

**Desenvolvimento de Híbridos de Sorgo  
Sensíveis ao Fotoperíodo visando  
Alta Produtividade de Biomassa**



ISSN 1679-0154

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*  
*Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo*  
*Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

*Dezembro, 2010*

# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 28***

## **Desenvolvimento de Híbridos de Sorgo Sensíveis ao Fotoperíodo visando Alta Produtividade de Biomassa**

Rafael Augusto da Costa Parrella  
José Avelino Santos Rodrigues  
Flávio Dessaune Tardin  
Cynthia Maria Borges Damasceno  
Robert Eugene Schaffert

Embrapa Milho e Sorgo  
Sete Lagoas, MG  
2010

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Milho e Sorgo**

Rod. MG 424 Km 45

Caixa Postal 151

CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG

Fone: (31) 3027-1100

Fax: (31) 3027-1188

Home page: [www.cnpms.embrapa.br](http://www.cnpms.embrapa.br)

E-mail: [sac@cnpms.embrapa.br](mailto:sac@cnpms.embrapa.br)

**Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: Antônio Carlos de Oliveira

Secretário-Executivo: Elena Charlotte Landau

Membros: Flávio Dessaune Tardin, Eliane Aparecida Gomes, Paulo Afonso Viana, João Herbert Moreira Viana, Guilherme Ferreira Viana e Rosângela Lacerda de Castro

Supervisão editorial: Adriana Noce

Revisão de texto: Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica: Rosângela Lacerda de Castro

Tratamento de ilustrações: Tânia Mara Assunção Barbosa

Editoração eletrônica: Tânia Mara Assunção Barbosa

Foto(s) da capa: Rafael Augusto da Costa Parrella

**1ª edição**

1ª impressão (2010): on line

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Embrapa Milho e Sorgo**

---

Desenvolvimento de híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo visando alta produtividade de biomassa / Rafael Augusto da Costa Parrella ... [et al.]. -- Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2010.

23 p. : il. -- (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1679-0154; 28).

1. Sorgo. 2. *Sorghum bicolor*. 3. Variedade. I. Parrella, Rafael Augusto da Costa. II. Série.

CDD 633.174(21. ed.)

---

© Embrapa 2010

# Sumário

<b>Introdução</b> .....	5
<b>Material e Métodos</b> .....	8
<b>Resultados e Discussão</b> .....	9
<b>Conclusões</b> .....	21
<b>Referências</b> .....	22



# Desenvolvimento de Híbridos de Sorgo Sensíveis ao Fotoperíodo visando Alta Produtividade de Biomassa

*Rafael Augusto da Costa Parrella<sup>1</sup>*

*José Avelino Santos Rodrigues<sup>2</sup>*

*Flávio Dessaune Tardin<sup>3</sup>*

*Cynthia Maria Borges Damasceno<sup>4</sup>*

*Robert Eugene Schaffert<sup>5</sup>*

## Introdução

Atualmente, está em desenvolvimento a tecnologia para produção de etanol lignocelulósico, também denominada tecnologia de segunda geração de biocombustíveis. Neste caso, a matéria-prima (biomassa vegetal) precisa passar por hidrólises para converter as longas cadeias carbônicas em açúcares fermentescíveis, com vista à produção de biocombustível. Por se tratar de uma nova tecnologia, é necessário avaliar e caracterizar biomassas vegetais visando o fornecimento sustentável de matéria-prima para produção de biocombustível lignocelulósico. Neste sentido, o programa de melhoramento genético da Embrapa Milho e Sorgo desenvolveu híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo com potencial produtivo superior a 50 t.ha<sup>-1</sup> de matéria seca por ciclo (6 meses) e com baixos teores de lignina na planta (entre

---

<sup>1</sup>Engenheiro-Agrônomo, Doutor em Melhoramento de Plantas, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. [parrella@cnpms.embrapa.br](mailto:parrella@cnpms.embrapa.br)

<sup>2</sup>Engenheiro-Agrônomo, Doutor em Melhoramento de Plantas, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. [avelino@cnpms.embrapa.br](mailto:avelino@cnpms.embrapa.br)

<sup>3</sup>Engenheiro-Agrônomo, Doutor em Melhoramento de Plantas, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. [tardin@cnpms.embrapa.br](mailto:tardin@cnpms.embrapa.br)

<sup>4</sup>Engenheira-Agrônoma, Doutora em Genética Molecular, Pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. [cynthia@cnpms.embrapa.br](mailto:cynthia@cnpms.embrapa.br)

<sup>5</sup>Engenheiro-Agrônomo, Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. [schaffert@cnpms.embrapa.br](mailto:schaffert@cnpms.embrapa.br)



1 e 10%), o que confere alta qualidade de biomassa (SKONIESKI et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2009; ZHAO et al., 2009).

