 2011.

BALIEIRO NETO, G.; CIVIDANES, M. dos S.; BRANCO, R. B.; FELIX, M. do R. F.; TRINDADE REI, F. M. de C.; NOGUEIRA, J. R. Quantificação da proteína cry1ab em folhas, caules e grãos de dois híbridos de milho *Bt* e controle das pragas *Spodoptera frugiperda* e *Helicoverpa zea*. **Boletim de Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 70, n. 1, p. 59-66, 2013.

BARROS, E.; LEZAR, S.; ANTONEN, M. J.; VAN DIJK J. P.; RÖHLIG R. M.; KOK, E. J.; ENGEL, K. H. Comparison of two GM maize varieties with a near-isogenic non-GM variety using transcriptomics, proteomics and metabolomics. **Plant Biotechnology Journal**, v. 8, n. 4, p. 436-451, 2010.

BASILLI, J. F. M.; CRUZ, M. G.; REIS, V. F.; CALAFIORI, M. H.; ANDRADE, R. C. Efeito da adubação e do cruizer (tiametoxam) no desenvolvimento do milho (*zea mays* L.), e no controle de lagarta-do-cartucho, (*Spodoptera frugiperda*). IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENTOMOLOGIA, 22., 24 a 29 de agosto de 2008, Uberlândia, MG, Manejo integrado de pragas, 2008.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MÜLLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 831-839, 2004.

BOOMSMA, C. R.; SANTINI, J. B.; TOLLENAAR, M.; VYN, T. J. Maize morphophysiological responses to intense crowding and low nitrogen availability: an analysis and review. **Agronomy Journal**, Madison, v. 101, p. 1426-1452, 2009.

BORRÁS, L.; SLAFER, G. A.; OTEGUI, M. E. Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: quantitative reappraisal. **Field Crop Research**, v. 86, n. 2, p. 131-146, 2004.

BORTOLOTO, V.; SILVA, T. R. B. Avaliação do desenvolvimento de milho convencional e milho *Bt*. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 2, n. 3, p. 89-95, 2009.

BLANCHE, S. B.; MYERS, G. O.; ZUMBA, J. Z.; CALDWELL, D.; HAYES, J. Stability comparisons between conventional and near-isogenic transgenic cotton cultivars. **Journal Cotton Science**, v. 10, p. 17-28, 2006.

BRITO, M. E. B.; FILHO, G. D. A.; WANDERLEY, J. A. C.; MELO, A. S.; COSTA, F. B.; FERREIRA, M. G. P. Crescimento, fisiologia e produção do milho doce sob estresse hídrico. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 5, p. 1244-1254, Sept./Oct. 2013.

CAIRES, A. R. L.; SCHERER M. D.; SANTOS, T. S. B.; PONTIM, B. C. A.; GAVASSONI, W. L.; OLIVEIRA, S. L. Water Stress response of conventional and transgenic soybean plants monitored by chlorophyll a fluorescence. **Journal Fluorescence**, v. 20, p. 645-649, 2010.

- CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A.; SESTARI, I. **Manual de fisiologia vegetal: fisiologia de cultivos**. Editora Agronômica Ceres, 2008. 864 p.
- CATUCHI, T. A.; VITOLO, H. F.; BERTOLLI, S. C.; SOUZA, G. M. Tolerance to water deficiency between two soybean cultivars: transgenic versus conventional. **Ciência Rural**, v. 41, n. 3, p. 373-378, 2011.
- COELHO, H. A. **Diferentes condições de estresse hídrico no desenvolvimento de milho transgênico e convencional**. 2013. 93 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, 2013.
- COLL, A.; NADAL, A.; COLLADO, R.; CAPELLADES, G.; MESSEGUER, J.; MELÉ, E.; PALAUDELMÀS, M.; PLA, M. Gene expression profiles of MON810 and comparable non-GM maize varieties cultured in the field are more similar than are those of conventional lines. **Transgenic Research**, v. 18, n. 5, p. 801-808, 2009.
- CUI, Z.; ZHANG, R. M. L. G.; CHEN, E.; LI, E.; CHEN, X.; LI, J.; SHI, L. Interaction between genotypic difference and nitrogen management strategy in determining nitrogen use efficiency of summer maize. **Plant Soil**, v. 317, n. 1, p. 267-276, 2009.
- CURY, J. P.; SANTOS, J. B.; SILVA, E. B.; BRAGA, R. R.; CARVALHO, F. P.; VALADÃO SILVA, D.; BYRRO, E. C. M. Eficiência nutricional de cultivares de feijão em competição com plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 31, n. 1, p. 79-88, 2013.
- CHEN, D.; YE, G.; YANG, C.; CHEN, Y.; WU, Y. Effect after introducing *Bacillus thuringiensis* gene on nitrogen metabolism in cotton. **Field Crops Research**, v. 87, n. 1, p. 235-244, 2005.
- CHEN, L.; SNOW, A. A.; WANG, F.; LU, B. Effects of insect-resistance genes on fecundity in rice (*Oryza sativa*, Poaceae): a test for underlying cost. **American Journal of Botany**, v. 93, p. 94-101, 2006.
- CHUN, J. A.; WANG, Q.; TIMLIN, D.; FLEISHER, D.; REDDY, V. R. Effect of elevated carbon dioxide and water stress on gas exchange and water use efficiency in corn. **Agricultural and Forest Meteorology**, New Haven, v. 151, n. 3, p. 378-384, 2011.
- CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; QUEIROZ, L. R. **Milho – cultivares para 2013/2014**. Embrapa Milho e Sorgo. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/milho/cultivares/index.php>>. Acesso em: 19 de março de 2014.
- DOURADO NETO, D. D.; PALHARES, M.; VIEIRA, P. A.; MANFRON, P. A.; MEDEIROS, S. L. P.; ROMANO, M. R. Efeito da população de plantas e do espaçamento sobre a produtividade de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 2, n. 3, p. 63-77, 2003.
- DOURADO-NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 191-192, 2000.

DUBEY, L.; PRASANNA, B.M.; HOSSAIN, F.; VERMA, D.K.; RAMESH, B. Phenotypic evaluation of a set selected exotic maize inbred lines for drought stress tolerance. **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, v. 70, p. 355-362, 2010.

EDREIRA, J. I. R.; CARPICI, E. B.; SAMMARRO, D.; OTEGUI, M. E. Heat stress effects around flowering on kernel set of temperature and tropical maize hybrids. **Field Crop Research**, v. 123, p. 62-73, 2011.

FAOSTAT. **Statistical databases and data-sets of the Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/default.aspx>>. Acesso em: 15 maio 2014.

FANCELLI, A.L. **Fisiologia, nutrição e adubação do milho para alto rendimento**. In: POTAFOS Brasil – Presentations. Disponível em: <[http://www.ppippic.org/ppiweb/pbrazil.nsf/926048f0196c9d4285256983005c64de/7ac87784218d46983256c70005790fc/\\$FILE/Anais%20Antonio%20Luiz%20Fancelli.doc](http://www.ppippic.org/ppiweb/pbrazil.nsf/926048f0196c9d4285256983005c64de/7ac87784218d46983256c70005790fc/$FILE/Anais%20Antonio%20Luiz%20Fancelli.doc)> Acesso em: 19 fevereiro 2013.

FERREIRA, E. A.; ASPIAZÚ, I.; GALON, L.; CONCENÇO, G.; SILVA, A. F.; REIS, L. A. C. Características fisiológicas da soja em relação a espécies de plantas Daninhas. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 5, n. 1, p. 39, 2011.

