

## Desenvolvimento de Linhagens de Sorgo Biomassa com Nervura Marrom e Tolerantes ao Alumínio



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

**BOLETIM DE PESQUISA  
E DESENVOLVIMENTO  
177**

**Desenvolvimento de Linhagens  
de Sorgo Biomassa com Nervura  
Marrom e Tolerantes ao Alumínio**

Rafael Augusto da Costa Parrella  
Robert Eugene Schaffert  
Jurandir Vieira Magalhães  
Cícero Beserra de Menezes  
Michele Jorge da Silva  
Virgínia Alves Lacerda

*Embrapa Milho e Sorgo  
Sete Lagoas, MG  
2018*

**Esta publicação está disponível no endereço:**  
<https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo/publicacoes>

**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  
[www.embrapa.br/fale-conosco/sa](http://www.embrapa.br/fale-conosco/sa)

Comitê Local de Publicações  
da Unidade Responsável

Presidente  
*Sidney Netto Parentoni*

Secretário-Executivo  
*Elena Charlotte Landau*

Membros  
*Antonio Claudio da Silva Barros, Cynthia Maria Borges Damasceno, Maria Lúcia Ferreira Simeone, Roberto dos Santos Trindade e Rosângela Lacerda de Castro*

Revisão de texto  
*Antonio Claudio da Silva Barros*

Normalização bibliográfica  
*Rosângela Lacerda de Castro (CRB 6/2749)*

Tratamento das ilustrações  
*Tânia Mara Assunção Barbosa*

Projeto gráfico da coleção  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica  
*Tânia Mara Assunção Barbosa*

Foto da capa  
*Rafael Augusto da Costa Parrella*

**1ª edição**  
*Formato digital (2018)*

**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)**

Nome da unidade catalogadora

---

Desenvolvimento de linhagens de sorgo biomassa com nervura marrom e tolerantes ao alumínio / Rafael Augusto da Costa Parrella ... [et al.]. – Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2018.

17 p. – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1679-0154; 177).

1. *Sorghum bicolor*. 2. Biocombustível. 3. Melhoramento vegetal. I. Parrella, Rafael Augusto da Costa. II. Shaffert, Robert Eugene. III. Magalhães, Jurandir Vieira. IV. Menezes, Cicero Beserra de. V. Silva, Michele Jorge da. VI. Lacerda, Virgínia Alves. VII. Série.

CDD 633.174 (21. ed.)

## Sumário

---

Resumo .....	4
Abstract .....	6
Introdução.....	7
Material e Métodos .....	9
Resultados e Discussão .....	10
Agradecimentos.....	14
Conclusões.....	14
Referências .....	14

## Desenvolvimento de Linhagens de Sorgo Biomassa com Nervura Marrom e Tolerantes ao Alumínio

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

Robert Eugene Schaffert<sup>2</sup>

Jurandir Vieira Magalhães<sup>3</sup>

Cicero Beserra de Menezes<sup>4</sup>

Michele Jorge da Silva<sup>5</sup>

Virgínia Alves Lacerda<sup>6</sup>

**Resumo** – O interesse por culturas dedicadas à produção de biocombustíveis está em expansão, com importância crescente para a biomassa lignocelulósica como uma das alternativas mais promissoras, e ambientalmente sustentáveis, para a substituição dos combustíveis fósseis. O sorgo biomassa, que tem grande potencial produtivo, está sendo desenvolvido para geração de etanol de celulósico. Genótipos de sorgo com a mutação *bmr*, que confere nervura marrom, apresentam menor teor de lignina na biomassa, o que favorece a produção de etanol celulósico. Dentre os vários fatores que limitam a produção agrícola em solos ácidos, a toxidez causada pelo alumínio (Al) é uma das mais importantes. Em sorgo, o loco *Alt<sub>SB</sub>*, localizado no cromossomo 3, tem um importante papel na tolerância ao Al. O programa de melhoramento da Embrapa visa desenvolver linhagens de sorgo que associem nervura marrom à tolerância ao Al. O objetivo deste trabalho foi identificar e selecionar linhagens restauradoras (R) de fertilidade de sorgo biomassa apresentando, conjuntamente, nervura marrom e tolerância ao Al. Para isto, foi realizado o cruzamento entre as linhagens IS14351, portadoras de um alelo de tolerância do gene *SbMATE*, com a linhagem CMS S023R, que tem nervura marrom em

<sup>1</sup> Eng.-Agrôn., Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, Pesquisador Embrapa Milho e Sorgo.

<sup>2</sup> Eng.-Agrôn., Doutor em Genética, Pesquisador Embrapa Milho e Sorgo.

<sup>3</sup> Eng.-Agrôn., Doutor em Genética, Pesquisador Embrapa Milho e Sorgo.

<sup>4</sup> Eng.-Agrôn., Doutor em Fitotecnia, Pesquisador Embrapa Milho e Sorgo.

<sup>5</sup> Eng.-Agrôn., Doutoranda em Genética e Melhoramento de Plantas pela Universidade Federal de Viçosa.