O fotoperiodismo pode ser definido como a resposta do desenvolvimento da planta à duração dos períodos de luz e de escuro, afetando a indução floral e o crescimento final. Para o sorgo, existem diferentes respostas à duração do período luminoso diário, sendo que os materiais genéticos podem ser classificados como sensíveis ou insensíveis ao fotoperiodismo. O comprimento do dia varia de acordo com a estação do ano e com a latitude. O sorgo sensível é uma planta de dias curtos, ou seja, floresce em períodos do ano com noites longas. Em cultivares sensíveis, a gema apical permanece vegetativa até que os dias encurtem o bastante para haver a sua diferenciação em gema floral, e isso é o que se chama fotoperíodo crítico. O fotoperíodo crítico do sorgo sensível ao fotoperíodo poderia então ser colocado da seguinte maneira: se o comprimento do dia aumenta, a planta não floresce, ao passo que se o comprimento do dia decresce, tornando-se menor que 12 horas e 20 minutos, ocorrerá a indução floral e, então, a planta floresce.

O controle da sensibilidade ao fotoperiodismo e de maturação (indução de floração) em sorgo está associado ao efeito de dois alelos em seis loci: *Ma1,ma1*; *Ma2,ma2*; *Ma3,ma3*; *Ma4,ma4*; *Ma5,ma5*; e *Ma6,ma6* (ROONEY; AYDIN, 1999). Os loci *Ma1* a *MA4* controlam o ciclo, enquanto os loci *Ma5* e *Ma6* são responsáveis pela sensibilidade ao fotoperiodismo. Os genótipos *Ma5Ma5ma6ma6*; *ma5ma5Ma6Ma6* são insensíveis a fotoperíodo e florescem entre 60 e 70 dias após germinação independente do comprimento do dia. Os híbridos derivados de cruzamentos entre linhagens com estes genótipos são sensíveis (*Ma5ma5Ma6ma6*) ao fotoperíodo e têm indução floral somente em períodos em que os dias apresentam menos de 12 horas e 20 minutos de luz. Tal mecanismo permite a confecção de híbridos sensíveis ao fotoperíodo com alta produtividade de biomassa e com ciclos mais variáveis. Contudo, Quinby e Schertz (1970) relatam que genótipos com constituição genética *Ma1\_\_* são sensíveis ao fotoperíodo,

independentemente dos demais loci. E ainda, genótipos com constituição genética *ma1ma1* são insensíveis ao fotoperíodo.

Neste trabalho utilizou-se esta estratégia para confecção dos híbridos sensíveis a partir de cruzamentos entre um conjunto de linhagens insensíveis (*ma1ma1*) e um grupo de linhagens sensíveis (*Ma1 Ma1*). Assim, esperava-se que todos os híbridos obtidos fossem sensíveis ao fotoperíodo por apresentarem a constituição genética *Ma1ma1*.

Desta forma, cultivares de sorgo sensíveis ao fotoperíodo semeados nos meses de setembro ou outubro em regiões com fotoperíodo maior que 12 horas e 20 minutos, apenas irão iniciar o desenvolvimento da gema floral a partir de 21 de março do ano seguinte, ampliando o ciclo vegetativo e, concomitantemente, possibilitando maior produção de biomassa por hectare/ciclo em comparação a cultivares insensíveis ao fotoperíodo. Portanto, os híbridos sensíveis ao fotoperíodo apresentam-se como uma excelente alternativa para o fornecimento de matéria-prima para produção de etanol celulósico. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar e caracterizar a biomassa obtida a partir de híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo visando à produção de biocombustíveis.

## Material e Métodos

### Obtenção de híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo

Para obtenção dos híbridos sensíveis, foram utilizadas linhagens macho-estéreis insensíveis, denominadas A1, como fêmeas, cruzadas com linhagens restauradoras de fertilidade sensíveis ao fotoperíodo, denominadas R1, no grupo de machos (Tabela 1). Os híbridos foram obtidos de duas formas, sendo uma através de cruzamento manual, coletando-se pólen nos machos para polinizar as fêmeas, e a outra através da utilização de campos isolados constituídos por linhagens macho-estéreis e uma única linhagem fértil produtora de pólen, com plantio alternado na proporção de 3 fêmeas para um macho. É importante salientar, que devido à sensibilidade dos machos ao

fotoperíodo, os campos de cruzamentos foram conduzidos entre os dias 21 de março (Equinócio de Outono) e 22 de setembro (Equinócio de Primavera), pois dentro deste intervalo o fotoperíodo é menor que 12 horas e 20 minutos na Embrapa Milho e Sorgo localizada no município de Sete Lagoas-MG, à uma latitude de 19° 27' 57" e longitude 44° 14' 49", o qual é o fotoperíodo crítico para estimular o florescimento de genótipos de sorgo sensíveis.