FONSECA, P. R. B.; FERNANDES, M. G.; JUSTINIANO, W.; HIROITO, L.; SILVA, J. A. N. Leaf chlorophyll content and agronomic performance of *Bt* and non-*Bt* soybean. **Journal of Agricultural Science**, v. 5, n. 12, p. 117-125, 2013.

FREIRE, A. L. O.; Leão, D. A. S.; Miranda, J. R. P. de. Acúmulo de massa seca e de nutrientes em gliricídia em resposta ao estresse hídrico e a doses de fósforo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 19-26, jan./mar. 2012.

GRUZSKA, M. **Índice relativo de clorofila para o diagnóstico do estado de nitrogênio em híbridos de milho**. 2012. 103 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Paraná-PR, 2012.

HAO, Z. F.; LI, X-H; SU, Z-J.; XIE, C. X.; LI, M. S.; LIANG, X. L., WENG, J. F.; ZHANG, D. G.; LI, L.; ZHANG, S. H. A proposed selection criterion for drought resistance across multiple environments in maize. **Breeding Science**, v. 61, n. 2, p. 101-108, 2011.

LACERDA, C. F.; CARVALHO, C. M.; VIEIRA, M. R.; NOBRE, J. G. A.; L. R. NEVES, A.; CLÉCIO F. R. Análise de crescimento de milho e feijão sob diferentes condições de sombreamento. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p. 18-24, 2010.

LATHAM, J. R.; WILSON, A. K.; STEINBRECHER, R. A. The mutational consequences of plant transformation. **Journal of Biomedicine and Biotechnology**, v. 2006, n. 1, p. 1-7, 2006.

LEMONS, J. P.; GALVÃO, J. C. C.; SILVA, A. A.; FONTANETTI, A.; CORRÊA, M. L. P.; CECON, P. R. Morfofisiologia de plantas de milho em competição com picão-preto e trapoeraba submetidas a roçada. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 487-496, 2012a.

- LEMOS, J. P.; GALVÃO, J. C. C.; SILVA, A. A.; FONTANETTI, A.; LEMOS, L. M. C. Efeito da roçada das espécies *Bidens pilosa* e *Commelina benghalensis* nas características morfológicas do milho. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 2, n. 1, p. 32-40, 2012b.
- LIU, J. G.; MAHONEY, K. J.; SIKKEMA, P. H.; SWANTON, C. J. The importance of light quality in crop-weed competition. **Weed Research**, v. 49, n. 2, p. 217-224, 2009.
- LI, Y.; SPERRY, J. S.; SHAO, M. Hydraulic conductance and vulnerability to cavitation in corn (*Zea mays* L.) hybrids of differing drought resistance. **Environment & Experimental Botany**, v. 66, n. 2, p. 341-346, 2009.
- KARUPPANAPANDIAN, T.; MOON, J. C.; KIM, C.; MANOHARAN, K.; KIM, W. Reactive oxygen species in plants: their generation, signal transduction, and scavenging mechanisms. **Australian Journal Crop Science**, v. 5, p. 709-725, 2011.
- KIM, S.; KIM, C.; LI, W.; KIM, T.; LI, Y.; ZAIDI, M. A.; ALTOSAAR, I. Inheritance and field performance of transgenic Korean *Bt* rice lines resistant to rice yellow stem borer. **Euphytica**, v. 164, p. 829-839, 2008.
- KOUSER, S.; QAIM, M. Impact of *Bt* cotton on pesticide poisoning in smallholder agriculture: A panel data analysis. **Ecological Economics**, v. 70, n. 11, p. 2105-2113, 2011.
- KRON, A. P.; SOUZA, G. M.; RIBEIRO, R. V. Water deficiency at different developmental stages of glycine max can improve drought tolerance. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 43-49, 2008.
- MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Cultivo do milho: germinação e emergência**. Embrapa Milho e Sorgo, 2002. (Comunicado Técnico)
- MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; KARAM, D.; MAGALHÃES, M. M.; CANTÃO, F. R. O. Caracterização ecofisiológica de linhagens de milho submetidas a baixa disponibilidade hídrica durante o florescimento. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 8, n. 3, p. 223-232, 2009.
- MANFRON, P. A.; BACCHI, O. O. S.; DOURADO NETO, D.; PEREIRA, A. R.; MEDEIROS, S. L. P.; PILAU, F. G. Modelo do índice de área foliar da cultura do milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 11, n. 2, p. 333-342, 2003.
- MONTEITH, J. L.; ELSTON, J. Climatic constraints on crop production. In: FOWDEN, L.; MANSFIELD, T.; STODDART, J. (Ed.). **Plant adaptation to environmental stress**. London: Chapman e Hall, 1996. p. 3-18.
- MICHALAK, P. Epigenetic, transposon and small RNA determinants of hybrid dysfunctions. **Heredity**, v. 102, n. 1, p. 45-50, 2008.
- PURCINO, A. A. C.; WAQUIL, J. M.; CRUZ, J. C.; DUARTE, J. O.; GARCIA, J. C.; MENDES, S. M. Milho Bt: vantagens para a cadeia produtiva e a viabilidade da coexistência. **Grão em Grão**, Sete Lagoas, v. 3, n. 15, jun./jul. 2009. Jornal eletrônico da Embrapa Milho e Sorgo. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/grao/15_edicao/index.htm>. Acesso em: 5 maio 2011.

- PROCÓPIO, S. O. SANTOS, J. B.; SILVA, A. A.; DONAGEMMA, G. K.; MENDONÇA, E. S. Ponto de murcha permanente de soja, feijão e plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 22, n. 1, p. 35-41, 2004.
- PROCÓPIO, S. O.; SANTOS, J. B.; PIRES, F. R.; SILVA, A. A.; MENDONÇA, E. S. Absorção e utilização do fósforo pelas culturas da soja e do feijão e por plantas daninhas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 911-921, 2005.
- RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; MUNIZ, J. A.; CURI, N.; FAQUIN, V. Crescimento inicial de espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta a doses de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 11, p. 2071-2081, 1999.
- RIQUETTI, N. B. **Efeito do manejo de solo nos parâmetros agronômicos e energéticos de híbridos de milho transgênico e não transgênico**. 2011. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu-SP 2011.
- RONCHI, C. P. TERRA, A. A.; SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R. Acúmulo de nutrientes pelo cafeeiro sob interferência de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 21, n. 2, p. 219-227, 2003.
- SAEG – Sistema para análise estatística, Versão 8.0. Viçosa-MG: Fundação Artur Bernardes, 2000.
- SANGOI, L.; ZANIN, C. G.; SCHMITT, A.; VIEIRA, J. Senescência foliar e resposta de híbridos de milho liberados comercialmente para cultivo em diferentes épocas ao adensamento. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 12, n. 1, p. 21-32, 2013.
- SANGOI, L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; RAMBO, L. **Ecofisiologia da cultura do milho para altos rendimentos**. Lages: Graphel, 2010. 87 p.
- SANTOS, J. B.; CURY, J. P. Picão-preto: uma planta daninha especial em solos tropicais. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 29, p. 1159-1171, 2011. (Número Especial)
- SILVA, A. A.; SILVA, A. A.; SILVA, J. F. Competição entre plantas daninhas e culturas. In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Eds.). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2007. p. 17-61.
- SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. **Manejo da irrigação no feijoeiro**. 2002. (Comunicado Técnico 38)
- SOUZA, A. C.; CARVALHO, J. G.; PINHO, R. G. V.; CARVALHO, M. L. M. Parcelamento e época de aplicação de nitrogênio e seus efeitos em características agronômicas do milho. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 25, n. 2, p. 321-329, 2001.
- SOUZA, T. C.; CASTRO, E. M.; MAGALHÃES, P. C.; LINO, L. O.; ALVES, E. T.; ALBUQUERQUE, P. E. P. M. Morphophysiology, morphoanatomy, and grain yield under field conditions for two maize hybrids with contrasting response to drought stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 35, n. 11, p. 3201-3211, 2013.