Neste trabalho foi utilizado um campo de cruzamento manual e 3 campos isolados para obtenção das sementes híbridas no município de Sete Lagoas-MG. O campo de cruzamento manual foi implantado com um conjunto de 5 linhagens macho-estéreis insensíveis e 13 linhagens restauradoras sensíveis. Cada campo isolado foi composto por 24 linhagens macho-estéreis e uma única linhagens restauradora, que é produtora de pólen, plantadas numa proporção de 1 linhas de macho para 3 linhas de fêmeas. Para obter maior chance na coincidência do florescimento masculino e feminino e, obtenção das sementes híbridas, tanto no campo de cruzamento manual quanto nos campos isolados, foram realizados "splits" entre as sementeiras das linhagens parentais. Assim, as linhagens "R" sensíveis foram semeadas nos dias 0, 10 e 20 dias após o primeiro plantio. Já as linhagens macho-estéreis "A1" foram todas semeadas em uma única época, juntamente com o último plantio dos machos. Na figura 1 são apresentadas fotos do campo de cruzamento e de um dos campos isolados, ambos em pleno florescimento, mostrando coincidência no florescimento masculino e feminino.

Considerando o campo de cruzamento manual e os três campos isolados, foram obtidos 102 híbridos experimentais sensíveis ao fotoperíodo. Entretanto, para apenas 40 híbridos foram obtidas sementes suficientes para implantação de ensaios em dois locais com repetição. É importante salientar que a condução dos campos para produção de sementes híbridas se deu no outono/inverno, reduzindo a produção de sementes das linhagens macho-estéreis devido ao frio comum nessa época. As baixas temperaturas ainda favorecem a

doença “ergot”, ou doença açucarada do sorgo, que também contribui para redução da produção e queda da qualidade das sementes. Essas dificuldades podem ser minimizadas com plantios mais cedo, entre 15 de fevereiro e 15 de março, evitando, assim, que o florescimento das linhagens ocorra no inverno. Além disso, a aplicação de fungicidas específicos podem ajudar a controlar o “ergot”, aumentando a produção de sementes e aumentando a qualidade.

**Tabela 1.** Lista de linhagens de sorgo utilizadas para obtenção de híbridos sensíveis ao fotoperíodo

Entrada	Florescimento *	Tipo	Reação ao Fotoperíodo
0968001	65	Macho estéril - A	insensível
0968002	65	Macho estéril - A	insensível
0968003	68	Macho estéril - A	insensível
0968004	69	Macho estéril - A	insensível
0968005	65	Macho estéril - A	insensível
0968006	65	Macho estéril - A	insensível
0968007	73	Macho estéril - A	insensível
0968008	75	Macho estéril - A	insensível
0968009	75	Macho estéril - A	insensível
0968010	69	Macho estéril - A	insensível
0968011	52	Macho estéril - A	insensível
0968012	66	Macho estéril - A	insensível
0968013	70	Macho estéril - A	insensível
0968014	71	Macho estéril - A	insensível
0968015	70	Macho estéril - A	insensível
0968016	70	Macho estéril - A	insensível
0968017	68	Macho estéril - A	insensível
0968018	68	Macho estéril - A	insensível
0968019	71	Macho estéril - A	insensível
0968020	70	Macho estéril - A	insensível
0968021	70	Macho estéril - A	insensível
0968022	70	Macho estéril - A	insensível
0968023	70	Macho estéril - A	insensível
0968024	73	Macho estéril - A	insensível
0616033	74	Macho estéril - A	insensível
0616099	70	Macho estéril - A	insensível
0736001	66	Macho estéril - A	insensível
CMSXS650	82	Macho fértil - R	sensível
CMSXS651	68	Macho fértil - R	sensível
CMSXS652	82	Macho fértil - R	sensível
0963007	101	Macho fértil - R	sensível
0963006	93	Macho fértil - R	sensível
0963004	74	Macho fértil - R	sensível

\* Florescimento (dias após o plantio), com base em semeadura em janeiro de 2009

Foto: Rafael A. da Costa Parrilla



**Figura 1.** A – Campo de cruzamento manual e B - Campo isolado para obtenção de sementes híbridas de sorgo sensíveis ao fotoperíodo, instalado em Sete Lagoas-MG, 2009.

## Avaliação dos híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo

Foram avaliados 40 híbridos juntamente com 9 linhagens R, parentais destes híbridos, em Sete Lagoas-MG, à latitude de 19° 27' S e longitude 44° 15' O e em Nova Porteirinha, no Norte de Minas, à latitude de 15° 48' S e longitude 43° 18' O. Os ensaios foram implantados no ano agrícola de 2009/2010, com semeadura realizada em novembro de 2009 em Sete Lagoas e dezembro em Nova Porteirinha. Nessa época de plantio, os dias possuem mais de 12 horas e 20 minutos de luz, sendo possível a ampliação do período vegetativo de cultivares de sorgo sensíveis ao fotoperíodo, os quais só serão estimulados a florescer após 21 de março (Equinócio de outono), quando os dias possuem menos de 12 horas e 20 minutos.

O delineamento experimental foi em látice simples, com duas repetições e 49 tratamentos, compostos pelos 40 híbridos, mais as 9 linhagens de sorgo. As parcelas experimentais foram constituídas por 3 fileiras de cinco metros, espaçadas de 0,70m. A população inicial utilizada foi de 125.000 plantas/ha, mas como estes materiais possuem a capacidade de perfilhar, o stand final variou de 150.000 a 200.000 plantas/ha. Para a adubação de plantio foram utilizados 400 kg.ha<sup>-1</sup> do formulado 08-28-16 e foram aplicados 200 kg.ha<sup>-1</sup> de uréia em cobertura. Procedeu-se irrigação suplementar durante veranico. Os demais tratamentos culturais foram os normalmente utilizados para a cultura.

As avaliações foram feitas na fileira central de cada parcela e as características avaliadas foram: Florescimento: número de dias da sementeira até o início da liberação de pólen em 50% das plantas da parcela; Altura de plantas (AP): altura média, em m, das plantas de cada parcela, medidas da superfície do solo ao ápice da panícula; Produção de massa verde total (PMV) e massa seca total (PMS): determinadas em kg/parcela, através da pesagem de todas as plantas (completas) de cada parcela, colhidas na maturidade fisiológica do grão. Para determinação da matéria seca foram retiradas amostra da biomassa verde das parcelas, as quais foram armazenadas em estufa a 65°C por 72 horas. Posteriormente, através da diferença entre os pesos secos e úmidos, obteve-se a porcentagem de matéria seca de cada parcela. Os dados de PMV e PMS foram convertidos para t.ha<sup>-1</sup>.

As análises de variâncias para cada característica foram feitas por local, utilizando-se o programa Mstat. Devido à baixa eficiência do delineamento látice, procedeu-se análise conjunta em blocos casualizados após aceitas as pressuposições para análise conjunta de experimentos (RAMALHO et al., 2000). Para a análise conjunta dos dados, foi empregado o programa Sisvar 4.1 (FERREIRA, 2003) e as médias foram agrupadas de acordo com o método de Scott e Knott (1974).

## Resultados e Discussão

Os resumos das análises de variância para florescimento, altura de plantas, produção de massa verde (PMV) e produção de massa seca (PMS) estão apresentados na Tabela 2. Verificou-se diferenças significativas ( $p \leq 0,01$ ) entre os materiais avaliados para todas as características. O florescimento dos genótipos variou de 68 a 162 dias, bem como a altura de plantas variou de 2,72 a 5,60 m, produção de massa verde variou de 17,72 a 135,28 t.ha<sup>-1</sup> e produção de massa seca com variação de 5,29 a 57,87 t.ha<sup>-1</sup> (Tabela 3 e 4), mostrando que os genótipos diferiram geneticamente entre si quanto às características avaliadas.

Verificou-se diferenças significativas ( $p \leq 0,01$ ) entre os locais avaliados para todas as características (Tabela 2), mostrando a existência de diferenças ambientais entre os locais avaliados. Em Sete Lagoas, a média de dias para florescimento foi de 150 dias e em Nova Porteirinha, de 125 dias. Esta diferença de 25 dias, se deve basicamente, ao atraso de aproximadamente 30 dias no plantio do experimento de Nova Porteirinha. Os 25 dias a mais de período vegetativo em Sete Lagoas refletiu em aumento da altura média das plantas (4,76m) quando comparados à Nova Porteirinha (4,46m). Contudo, essa diferença não foi verificada para PMV e PMS, onde maiores produtividades foram observadas em Nova Porteirinha, com 87,44 t.ha<sup>-1</sup> para PMV e 34,06 t.ha<sup>-1</sup> para PMS, contra 76,79 t.ha<sup>-1</sup> para PMV e 22,49 t.ha<sup>-1</sup> para PMS, em Sete Lagoas.

Verificou-se interação genótipos por ambientes significativa ( $p \leq 0,05$ ) para todas as características, exceto florescimento (Tabela 2). A não significância da interação entre tratamentos e ambientes demonstra um comportamento semelhante dos genótipos avaliados em ambos os locais para o florescimento. Todos os híbridos avaliados apresentaram florescimento superior a 120 dias (Tabela 3), confirmando a sensibilidade ao fotoperíodo, pois o plantio foi feito em novembro e dezembro, sob dias longos, em que o fotoperíodo é superior a 12 horas e 20 minutos. Desta forma, o florescimento teve início apenas no mês de março, quando os dias apresentaram fotoperíodo crítico para estimular o florescimento dos genótipos sensíveis. Tal comportamento não foi verificado para os genótipos 0965079 e 0965095, que floresceram aos 87 e 68 dias, respectivamente. Este comportamento era esperado, pois estes genótipos são insensíveis ao fotoperíodo e foram incluídos no ensaio como testemunhas e não fizeram parte de nenhuma combinação híbrida. Os genótipos CMSXS650, CMSXS651, CMSXS652, 0963004, 0963006, 0963007 e 0963011, parentais dos híbridos avaliados, apresentaram florescimento superior a 137 dias, confirmando a sensibilidade ao fotoperíodo.

**Tabela 2.** Resumo das análises de variâncias conjuntas para florescimento, em dias, altura de plantas (AP), em m, produção de massa verde (PMV), em t.ha<sup>-1</sup> e produção de massa seca (PMS), em t.ha<sup>-1</sup>, obtidos a partir da avaliação de híbridos e linhagens de sorgo sensível ao fotoperíodo, avaliados em Sete Lagoas-MG e Nova Porteirinha-MG, na safra de agrícola 2009/2010.