- SCHIOCHET, C.; MARCHIORO, V.S. Avaliação da produtividade de diferentes tecnologias *Bt* em milho. **Cultivando o saber**. Cascavel, v. 4, n. 1, p. 188-197, 2011.
- SCHITTENHELM, S. Effect of drought stress on yield and quality of maize/sunflower and maize/sorghum intercrops for biogas production. **Journal of Agronomy and Crop Science**. Berlin, v. 196, n. 4, p. 253-261, 2010.
- SMIT, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, v. 98, n. 2, p. 91-97, 2006.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. p. 820.
- VAUCHERET, H.; FAGARD, M. Transcriptional gene silencing in plants: Targets, inducers and regulators. **Trends in Genetics**, v. 17, n. 1, p. 29-35, 2001.
- VILELA, E. F.; BÜLL, L. T. Avaliação do crescimento de plantas de milho em função de doses de potássio e estresse hídrico. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 23, n. 2, p. 281-289, 1999.
- WANG, F.; YE, C.; ZHU, L. N. L.; CUI, K.; PENG, S.; LIN, Y.; HUANG, J. Yield differences between *Bt* transgenic rice lines and their non-*Bt* counterparts, and its possible mechanism. **Field Crops Research**, v. 126, n. 1, p. 8-15, 2012.
- WERLE, A. J. K. **Avaliação dialética de linhagens elites e híbridos de milho**. 2011. 70 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR, 2011.
- WERLE, A. J. K.; NICOLAY, R. J.; SANTOS, R. F.; BORSOI, A.; SECO, D. Avaliação de híbridos de milho convencional e transgênico (*Bt*), com diferentes aplicações de inseticida em cultivo safrinha. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v. 4, n. 1, p. 150-168, 2011.
- WU, Y.; HUANG, M.; WARRINGTON, D. N. Growth and transpiration of maize and winter wheat in response to water deficits in pots and plots. **Environmental and Experimental Botany**, Paris, v. 71, n. 1, p. 65-71, 2011.
- YAN, J.; WANG, J.; LI, Q.; HWANG, J. R.; PATTERSON, C.; ZHANG, H. AtCHIP, a U-box-containing E3 ubiquitin ligase, plays a critical role in temperature stress tolerance in Arabidopsis. **Plant Physiology**, v. 132, n. 2, p. 861-869, 2003.
- ZINSELMEIER, C.; WESTGATE, M. E.; JONES, R. J. Kernel set at low water potential does not vary with source sink/ratio in maize. **Crop Science**, v. 35, n. 1, p. 158-164, 1995.
- ZHU, J. BROWN, K. M.; LYNCH, J. P. Root cortical aerenchyma improves the drought tolerance of maize (*Zea mays* L.). **Plant, Cell and Environment**, v. 33, n. 5, p. 740-749, 2010.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Há diferenças entre os isogênicos de milho (*Bt* e não-*Bt*) quanto ao desempenho morfológico e fotossintético quando cultivados sob condições de estresse. Entre os estádios fenológicos avaliados, verificaram-se maiores diferenças fisiológicas no estágio V9, o que fez coincidir a época de avaliação com o déficit hídrico. Constatou-se que o déficit hídrico e a competição com *B. pilosa* foram importantes ferramentas para obter diferenças morfofisiológicas entre as cultivares isogênicas *Bt* e não-*Bt*. Isso indica que a transformação genética com a inserção do gene *Bt* pode proporcionar alterações morfofisiológicas importantes em híbridos de milho em condições de estresses bióticos e abióticos.

No estágio V9, cultivares de milho *Bt* apresentaram menor teor de clorofila em condições de deficiência hídrica, indicando menor tolerância ao estresse biótico que as cultivares convencionais. Estas cultivares, também, apresentaram maior sensibilidade ao estresse biótico, pois, em condição de competição com plantas de *B. pilosa*, independentemente da condição hídrica, mostraram desempenho fotossintético inferior ao das isogênicas (não-*Bt*). Houve reduções nas variáveis taxa fotossintética líquida (A), transpiração (E) e condutância estomática (g_s), com aumento da razão C_i/C_a . Isso indica que a presença do gene *Bt* altera de forma indesejável o desempenho fotossintético do milho no estágio V9 nas condições avaliadas. Todavia, a ocorrência do déficit hídrico no estágio V6-V9 não alterou as trocas gasosas das plantas no estágio de florescimento de milho, indicando recuperação da cultura após reposição da água. Entretanto, nessa condição houve aumento em dias entre o florescimento masculino e o feminino do

milho *Bt* em relação ao não-*Bt*, o que resultou em redução no acúmulo de matéria seca na espiga e no pendão. O mesmo comportamento foi observado quando se cultivou o milho em competição com *B. pilosa*, independentemente da condição hídrica. O comportamento morfológico de plantas de *B. pilosa* não foi alterado por cultivares isogênicas de milho em condição de déficit hídrico.

Em face dos resultados observados, tornam-se necessários novos estudos em condições de campo para confirmar se o desempenho desses materiais, quando submetidos a condições de estresses bióticos e abióticos, irá afetar a produtividade da cultura.

APÊNDICE

Quadro 1A - Resumo da análise de variância de temperatura foliar (TLEAF), transpiração (E), condutância estomática (*gs*), eficiência no uso da água (EUA), taxa fotossintética (A), razão carbono interno e carbono externo (*Ci/Ca*), carbono consumido (ĀC), teor de clorofila (SPAD), produção quântica fotoquímica efetiva do FSII em estado adaptado à luz (Y), taxa de transporte de elétrons (ETR), fluorescência inicial (*F_o*), fluorescência máxima adaptada ao escuro (*F_m*), fluorescência variável (*F_v*), eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II (PSII) (*F_v/F_m*), produção quântica basal dos processos não fotoquímicos no PSII (*F_o/F_m*), eficiência máxima do processo fotoquímico no FSII (*F_v/F_o*), *quenching* fotoquímico (*qP*), rendimento quântico efetivo (ΦIIe) e *quenching* não fotoquímico (NPQ), obtidos no experimento 1 (estádio V9), em híbridos de milho transgênicos e convencionais submetidos ao déficit hídrico. Viçosa-MG, 2013