FV	GL	QM			
		Florescimento (dias)	Altura (m)	PMV (t.ha <sup>-1</sup> )	PMS (t.ha <sup>-1</sup> )
Blocos/Local	2	11,27	0,47	1157,11	121,72
Tratamentos	48	879,32 **	1,14 **	1358,70 **	219,75 **
Locais	1	30.450,25 **	4,51 **	5558,44 **	6564,82 **
Trat. x Locais	48	76,10	0,28 **	462,68 *	65,55 *
Erro	96	52,77	0,13	267,55	38,13
CV (%)		5,29	7,85	19,92	21,84
Média		137,41	4,61	82,11	28,28

\*,\*\* Significativo, pelo teste de F, a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

**Tabela 3.** Valores médios para florescimento, obtidos a partir da avaliação de híbridos e linhagens de sorgo sensíveis ao fotoperíodo, avaliados em Sete Lagoas-MG e Nova Porteirinha-MG, na safra de agrícola 2009/2010.

Cultivares	Florescimento (dias)	
0616033*CMSXS650	144	a
0616033*CMSXS651	146	a
0616033*0963007	143	a
0616099*CMSXS650	151	a
0616099*CMSXS651	150	a
0616099*CMSXS652	144	a
061699*0963007	147	a
0736001*CMSXS652	143	a
0968006*CMSXS650	136	b
0968006*CMSXS651	136	b
0968006*CMSXS652	138	b
0968006*0963004	120	c
0968006*0963006	122	c
0968006*0963007	133	b

Continua...

**Tabela 3.** Continuação

Cultivares	Florescimento (dias)	
0968004 *CMSXS650	147	a
0968005 *CMSXS650	144	a
0968006 *CMSXS650	136	b
0968007 *CMSXS650	143	a
0968008 *CMSXS650	129	b
0968009 *CMSXS650	131	b
0968010 *CMSXS650	144	a
0968012 *CMSXS650	137	b
0968013 *CMSXS650	133	b
0968014 *CMSXS650	132	b
0968017 *CMSXS650	133	b
0968018 *CMSXS650	141	a
0968022 *CMSXS650	149	a
0968023 *CMSXS650	138	b
0968004 *CMSXS652	162	a
0968005 *CMSXS652	146	a
0968006 *CMSXS652	139	b
0968007 *CMSXS652	132	b
0968008 *CMSXS652	138	b
0968009 *CMSXS652	137	b
0968012 *CMSXS652	134	b
0968013 *CMSXS652	131	b
0968017 *CMSXS652	143	a
0968023 *CMSXS652	141	a
0968005 *CMSXS651	148	a
0968006 *CMSXS651	134	b
CMSXS652	146	a
CMSXS651	148	a
CMSXS650	148	a
0963007	147	a
0963006	138	b
0963004	149	a
0963011	138	b
0965079	87	d
0965095	68	e

\* Médias seguidas da mesma letra na coluna, são iguais entre si pelo teste de Scott e Knott (1974) a 5%.

**Tabela 4.** Médias para altura de plantas (AP), produção de massa verde (PMV) e seca (PMS), obtidos na avaliação de híbridos e linhagens de sorgo sensível ao fotoperíodo, em Sete Lagoas-MG e Nova Porteirinha-MG, na safra de agrícola 2009/2010.

Cultivares	Altura (m)				PMV (t.ha <sup>-1</sup> )				PMS (t.ha <sup>-1</sup> )			
	Sete		Nova		Sete		Nova		Sete		Nova	
	Lagoas	Porteirinha	Lagoas	Porteirinha	Lagoas	Porteirinha	Lagoas	Porteirinha	Lagoas	Porteirinha	Lagoas	Porteirinha
0616033*CMSXS650	4.45	b	4.75	a	51.43	b	95.00	a	12.65	b	33.19	b
0616033*CMSXS651	5.65	a	4.70	a	88.85	a	90.14	a	24.65	a	36.64	b
0616033*0963007	5.50	a	4.25	a	81.14	a	73.00	b	28.99	a	27.23	c
0616099*CMSXS650	5.25	a	4.30	a	95.48	a	93.28	a	37.88	a	30.67	c
0616099*CMSXS651	5.30	a	4.90	a	109.14	a	119.85	a	25.81	a	57.87	a
0616099*CMSXS652	5.25	a	4.00	a	98.51	a	113.42	a	30.80	a	49.65	a
061699*0963007	5.70	a	4.85	a	99.63	a	98.71	a	34.10	a	43.98	a
0736001*CMSXS652	4.65	b	5.10	a	89.43	a	85.43	b	24.55	a	38.26	b
0968006*CMSXS650	4.65	b	3.95	a	62.67	b	80.00	b	13.96	b	25.01	c
0968006*CMSXS651	4.55	b	4.60	a	86.86	a	73.14	b	20.49	b	34.54	b
0968006*CMSXS652	4.90	b	4.25	a	81.54	a	69.29	b	20.44	b	30.45	c
0968006*0963004	4.70	b	4.85	a	76.57	a	65.71	b	24.52	a	27.73	c
0968006*0963006	5.00	b	4.40	a	62.57	b	78.00	b	16.56	b	27.48	c
0968006*0963007	5.60	a	4.50	a	66.00	b	81.14	b	21.88	b	38.11	b
0968004*CMSXS650	4.35	b	4.20	a	38.23	b	77.14	b	12.99	b	24.17	c
0968005*CMSXS650	4.70	b	4.55	a	117.71	a	75.00	b	26.46	a	25.83	c
0968006*CMSXS650	4.55	b	4.15	a	88.19	a	92.85	a	26.65	a	31.33	c
0968007*CMSXS650	4.65	b	4.65	a	83.54	a	119.28	a	29.01	a	35.04	b
0968008*CMSXS650	4.40	b	4.75	a	58.00	b	107.42	a	21.38	b	35.44	b
0968009*CMSXS650	4.10	b	4.65	a	54.86	b	120.00	a	18.78	b	39.62	b
0968010*CMSXS650	4.50	b	4.50	a	62.57	b	86.00	b	14.49	b	29.71	c
0968012*CMSXS650	4.90	b	4.55	a	71.14	b	115.57	a	19.70	b	33.39	b
0968013*CMSXS650	4.30	b	4.35	a	72.28	b	135.28	a	22.80	b	42.98	a
0968014*CMSXS650	4.40	b	4.35	a	91.19	a	101.43	a	24.93	a	31.78	c
0968017*CMSXS650	5.15	a	5.40	a	70.85	b	78.29	b	23.77	a	27.50	c
0968018*CMSXS650	4.80	b	4.70	a	89.71	a	117.57	a	22.16	b	36.86	b
0968022*CMSXS650	4.85	b	4.50	a	69.71	b	104.86	a	16.81	b	36.41	b
0968023*CMSXS650	5.05	a	4.50	a	77.71	a	93.28	a	27.65	a	33.00	b
0968004*CMSXS652	4.80	b	4.50	a	86.86	a	95.86	a	25.42	a	43.22	a
0968005*CMSXS652	5.40	a	4.45	a	122.29	a	121.57	a	40.57	a	53.13	a
0968006*CMSXS652	4.90	b	4.30	a	74.00	b	90.14	a	21.38	b	43.82	a
0968007*CMSXS652	5.15	a	5.15	a	117.43	a	87.71	a	33.77	a	37.50	b

Continua...

**Tabela 4.** Continuação

Cultivares	Altura (m)		PMV (t.ha <sup>-1</sup> )		PMS (t.ha <sup>-1</sup> )	
	Sete	Nova	Sete	Nova	Sete	Nova
	Lagoas	Porteirinha	Lagoas	Porteirinha	Lagoas	Porteirinha
0968008*CMSXS652	5.00 b	4.30 a	61.72 b	82.86 b	19.58 b	37.66 b
0968009*CMSXS652	5.00 b	4.40 a	77.43 a	82.29 b	21.63 b	33.41 b
0968012*CMSXS652	4.85 b	4.35 a	66.29 b	71.28 b	23.18 a	32.67 b
0968013*CMSXS652	4.58 b	4.55 a	107.71 a	93.00 a	37.34 a	39.93 b
0968017*CMSXS652	4.80 b	5.60 a	83.71 a	101.85 a	19.26 b	48.60 a
0968023*CMSXS652	4.55 b	4.40 a	96.21 a	83.14 b	23.74 a	38.24 b
0968005*CMSXS651	5.25 a	4.80 a	84.85 a	92.28 a	21.36 b	39.36 b
0968006*CMSXS651	5.60 a	4.65 a	78.00 a	81.57 b	26.61 a	38.84 b
CMSXS652	4.65 b	4.50 a	74.00 b	90.14 a	27.62 a	40.11 b
CMSXS651	4.95 b	4.70 a	62.29 b	84.86 b	14.55 b	39.41 b
CMSXS650	4.20 b	3.35 b	53.60 b	57.28 c	12.84 b	17.29 d
0963007	5.45 a	4.50 a	74.86 b	61.00 c	22.19 b	23.22 c
0963006	2.83 c	4.05 a	17.72 b	18.86 c	5.29 b	8.57 d
0963004	4.85 b	4.40 a	56.29 b	44.43 c	12.92 b	19.41 d
0963011	5.60 a	4.90 a	81.14 a	89.43 a	19.61 b	37.37 b
0965079	2.50 c	2.80 b	43.86 b	57.71 c	14.72 b	17.79 d
0965095	2.72 c	2.75 b	47.07 b	57.43 c	13.84 b	15.99 d

\* Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott e Knott (1974) a 5%.

Para confecção dos híbridos avaliados neste trabalho foram utilizadas linhagens macho-estéreis "A1" (fêmeas), insensíveis ao fotoperíodo, cruzadas com linhagens restauradoras "R1" (machos), sensíveis ao fotoperíodo. Como todos os híbridos avaliados apresentaram florescimento superior a 120 dias, pode-se concluir que o caráter sensibilidade ao fotoperíodo é dominante sobre a insensibilidade ao fotoperíodo.