Quadrados Médios											
FV	GL	TLEAF	E	<i>gs</i>	EUA	A	<i>Ci/Ca</i>	ĀC	SPAD	Y	
BLOC	4	30,919	16,616	0,054	367,166	26,063	0,038	330,415	11,396	0,002	
H	2	1,512 ^{NS}	5,854 ^{NS}	0,005 ^{NS}	118,622 ^{NS}	8,902 ^{NS}	0,018 ^{NS}	178,767 ^{NS}	241,218**	0,005 ^{NS}	
G	1	0,178 ^{NS}	0,086 ^{NS}	0,00003 ^{NS}	0,676 ^{NS}	10,827 ^{NS}	0,031 ^{NS}	137,765 ^{NS}	36,192 ^{NS}	0,0003 ^{NS}	
AS	1	0,573 ^{NS}	102,621**	0,172**	1969,821**	37,500 ^{NS}	0,033 ^{NS}	105,143 ^{NS}	164,672**	0,001 ^{NS}	
H*G	2	0,196 ^{NS}	2,347 ^{NS}	0,0003 ^{NS}	21,742 ^{NS}	5,088 ^{NS}	0,018 ^{NS}	189,925*	27,640 ^{NS}	0,003 ^{NS}	
H*AS	2	1,682 ^{NS}	1,054 ^{NS}	0,0003 ^{NS}	3,476 ^{NS}	5,780 ^{NS}	0,011 ^{NS}	48,101 ^{NS}	4,630 ^{NS}	0,002 ^{NS}	
G*AS	1	0,112 ^{NS}	4,941 ^{NS}	0,005 ^{NS}	137,511 ^{NS}	38,08 ^{NS}	0,005 ^{NS}	113,682 ^{NS}	100,880*	0,002 ^{NS}	
H*G*AS	2	2,762 ^{NS}	7,604 ^{NS}	0,0007 ^{NS}	25,239 ^{NS}	34,73 ^{NS}	0,008 ^{NS}	725,639 ^{NS}	10,152 ^{NS}	0,002 ^{NS}	
Resíduo	44	1,008	4,673	0,007	107,126	110,04	0,022	563,796	18,621	0,007	
CV (%)		2,61	54,056	71,279	65,871	29,96	40,377	29,96	10,609	13,609	
Quadrados Médios											
FV	GL	ETR	<i>F_o</i>	<i>F_m</i>	<i>F_v</i>	<i>F_v/F_m</i>	<i>F_o/F_m</i>	<i>F_v/F_o</i>	<i>qP</i>	ΦIIe	NPQ
BLOC	4	7,185	5544,48	73985,39	53305,4	0,00032	0,00032	0,102	0,6421	0,0883	0,001
H	2	14,053 ^{NS}	3091,42 ^{NS}	90612,19 ^{NS}	47337,4 ^{NS}	0,00022 ^{NS}	0,00022 ^{NS}	0,052 ^{NS}	0,0107 ^{NS}	0,5755 ^{NS}	0,257 ^{NS}
G	1	0,900 ^{NS}	2781,20 ^{NS}	683893,9**	540977,6*	0,00074 ^{NS}	0,00074 ^{NS}	0,334 ^{NS}	2,0609 ^{NS}	0,7414 ^{NS}	0,003 ^{NS}
AS	1	4,902 ^{NS}	29282,50**	21347,63 ^{NS}	126707,1 ^{NS}	0,00056**	0,00556**	1,956**	4,2135*	0,6222 ^{NS}	0,005 ^{NS}
H*G	2	7,628 ^{NS}	344,92 ^{NS}	149418,2 ^{NS}	191652,7 ^{NS}	0,00215*	0,00215*	0,616*	2,2944 ^{NS}	0,0202 ^{NS}	0,139 ^{NS}
H*AS	2	7,082 ^{NS}	3764,82 ^{NS}	325643,9 ^{NS}	288730,8*	0,00114 ^{NS}	0,00115 ^{NS}	0,329 ^{NS}	8,6136 ^{NS}	0,6444 ^{NS}	0,070 ^{NS}
G*AS	1	5,430 ^{NS}	3397,53 ^{NS}	27831,83 ^{NS}	21688,5 ^{NS}	0,00003 ^{NS}	0,00004 ^{NS}	0,006 ^{NS}	5,0784 ^{NS}	0,0088 ^{NS}	0,046 ^{NS}
H*G*AS	2	5,894 ^{NS}	80,36 ^{NS}	258803,6 ^{NS}	250535,7*	0,00120 ^{NS}	0,00119 ^{NS}	0,453 ^{NS}	3,3362 ^{NS}	0,0135 ^{NS}	0,301*
Resíduo	44	17,998	4039,852	88133,48	75782,9	0,00065	0,00065	0,183	7,8390	0,5847	0,091
CV (%)		13,62	8,53	9,16	11,05	3,33	10,97	12,80	12,80	15,58	24,96

* significativo a 5%, ** significativo a 1% e ^{NS} não significativo pelo teste F.

Quadro 2A - Resumo da análise de variância de temperatura foliar (TLEAF), transpiração (E), condutância estomática (*gs*), eficiência no uso da água (EUA), taxa fotossintética (A), razão carbono interno e carbono externo (*Ci/Ca*), carbono consumido (ÄC), teor de clorofila (SPAD), produção quântica fotoquímica efetiva do FSII em estado adaptado à luz (Y), taxa de transporte de elétrons (ETR), fluorescência inicial (*F_o*), fluorescência máxima adaptada ao escuro (*F_m*), fluorescência variável (*F_v*), eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II (PSII) (*F_v/F_m*) produção quântica basal dos processos não fotoquímicos no PSII (*F_o/F_m*), eficiência máxima do processo fotoquímico no FSII (*F_v/F_o*), *quenching* fotoquímico (*qP*), rendimento quântico efetivo (ΦIIe) e *quenching* não fotoquímico (NPQ), obtidos no experimento 1 (estádio R1), em híbridos de milho transgênicos e convencionais submetidas ao déficit hídrico. Viçosa-MG, 2013