Na Tabela 4 são apresentadas as médias por local, para as características que apresentaram significância para a interação tratamentos x locais na análise conjunta: altura de plantas, PMV e PMS em cada local.

No sorgo, a altura de plantas é controlada por 4 genes com 2 alelos cada e de efeitos aditivos: *Dw1dw1*; *Dw2dw2*; *Dw3dw3*; e *Dw4dw4* (QUINBY, 1974). A combinação destes alelos determinam o porte da planta. Assim, genótipos de sorgo granífero, que são de porte baixo, apresentam-se com todos os alelos recessivos (4 anão) ou apenas um loco com alelo dominante (3 anão), apresentando altura de 0,90m a 1,2m. Já os genótipos de sorgo de duplo propósito (grão e silagem) apresentam a constituição 2 anão (*Dw1*\_\_; *Dw2*\_\_; *dw3 dw3*; *dw4 dw4*), sendo de porte médio. Os genótipos de sorgo forrageiros, que são de porte alto, apresentam-se como 1 anão (*Dw1*\_\_; *Dw2*\_\_; *Dw3*\_\_; *dw4 dw4*), ou 0 anão (*Dw1*\_\_; *Dw2*\_\_; *Dw3*\_\_; *Dw4*\_\_). Os genótipos CMSXS650, CMSXS651, CMSXS652, 0963004, 0963006, 0963007 e 0963011, parentais dos híbridos avaliados, apresentam a constituição 0 ou 1 anão, confirmada pelo elevado porte observado destes materiais em ambos locais, com altura de plantas superior a 2,83m para as linhagens parentais dos híbridos e superior a 4,30m para os híbridos (tabela 4).

Além dos efeitos aditivos dos genes para altura de plantas em sorgo, pode-se inferir que existe heterose para esta característica, pois as médias de cada um dos híbridos avaliados foram superiores às médias de seus parentais, como pode ser observado na (tabela 4). Heterose em sorgo forrageiro para altura de plantas, produção de massa verde e massa seca já foi constatada por Scapim et al. (1998). Ressalta-se que o porte observado nos híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo é aproximadamente o dobro das cultivares comerciais de sorgo forrageiro existentes no mercado (RODRIGUES et al., 2008; PAULO; FREITAS, 2008; BARBOSA; SILVA, 2002).

As médias para PMV foram de 76,79 t.ha<sup>-1</sup> e 87,44 t.ha<sup>-1</sup> em Sete Lagoas e Nova Porteirinha, respectivamente, demonstrando também o grande potencial forrageiro dos híbridos sensíveis ao fotoperíodo. Esses valores de produtividade média de massa verde são superiores às produtividades dos cultivares de sorgo forrageiros comerciais existentes no mercado, que estão em torno de 40 a 50 t.ha<sup>-1</sup> (RODRIGUES et al.,

2008; PAULO; FREITAS, 2008; BARBOSA; SILVA, 2002; NEUMANN et al., 2002). Quanto à produção de matéria verde, vale a pena destacar os híbridos 0616099xCMSXS652 e 0968005xCMSXS652, que apresentaram produtividades acima de 109 t.ha<sup>-1</sup>, tanto em Sete Lagoas com em Nova Porteirinha.

A PMS seguiu a mesma tendência da PMV com médias de 22,46 t.ha<sup>-1</sup> e 34,07 t.ha<sup>-1</sup> em Sete Lagoas e Nova Porteirinha, respectivamente, ratificando mais uma vez o grande potencial forrageiro dos híbridos sensíveis ao fotoperíodo. As produtividades médias observadas de massa seca são superiores às produtividades relatadas para cultivares de sorgo forrageiro comerciais existentes no mercado, que estão em torno de 15 a 20 t.ha<sup>-1</sup> (SKONIESKI et al., 2010; RODRIGUES et al., 2008; PAULO; FREITAS, 2008; BARBOSA; SILVA, 2002; NEUMANN et al., 2002). Pode-se verificar, na Tabela 4, que os híbridos 0616099xCMSXS652 e 0968005xCMSXS652 apresentaram produtividade de massa seca próximas a 50 t.ha<sup>-1</sup> em Nova Porteirinha, e superiores a 40 t.ha<sup>-1</sup> em Sete Lagoas. Estas produtividade de massa seca são, em geral, maiores que o dobro daquelas observadas nas cultivares comerciais existentes no mercado.

Diante dos altos níveis de produtividade de biomassa, o sorgo forrageiro sensível ao fotoperíodo apresenta-se como alternativa promissora no fornecimento de matéria prima para produção de biocombustível de segunda geração. Contudo, é importante caracterizar a qualidade da biomassa, principalmente quanto à composição centesimal, e as porcentagens de celulose, hemicelulose e lignina. Praticamente toda a biomassa vegetal é constituída de lignocelulose, que é composta de um conjunto de três polímeros: celulose, hemicelulose e lignina. Um dos desafios na produção de etanol a partir desse tipo de material é a despolimerização da lignina da parede celular com o intuito de facilitar o processo de hidrólise química ou enzimática. Conforme verificado na literatura, a biomassa de sorgo apresenta valores de lignina que variam de 1 a 10% (SKONIESKI et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2009; ZHAO et al., 2009), que, em geral, valores são inferiores a outras fontes

de matéria-prima. Os baixos teores de lignina e os altos índices de produtividade observados neste trabalho indicam que o sorgo forrageiro sensível ao fotoperíodo pode se tornar uma cultura promissora para produção de etanol celulósico. Além disso, é importante salientar que o programa de melhoramento genético da Embrapa Milho e Sorgo está desenvolvendo híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo com o gene *bmr* (*browmidrib*), que poderá reduzir em até 50% o teor de lignina na planta, visando à melhoria da qualidade da biomassa.

A Figura 2 ilustra o aspecto vegetativo dos híbridos avaliados neste trabalho, com apresentação de fotografias tiradas aos 110 dias após o plantio.



**Figura 2.** Ensaio de competição de híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo avaliados em Sete Lagoas-MG (A) e Nova Porteirinha-MG (B) na safra agrícola 2009/2010. Fotografias obtidas aos 110 dias após o plantio.

## Conclusões

Híbridos de sorgo de porte alto sensíveis ao fotoperíodo apresentam-se como alternativa promissora no fornecimento de matéria-prima para a produção de biocombustível de segunda geração.

**Agradecimentos:** À Comissão Europeia/Projeto Sweetfuel e FAPEMIG pelo apoio financeiro.

## Referências

BARBOSA, A. P. R.; SILVA, P. S. L. Avaliação dos rendimentos de grãos e forragem de cultivares de sorgo forrageiro. **Caatinga**, Mossoró, v. 15, n. 1/2, p. 7-12, dez. 2002.

FERREIRA, D. F. **SISVAR para Windows 4.3**. Lavras: UFLA, 2003. Software.

NEUMANN, M.; RESTLE, J.; ALVES FILHO, D. C.; BRONDANI, I. L.; PELLEGRINI, L. G. de; FREITAS, A. K. de. Avaliação do valor nutritivo da planta e da silagem de diferentes híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 31, n. 1, p. 293-301, 2002. Suplemento.

OLIVEIRA, R.; FRANÇA, A.; SILVA, A. da; MIYAGI, E.; OLIVEIRA, E. de; PERÓN, H.. Composição bromatológica de quatro híbridos de sorgo forrageiro sob doses de nitrogênio. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 10, n. 4, 2009. Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/vet/article/view/541/5979>>. Acesso em: 16 nov. 2010.

PAULO, J. L. A.; FREITAS, M. O. Desempenho produtivo do sorgo forrageiro (*sorghum bicolor* (L.) moench) variedade BRS Ponta Negra no litoral do RN. In: ZOOTEC 2008, João Pessoa. **Anais..** João Pessoa: Associação Brasileira de Zootecnistas, 2008. 3 p.

QUINBY, J. R. **Sorghum improvement and the genetics of growth**. Texas: College Station, 1974. 108 p.

QUINBY, J. R.; SCHERTZ, K. F. Sorghum genetics, breeding, and hybrid seed production. In: WALL, J. S.; ROSS, W. M. (Ed.). **Sorghum production and utilization**. Westport: AVI Publishing Company, 1970. p. 73-117.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C.

**Experimentação em genética e melhoramento de plantas.** Lavras: UFLA, 2000. 303 p.

RODRIGUES, J. A. S.; SANTOS, F. G.; SHAFFERT, R. E.; FERREIRA, A. da S.; CASELA, C. R.; TARDIN, F. D. **BRS 655:** híbrido de sorgo forrageiro para produção de silagem de alta qualidade. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 107).

ROONEY, W. L.; AYDIN, S. Genetic control of a photoperiod-sensitive response in *Sorghum bicolor* (L.) Moench. **Crop Science**, Madison, v. 39, p. 397-400, 1999.

SCAPIM, C. A.; RODRIGUES, J. A. S.; CRUZ, C. D.; CECON, C. R.; RIBEIRO JÚNIOR, J. I.; BRACCINI, A. L. EFEITOS GÊNICOS, HETEROSE E DEPRESSÃO ENDOGÂMICA EM CARACTERES DE SORGO FORRAGEIRO. **Bragantia**, Campinas, v. 57, n. 1, 1998 .

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Raleigh, v. 30, n. 3, p. 507-512, Sept. 1974.

SKONIESKI, F.; NORBERG, J.; AZEVEDO, E.; DAVID, D.; KESSLER, J.; MENEGAZ, A. Produção, caracterização nutricional e fermentativa de silagens de sorgo forrageiro e sorgo duplo propósito. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, Maringá, v. 32, n. 1, 2010. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAnimSci/article/view/7200>>. Acesso em: 15 dez. 2010.

ZHAO, Y. L.; DOLAT, A.; STEINBERG, Y.; WANG, X.; OSMAN, A.; XIE, G. H. Biomass yield and changes in chemical composition of sweet sorghum cultivars grown for biofuel. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 111, p. 55-64, 2009.

**Embrapa**

---

*Milho e Sorgo*

**Ministério da  
Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento**