Quadrados médios										
FV	GL	TLEAF	E	<i>gs</i>	EUA	A	<i>Ci/Ca</i>	ÄC	SPAD	Y
BLOC	4	59,655	6,795	0,03266	28,785	510,33	0,0441	16671,36	16,736	0,0089
H	2	0,613 ^{NS}	2,548 ^{NS}	0,00522 ^{NS}	53,535 ^{NS}	5,69 ^{NS}	0,0002 ^{NS}	78855,70 ^{NS}	353,049**	0,0040 ^{NS}
G	1	1,462 ^{NS}	3,778 ^{NS}	0,00422 ^{NS}	43,633 ^{NS}	6,59 ^{NS}	0,0013 ^{NS}	175684,34 ^{NS}	0,104 ^{NS}	0,0069 ^{NS}
AS	1	0,271 ^{NS}	0,371 ^{NS}	0,00004 ^{NS}	16,356 ^{NS}	1,60 ^{NS}	0,0002 ^{NS}	33601,93 ^{NS}	286,453**	0,0021 ^{NS}
H*G	2	0,520 ^{NS}	1,687 ^{NS}	0,00921 ^{NS}	39,101 ^{NS}	39,12 ^{NS}	0,0003 ^{NS}	13163,25 ^{NS}	101,070*	0,0045 ^{NS}
H*AS	2	1,800 ^{NS}	1,225 ^{NS}	0,01692 ^{NS}	19,893 ^{NS}	8,77 ^{NS}	0,0043 ^{NS}	17650,88 ^{NS}	35,809 ^{NS}	0,0047 ^{NS}
G*AS	1	3,067 ^{NS}	2,077 ^{NS}	0,07049 ^{NS}	13,474 ^{NS}	14,11 ^{NS}	0,0215 ^{NS}	40544,40 ^{NS}	34,656 ^{NS}	0,0006 ^{NS}
H*G*AS	2	3,597 ^{NS}	2,087 ^{NS}	0,00592 ^{NS}	20,525 ^{NS}	31,32 ^{NS}	0,0059 ^{NS}	91471,72 ^{NS}	51,504 ^{NS}	0,0197**
Resíduo	44	2,682	1,162	0,01457	37,113	30,03	0,0092	185853,49	24,605	0,0031
CV (%)		4,52	16,31	32,97	18,52	10,84	23,02	17,56	10,82	8,88
Quadrados médios										
FV	GL	ETR	<i>F_o</i>	<i>F_m</i>	<i>F_v</i>	<i>F_v/F_m</i>	<i>F_o/F_m</i>	<i>qP</i>	ΦIIe	NPQ
BLOC	4	22,623	8902,68	102516,10	79251,75	0,000495	0,000502	0,3155	0,24193	0,561
H	2	10,586 ^{NS}	15786,47**	556112,30*	386121,60**	0,000190 ^{NS}	0,000177 ^{NS}	0,0045 ^{NS}	0,03065 ^{NS}	0,073 ^{NS}
G	1	17,496 ^{NS}	10881,07*	65538,15 ^{NS}	23010,42 ^{NS}	0,000190 ^{NS}	0,000198 ^{NS}	0,0193 ^{NS}	0,08354 ^{NS}	0,020 ^{NS}
AS	1	5,642 ^{NS}	9525,60*	1000,41 ^{NS}	4352,01 ^{NS}	0,000714*	0,000703*	0,0085 ^{NS}	0,00355 ^{NS}	0,129 ^{NS}
H*G	2	11,229 ^{NS}	800,46 ^{NS}	20871,45 ^{NS}	20139,82 ^{NS}	0,000136 ^{NS}	0,000141 ^{NS}	0,1179 ^{NS}	0,12550 ^{NS}	0,082 ^{NS}
H*AS	2	11,860 ^{NS}	3082,40 ^{NS}	29922,32 ^{NS}	19292,92 ^{NS}	0,000144 ^{NS}	0,000145 ^{NS}	0,2768 ^{NS}	0,21994 ^{NS}	0,047 ^{NS}
G*AS	1	1,666 ^{NS}	13440,07**	31878,15 ^{NS}	3920,41 ^{NS}	0,000487 ^{NS}	0,000503 ^{NS}	0,0354 ^{NS}	0,04200 ^{NS}	0,182 ^{NS}
H*G*AS	2	50,342**	1706,67 ^{NS}	48536,25 ^{NS}	32082,92 ^{NS}	0,000005 ^{NS}	0,000004 ^{NS}	0,8203**	0,75523**	0,033 ^{NS}
Resíduo	44	8,028	1537,34	55658,12	45094,00	0,000139	0,000140	0,1007	0,07837	0,076
CV (%)		8,88	4,97	6,48	7,45	1,50	5,46	13,63	18,77	23,1

* significativo a 5%, ** significativo a 1% e ^{NS} não significativo pelo teste F.

Quadro 3A - Resumo da análise de variância do intervalo entre florescimento masculino e feminino (IFMF), diâmetro do caule (DIAM), altura de planta (ALT), altura da primeira espiga (ALTPE), número de folhas totais (NFT), número de folhas secas (NFS), número de folhas verdes (NFV), massa seca de raiz (MSR), massa seca de caule (MSC), massa seca de folha (MSF), massa seca de órgãos reprodutivos (MSOR), área foliar específica das folhas (AFE), área foliar total (AFT), matéria seca total (MST), razão de massa foliar (RMF), razão de massa caulinar (RMC), razão de massa radicular (RMR), razão de folhas verdes e senescentes (RFV), razão parte aérea/sistema radicular (PA/SR) e índice de colheita (IC), obtidos nas medições morfológicas, em híbridos de milho transgênicos e convencionais submetidos ao déficit hídrico. Viçosa-MG, 2013

Quadrados médios												
FV	GL	IFMF	DIAM	ALT	ALTPE	NFT	NFS	NFV	MSR	MSC	MSF	MSOR
BLOC	4	8,73	10,337	0,049	0,029	2,667	1,650	2,941	5952,01	6358,8	82,08	23,73
H	2	17,11*	67,346**	0,099 ^{NS}	0,062 ^{NS}	9,816*	5,400*	14,616**	3339,76 ^{NS}	9578,1 ^{NS}	2140,26**	4829,31 ^{NS}
G	1	9,60 ^{NS}	0,4816 ^{NS}	1,209**	0,495**	1,350 ^{NS}	5,400 ^{NS}	1,350 ^{NS}	1543,41 ^{NS}	10678,4 ^{NS}	609,99 ^{NS}	134,640 ^{NS}
AS	1	26,66**	93,500**	2,196**	0,539**	2,816 ^{NS}	0,267 ^N	4,816 ^{NS}	196748,8**	46,7 ^{NS}	8914,54**	51051,00**
H*G	2	31,55**	14,063 ^{NS}	0,021 ^{NS}	0,045 ^{NS}	8,150*	0,600 ^{NS}	9,650**	5846,124 ^{NS}	129185,0*	151,72 ^{NS}	3771,33 ^{NS}
H*AS	2	13,81**	4,578 ^{NS}	0,055 ^{NS}	0,014 ^{NS}	0,816 ^{NS}	7,267*	7,616*	17277,16 ^{NS}	1177,9 ^{NS}	238,25 ^{NS}	9267,71 ^{NS}
G*AS	1	17,06*	0,1041 ^{NS}	0,199 ^{NS}	0,131 ^{NS}	0,167 ^{NS}	0,067 ^{NS}	0,150 ^{NS}	6167,35 ^{NS}	5303,8 ^{NS}	154,85 ^{NS}	22093,06*
H*G*AS	2	9,51*	6,695 ^{NS}	0,032 ^{NS}	0,009 ^{NS}	2,817 ^{NS}	0,867 ^{NS}	0,650 ^{NS}	20490,72 ^{NS}	873,8 ^{NS}	386,03 ^{NS}	4882,83 ^{NS}
Resíduo	44	2,65	6,954	0,057	0,037	1,921	1,613	1,796	6866,82	3274,8	263,34	3203,83
CV (%)		51,96	16,82	10,09	17,81	8,11	45,36	9,38	50,41	32,6	20,34	34,03
Quadrados médios												
FV	GL	AFE	AFT	MST	RMF	RMC	RMR	RFV	PA/SR	IC		
BLOC	4	100,53	4936027,7	9414,40	0,00072	0,0167	0,1424	0,00476	9,149	4,646		
H	2	0,81 ^{NS}	38617673,6**	16195,04 ^{NS}	0,8006 ^{NS}	0,0069 ^{NS}	0,09416 ^{NS}	0,01862*	4,747 ^{NS}	26,136*		
G	1	55,38 ^{NS}	5426432,2 ^{NS}	24370,22 ^{NS}	0,9094 ^{NS}	0,0098 ^{NS}	0,00592 ^{NS}	0,01515 ^{NS}	2,331 ^{NS}	14,106 ^{NS}		
AS	1	890,39*	229704840,0**	1285275**	0,1105**	0,0035 ^{NS}	0,04563*	0,00110 ^{NS}	2,105*	20,683 ^{NS}		
H*G	2	35,89 ^{NS}	6346124,8 ^{NS}	19483,94 ^{NS}	0,1025 ^{NS}	0,0019 ^{NS}	0,00025 ^{NS}	0,00336 ^{NS}	7,652 ^{NS}	0,766 ^{NS}		
H*AS	2	65,98 ^{NS}	1521164,0 ^{NS}	53584,37 ^{NS}	0,5619 ^{NS}	0,0058 ^{NS}	0,01191 ^{NS}	0,02378**	5,837 ^{NS}	7,199 ^{NS}		
G*AS	1	153,24 ^{NS}	5486745,6 ^{NS}	97469,58*	0,4223 ^{NS}	0,0028 ^{NS}	0,00009 ^{NS}	0,00019 ^{NS}	1,728 ^{NS}	14,789 ^{NS}		
H*G*AS	2	155,87 ^{NS}	1501264,9 ^{NS}	9414,40 ^{NS}	0,4591 ^{NS}	0,0056 ^{NS}	0,02002 ^{NS}	0,00141 ^{NS}	3,696 ^{NS}	1,428 ^{NS}		
Resíduo	44	134,70	6334830,1	16195,04	0,1301	0,0033	0,00761	0,00459	2,961	6,468		
CV (%)		19,53	20,37	25,23	25,29	19,77	33,69	8,09	50,79	28,40		

* significativo a 5%, ** significativo a 1% e ^{NS} não significativo pelo teste F.

Quadro 1B - Resumo da análise de variância de temperatura foliar (TLEAF), transpiração (E), condutância estomática (g_s), eficiência no uso da água (EUA), taxa fotossintética (A), razão carbono interno e carbono externo (C_i/C_a), carbono consumido ($\ddot{A}C$), teor de clorofila (SPAD), produção quântica fotoquímica efetiva do FSII em estado adaptado à luz (Y), taxa de transporte de elétrons (ETR), fluorescência inicial (F_o), fluorescência máxima adaptada ao escuro (F_m), fluorescência variável (F_v), eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II (PSII) (F_v/F_m), produção quântica basal dos processos não fotoquímicos no PSII (F_o/F_m), eficiência máxima do processo fotoquímico no FSII (F_v/F_o), *quenching* fotoquímico (qP), rendimento quântico efetivo (Φ_{IIe}) e *quenching* não fotoquímico (NPQ), obtidos no experimento 2 (estádio V9), em híbridos de milho transgênicos e convencionais em competição com *Bidens pilosa* submetidos ao déficit hídrico. Viçosa-MG, 2013

Quadrados médios										
FV	GL	TLEAF	E	g_s	A	EUA	C_i/C_a	$\ddot{A}C$	SPAD	Y
BLOC	4	26,211	3,475	0,0035	97,426	216,45	0,128	203713,46	68,666	0,0085
H	2	0,223 ^{NS}	0,398 ^{NS}	0,0005 ^{NS}	34,681 ^{NS}	31,70 ^{NS}	0,028 ^{NS}	485793,89 ^{NS}	225,480**	0,0135 ^{NS}
G	1	1,644 ^{NS}	15,556*	0,0146*	391,443**	165,00 ^{NS}	0,095*	4621,79 ^{NS}	13,728 ^{NS}	0,0063 ^{NS}
AS	1	0,026 ^{NS}	17,168*	0,0144*	357,932**	306,90 ^{NS}	0,016 ^{NS}	6099,28 ^{NS}	15,708 ^{NS}	0,0017 ^{NS}
H*G	2	0,314 ^{NS}	1,097 ^{NS}	0,0011 ^{NS}	29,578 ^{NS}	177,69 ^{NS}	0,008 ^{NS}	28130,85 ^{NS}	47,464 ^{NS}	0,0021 ^{NS}
H*AS	2	0,587 ^{NS}	0,881 ^{NS}	0,0005 ^{NS}	1,185 ^{NS}	294,97*	0,037 ^{NS}	94950,09 ^{NS}	6,500 ^{NS}	0,0050 ^{NS}
G*AS	1	1,271 ^{NS}	2,526 ^{NS}	0,0037 ^{NS}	49,904 ^{NS}	52,08 ^{NS}	0,023 ^{NS}	114983,79 ^{NS}	14,701 ^{NS}	0,1643 ^{-32NS}
H*G*AS	2	2,191 ^{NS}	1,456 ^{NS}	0,0016 ^{NS}	31,442 ^{NS}	240,50 ^{NS}	0,011 ^{NS}	565156,45 ^{NS}	4,598 ^{NS}	0,0098 ^{NS}
Resíduo	44	0,751	2,961	0,0024	47,701	77,77	0,0148	474786,41	25,815	0,0089
CV (%)		2,24	58,91	69,00	65,45	25,61	32,01	24,99	13,75	15,53
Quadrados médios										
FV	GL	ETR	F_o	F_m	F_v	F_v/F_m	F_o/F_m	qP	Φ_{IIe}	NPQ
BLOC	4	21,8458	3245,06	451291,2	407394,3	0,007	0,10136	0,0274	0,4972	0,197
H	2	34,9431 ^{NS}	5358,15 ^{NS}	396814,2*	279890,2 ^{NS}	0,014 ^{NS}	0,04180 ^{NS}	0,0051 ^{NS}	1,3346 ^{NS}	0,351 ^{NS}
G	1	16,5375 ^{NS}	2196,15 ^{NS}	18165,6 ^{NS}	58094,82 ^{NS}	0,002 ^{NS}	0,00493 ^{NS}	0,0084 ^{NS}	0,5434 ^{NS}	0,113 ^{NS}
AS	1	4,3201 ^{NS}	7866,15 ^{NS}	693,6 ^{NS}	2982,150 ^{NS}	0,012 ^{NS}	0,21584 ^{NS}	0,0003 ^{NS}	0,1377 ^{NS}	0,010 ^{NS}
H*G	2	5,5665 ^{NS}	3867,65 ^{NS}	6984,8 ^{NS}	1202,717 ^{NS}	0,008 ^{NS}	0,07404 ^{NS}	0,0076 ^{NS}	0,0938 ^{NS}	0,116 ^{NS}
H*AS	2	12,8601 ^{NS}	2298,75 ^{NS}	65488,2 ^{NS}	80427,95 ^{NS}	0,011 ^{NS}	0,02637 ^{NS}	0,0112 ^{NS}	0,0409 ^{NS}	0,267 ^{NS}
G*AS	1	0,0002 ^{NS}	770,41 ^{NS}	129177,6 ^{NS}	104918,0 ^{NS}	0,015 ^{NS}	0,07661 ^{NS}	0,0005 ^{NS}	0,1826 ^{NS}	0,026 ^{NS}
H*G*AS	2	24,8661 ^{NS}	3007,51 ^{NS}	149215,2 ^{NS}	106822,7 ^{NS}	0,015 ^{NS}	0,00267 ^{NS}	0,0191 ^{NS}	0,6806 ^{NS}	0,205 ^{NS}
Resíduo	44	22,7057	4282,90	122759,9	114789,3	0,010	0,10011	0,0192	0,6379	0,149
CV (%)		15,56	8,43	10,79	13,74	13,92	12,14	17,81	16,02	30,78

* significativo a 5%, ** significativo a 1% e ^{NS} não significativo pelo teste F.

Quadro 2B - Resumo da análise de variância de temperatura foliar (TLEAF), transpiração (E), condutância estomática (g_s), eficiência no uso da água (EUA), taxa fotossintética (A), razão carbono interno e carbono externo (C_i/C_a), carbono consumido ($\dot{A}C$), teor de clorofila (SPAD), produção quântica fotoquímica efetiva do FSII em estado adaptado à luz (Y), taxa de transporte de elétrons (ETR), fluorescência inicial (F_o), fluorescência máxima adaptada ao escuro (F_m), fluorescência variável (F_v), eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II (PSII) (F_v/F_m), produção quântica basal dos processos não fotoquímicos no PSII (F_o/F_m), eficiência máxima do processo fotoquímico no FSII (F_v/F_o), *quenching* fotoquímico (qP), rendimento quântico efetivo (Φ_{IIe}) e *quenching* não fotoquímico (NPQ) obtidos no experimento 2 (estádio R1), em híbridos de milho transgênicos e convencionais em competição com *Bidens pilosa* submetidos ao déficit hídrico. Viçosa-MG, 2013

Quadrados médios										
FV	GL	TLEAF	E	g_s	A	EUA	C_i/C_a	$\dot{A}C$	SPAD	Y
BLOC	4	57,464	9,212	0,0270	76,033	389,16	0,0483	19309,08	20,887	0,00794
H	2	5,844 ^{NS}	0,269 ^{NS}	0,0228 ^{NS}	13,447 ^{NS}	49,35 ^{NS}	0,0913 ^{NS}	43792,85 ^{NS}	199,661**	0,01282*
G	1	0,110 ^{NS}	3,777 ^{NS}	0,0119 ^{NS}	42,224 ^{NS}	8,74 ^{NS}	0,0018 ^{NS}	559,37 ^{NS}	2,072 ^{NS}	0,00442 ^{NS}
AS	1	4,032 ^{NS}	0,572 ^{NS}	0,0006 ^{NS}	9,9172 ^{NS}	1,50 ^{NS}	0,0083 ^{NS}	127844,73 ^{NS}	53,676 ^{NS}	0,0034 ^{NS}
H*G	2	5,114 ^{NS}	0,899 ^{NS}	0,0114 ^{NS}	42,628 ^{NS}	9,05 ^{NS}	0,0105 ^{NS}	101154,19 ^{NS}	24,061 ^{NS}	0,0051 ^{NS}
H*AS	2	8,544 ^{NS}	1,383 ^{NS}	0,0118 ^{NS}	22,396 ^{NS}	31,76 ^{NS}	0,0121 ^{NS}	10796,08 ^{NS}	7,403 ^{NS}	0,0023 ^{NS}
G*AS	1	1,833 ^{NS}	0,135 ^{NS}	0,0191 ^{NS}	1,0001 ^{NS}	0,7481 ^{NS}	0,0066 ^{NS}	12807,12 ^{NS}	1,395 ^{NS}	0,0092 ^{NS}
H*G*AS	2	0,915 ^{NS}	0,291 ^{NS}	0,0112 ^{NS}	33,061 ^{NS}	60,00 ^{NS}	0,0022 ^{NS}	224606,19 ^{NS}	55,202 ^{NS}	0,0048 ^{NS}
Resíduo	44	5,051	1,228	0,0136	35,652	51,63	0,0096	15084,60	20,193	0,003878
CV (%)		6,28	17,12	31,55	18,46	14,12	22,44	15,94	10,57	9,79
Quadrados médios										
FV	GL	ETR	F_o	F_m	F_v	F_v/F_m	F_o/F_m	qP	Φ_{IIe}	NPQ
BLOC	4	19,974	4759,058	56392,7 ^{NS}	41825,78	0,00014	0,00014	0,6410	0,3468	0,292
H	2	32,398*	3130,400 ^{NS}	20717,5 ^{NS}	10538,72 ^{NS}	0,00026 ^{NS}	0,00026 ^{NS}	0,0459 ^{NS}	0,1869 ^{NS}	0,024 ^{NS}
G	1	11,266 ^{NS}	1826,017 ^{NS}	38658,8 ^{NS}	16401,07 ^{NS}	0,00003 ^{NS}	0,00003 ^{NS}	0,2013 ^{NS}	0,2250 ^{NS}	0,051 ^{NS}
AS	1	8,6640 ^{NS}	28,01667 ^{NS}	2394,0 ^{NS}	317,40 ^{NS}	0,00004 ^{NS}	0,00003 ^{NS}	0,0455 ^{NS}	0,0844 ^{NS}	0,050 ^{NS}
H*G	2	13,047 ^{NS}	3421,267 ^{NS}	20186,0 ^{NS}	19627,52 ^{NS}	0,00050 ^{NS}	0,00049 ^{NS}	0,0110 ^{NS}	0,0288 ^{NS}	0,001 ^{NS}
H*AS	2	5,9495 ^{NS}	2414,467 ^{NS}	113303,5 ^{NS}	72656,15 ^{NS}	0,00004 ^{NS}	0,00004 ^{NS}	0,1633 ^{NS}	0,1113 ^{NS}	0,043 ^{NS}
G*AS	1	23,312 ^{NS}	442,816 ^{NS}	25668,0 ^{NS}	12848,07 ^{NS}	0,00001 ^{NS}	0,00001 ^{NS}	0,3024 ^{NS}	0,2868 ^{NS}	0,002 ^{NS}
H*G*AS	2	12,223 ^{NS}	1300,867 ^{NS}	34583,2 ^{NS}	27358,82 ^{NS}	0,00005 ^{NS}	0,00005 ^{NS}	0,0826 ^{NS}	0,0996 ^{NS}	0,054 ^{NS}
Resíduo	44	9,8255	2923,104	54338,0	40934,38	0,00018	0,00018	0,1289	0,0955	0,129
CV (%)		9,79	6,67	6,34	7,07	1,75	6,10	29,63	19,50	28,35

* significativo a 5%, ** significativo a 1% e ^{NS} não significativo pelo teste F.

Quadro 3B - Resumo da análise de variância do intervalo entre florescimento masculino e feminino (IFMF), diâmetro do caule (DIAM), altura de planta (ALT), altura da primeira espiga (ALTPE), número de folhas totais (NFT), número de folhas secas (NFS), número de folhas verdes (NFV), massa seca de raiz (MSR), massa seca de caule (MSC), massa seca de folha (MSF), massa seca de órgãos reprodutivos (MSOR), área foliar específica das folhas (AFE), área foliar total (AFT), matéria seca total (MST), razão de massa foliar (RMF), razão de massa caulinar (RMC), razão de massa radicular (RMR), razão de folhas verdes e senescentes (RFV), razão parte aérea/sistema radicular (PA/SR) e índice de colheita (IC), obtidos nas medições morfológicas, em híbridos de milho transgênicos e convencionais submetidas ao déficit hídrico. Viçosa-MG, 2013

Quadrados médios											
FV	GL	IFMF	DIAM	ALT	ALTPE	NFT	NFV	MSR	MSC	MSF	MSOR
BLOC	4	20,196	16,6205	0,1195	0,017581	0,833	0,94	3868,6	5959,23	173,1	3782,17
H	2	14,716 ^{NS}	30,4686 ^{**}	0,2263 ^{NS}	0,132121 ^{**}	13,950 ^{**}	9,15 ^{**}	6702,1 ^{NS}	14103,05 ^{**}	1522,4 ^{**}	8956,49 ^{**}
G	1	58,017 [*]	8,8935 ^{NS}	0,1075 ^{NS}	0,036015 ^{NS}	0,600 ^{NS}	1,06 ^{NS}	2468,3 ^{NS}	2269,35 ^{NS}	114,9 ^{NS}	60,88 ^{NS}
AS	1	4,816 ^{NS}	27,3375 [*]	0,3168 ^{NS}	0,000002 ^{NS}	1,666 ^{NS}	0,001 ^{NS}	48590,3 ^{**}	18762,01 ^{**}	5183,8 ^{**}	41535,07 ^{**}
H*G	2	39,716 [*]	4,4180 ^{NS}	0,0821 ^{NS}	0,008540 ^{NS}	0,050 ^{NS}	2,016	8904,2 [*]	3153,65 ^{NS}	140,0 ^{NS}	1801,61 ^{NS}
H*AS	2	0,716 ^{NS}	9,1140 ^{NS}	0,0057 ^{NS}	0,025286 ^{NS}	2,816 ^{NS}	9,05 ^{**}	1162,2 ^{NS}	183,01 ^{NS}	18,4 ^{NS}	162,91 ^{NS}
G*AS	1	22,816 ^{NS}	0,0002 ^{NS}	0,0317 ^{NS}	0,009375 ^{NS}	5,4000 [*]	0,26 ^{NS}	613,7 ^{NS}	3153,75 ^{NS}	137,7 ^{NS}	12483,11 ^{**}
H*G*AS	2	7,116 ^{NS}	2,2886 ^{NS}	0,0124 ^{NS}	0,005580 ^{NS}	0,050 ^{NS}	1,516 ^{NS}	3003,8 ^{NS}	183,35 ^{NS}	149,6 ^{NS}	4763,96 ^{NS}
Resíduo	44	8,346	5,7635	0,0861	0,014246	1,142	1,43	2686,68	1901,10	138,3	1632,025
CV (%)		54,68	17,20	15,24	12,47	6,47	8,42	45,87	35,16	19,26	38,43
Quadrados médios											
FV	GL	AFE	AMF	AFT	MST	RMF	RMC	RMR	RFV	PA/SR	IC
BLOC	4	401,7	24384,93	8091028,7	15065,2	0,0055	0,0189	0,0287	0,0007	8,791	7,031
H	2	171,1 ^{NS}	57948,34 [*]	23720487,9 [*]	104077,4 ^{**}	0,0017 ^{NS}	0,0037 ^{NS}	0,0014 ^{NS}	0,0022 ^{NS}	1,912 ^{NS}	7,075 ^{NS}
G	1	29,3 ^{NS}	283,83 ^{NS}	14415,0 ^{NS}	10093,3 ^{NS}	0,0055 ^{NS}	0,0010 ^{NS}	0,0030 ^{NS}	0,0004 ^{NS}	5,060 ^{NS}	6,848 ^{NS}
AS	1	1120,0 ^{**}	274388,4 ^{**}	84187153,0 ^{**}	405874,1 ^{**}	0,0045 ^{NS}	0,0012 ^{NS}	0,0127 ^{NS}	0,0045 ^{NS}	1,288 ^{NS}	10,854 ^{NS}
H*G	2	44,0 ^{NS}	4774,38 ^{NS}	1015877,8 ^{NS}	38154,1 [*]	0,0017 ^{NS}	0,0004 ^{NS}	0,0061 ^{NS}	0,0082 ^{NS}	3,268 ^{NS}	2,176 ^{NS}
H*AS	2	90,1 ^{NS}	14204,71 ^{NS}	4603076,6 ^{NS}	1328,6 ^{NS}	0,0012 ^{NS}	0,0021 ^{NS}	0,0019 ^{NS}	0,0096 [*]	1,722 ^{NS}	0,151 ^{NS}
G*AS	1	708,3 [*]	63034,21 [*]	10895377,0 ^{NS}	41682,5 [*]	0,0025 ^{NS}	0,0003 ^{NS}	0,0063 ^{NS}	0,0073 ^{NS}	4,816 ^{NS}	15,392 ^{NS}
H*G*AS	2	73,8 ^{NS}	9465,64 ^{NS}	2850012,0 ^{NS}	18501,0 ^{NS}	0,0013 ^{NS}	0,0046 ^{NS}	0,0009 ^{NS}	0,0036 ^{NS}	1,618 ^{NS}	5,081 ^{NS}
Resíduo	44	127,2	11474,91	3353602,7	10101,3	0,0009	0,0066	0,0078	0,0027	3,835	3,854
CV (%)		23,15	21,02	21,74	24,29	19,66	26,81	33,36	6,12	60,33	25,22

* significativo a 5%, ** significativo a 1% e ^{NS} não significativo pelo teste F.

Quadro 4B - Resumo da análise de variância do intervalo entre florescimento masculino e feminino (IFMF), diâmetro do caule (DIAM), altura de planta (ALT), altura da primeira espiga (ALTPE), número de folhas totais (NFT), número de folhas secas (NFS), número de folhas verdes (NFV), massa seca de raiz (MSR), massa seca de caule (MSC), massa seca de folha (MSF), massa seca de órgãos reprodutivos (MSOR), área foliar específica das folhas (AFE), área foliar total (AFT), matéria seca total (MST), razão de massa foliar (RMF), razão de massa caulinar (RMC), razão de massa radicular (RMR), razão de folhas verdes e senescentes (RFV) e razão parte aérea/sistema radicular (PA/SR), obtidos nas medições morfológicas, em plantas daninhas de *Bidens pilosa* na competição com híbridos de milho transgênicos e convencionais submetidos ao déficit hídrico. Viçosa-MG, 2013

		Quadrados médios							
FV	GL	MSRPD	MSCPD	MSFPD	MSSPD	MSTPD	RMFPD	RMCPD	RMRPD
BLOC	4	6022680,191	4341539,941	1047764,891	345110,141	11815042,516	1491,833	12198,558	18987,433
H	2	3931734,200 ^{NS}	4356018,816 ^{NS}	3784839,800 ^{NS}	90385,800 ^{NS}	13244646,716 ^{NS}	7303,400 ^{NS}	1563,216 ^{NS}	10933,316 ^{NS}
G	1	359445,600 ^{NS}	2774,400 ^{NS}	270278,816 ^{NS}	2856,600 ^{NS}	1251370,416 ^{NS}	1,350 ^{NS}	244,016 ^{NS}	1083,750 ^{NS}
AS	1	18851857,060*	319925805,066*	49673260,816**	3706129,066**	973527320,416**	2815,350 ^{NS}	84150,150 ^{NS}	32806,816 ^{NS}
H*G	2	4877232,200 ^{NS}	12452523,350 ^{NS}	1499861,066 ^{NS}	81205,400 ^{NS}	43218259,016 ^{NS}	978,200 ^{NS}	4039,816 ^{NS}	409,850 ^{NS}
H*AS	2	9240067,266 ^{NS}	3231278,616 ^{NS}	903450,466 ^{NS}	28819,466 ^{NS}	28402261,716 ^{NS}	4205,000 ^{NS}	1993,950 ^{NS}	10962,116 ^{NS}
G*AS	1	6089083,266 ^{NS}	19971124,266 ^{NS}	3811752,150 ^{NS}	601,666 ^{NS}	78576792,816 ^{NS}	252,150 ^{NS}	4083,750 ^{NS}	54,150 ^{NS}
H*G*AS	2	794178,466 ^{NS}	79530,616 ^{NS}	131948,600 ^{NS}	81874,866 ^{NS}	723017,016 ^{NS}	426,600 ^{NS}	551,150 ^{NS}	1143,050 ^{NS}
Resíduo	44	4015189,673	7306020,105	1850996,146	98432,396	22625127,780	2825,242	6342,285	11104,769
CV (%)		55,84	37,16	33,18	22,84	29,12	20,86	18,52	47,29

* significativo a 5%, ** significativo a 1% e ^{NS} não significativo pelo teste F.