<sup>6</sup> Eng.-Agrôn., Graduanda em agronomia pela Universidade Federal de São João Del Rei.

razão da presença do alelo *bmr6*. A partir da geração F2 deste cruzamento, foram selecionadas plantas com nervura marrom, que foram autofecundadas por 10 gerações. Foram obtidas quatro linhagens R de sorgo biomassa com nervura marrom (201820B001, 201820B002, 201820B003 e 201820B007), que foram avaliadas, juntamente com as linhagens padrões SC566 (resistente ao Al) e BR007B (sensível ao Al), em solução nutritiva contendo {27}  $\mu\text{M}$   $\text{Al}^{3+}$ . Foram identificadas duas linhagens de sorgo biomassa, 201820B001 e 201820B003, que possuem tanto o alelo *bmr6* quanto o alelo de tolerância do gene *SbMATE*. Essas linhagens serão utilizadas para produção de híbridos do tipo biomassa com alta conversão e tolerantes ao alumínio para cultivo em regiões de solos ácidos, como o Cerrado brasileiro.

**Termos para indexação:** Sorghum, biocombustível, lignina, *bmr6* e *SbMATE*

## Development of Biomass Sorghum Lines with Brown Midrib and Aluminum Tolerance

**Abstract** – Interest in biofuel crops is under expansion, emphasizing lignocellulosic biomass as one of the most promising and environmentally sustainable alternatives to replacing fossil fuels. High biomass sorghums are being developed for the generation of cellulosic ethanol. Sorghum genotypes carrying the brown rib (*bmr6*) mutation show lower lignin content in their biomass, which favors the production of cellulosic ethanol. Among the several factors that limit agricultural production on acid soils, aluminum toxicity (Al) is one of the most important for achieving sustainable yields under  $Al^{3+}$  toxicity. In sorghum, the  $Alt_{SB}$  locus on chromosome 3 plays an important role in conferring Al tolerance. The breeding program of Embrapa aims at developing sorghum cultivars that jointly associate the brown mid rib phenotype and Al tolerance. Thus, the objective of this work was to identify and select fertility restorer (R) lines with brown mid-rib and Al tolerance, for the development of biomass of sorghum hybrids with lower lignin content that are adapted to acidic soil regions. For this, IS14351, which carries the tolerant *SbMATE* allele, was crossed with the line CMS S023R, which harbors *bmr6*. Plants with brown rib were selected among derived F2 progeny, which were subsequently self-pollinated for 10 generations. Four restorer *bmr* lines (201820B001, 201820B002, 201820B003 and 201820B007) were then evaluated for Al tolerance, together with the Al tolerant and Al sensitive standards, SC566 and BR007B, respectively, in nutrient solution containing  $\{27\} \mu M Al^{3+}$ . Two biomass sorghum lines harboring both *bmr6* and *SbMATE*, 201820B001 and 201820B003, were identified. These lines will be used to produce biomass hybrids with both higher conversion and Al tolerance for biomass production on acidic soil regions such as the Brazilian Cerrado.

**Index terms:** Sorghum, biofuel, lignin, *bmr6*, *SbMATE*

## Introdução

---

O Brasil instituiu o RenovaBio, uma política nacional para os biocombustíveis, pela Lei nº 13.576/2017. Os objetivos desta lei visam fornecer uma importante contribuição para o cumprimento dos compromissos determinados pelo Brasil no âmbito do Acordo de Paris, promover a adequada expansão dos biocombustíveis na matriz energética nacional, com ênfase na regularidade do abastecimento de combustíveis. Assim, assegura-se a previsibilidade para o mercado de combustíveis, induzindo ganhos de eficiência energética e de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa na produção, comercialização e uso de biocombustíveis (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2018).

Desta forma, o interesse por culturas dedicadas à produção de biocombustíveis tem se expandido, apontando a biomassa lignocelulósica como uma das alternativas mais promissoras, e ambientalmente sustentáveis, para a substituição dos combustíveis fósseis (Dien et al., 2009). Entre as culturas energéticas anuais, o sorgo biomassa [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é considerado matéria-prima de grande potencial para geração de bioenergia (Rooney et al., 2007), tanto para a obtenção do etanol de segunda geração (etanol lignocelulósico) (Agostini et al., 2015; Davila-Gomez et al., 2011) quanto para a cogeração de energia por meio da combustão da massa vegetal (Bennett; Anex, 2009; Zegada-Lizarazu; Monti, 2012). O sorgo biomassa, que tem grande diversidade genética, possui crescimento rápido, alto potencial produtivo e tolerância à seca e ao calor. Além disso, é totalmente mecanizável e pode ser propagado por meio sementes (Rooney et al., 2007; Venuto; Kindiger, 2008; Murray et al., 2008).

O etanol lignocelulósico é produzido a partir da hidrólise ou quebra da biomassa em açúcares simples, os quais podem ser utilizados para produção de etanol a partir da fermentação (Damasceno et al., 2012). Uma das etapas do processo é o pré-tratamento, capaz de desorganizar o complexo lignocelulósico, reduzindo o teor de lignina para que ocorra a conversão dos polissacarídeos em açúcares fermentáveis. Alguns genótipos mutantes de sorgo biomassa, denominados brown midrib (bmr) - com menor teor de lignina - são favoráveis à etapa de pré-tratamento (Barrière et al., 2007; Dien et al., 2009; Saballos et al., 2009; Sattler et al., 2010). Estes mutantes

apresentam pigmentos amarronzados na nervura foliar central e no colmo, bem como maior digestibilidade animal (Sattler et al., 2010). Assim, é de grande interesse a introdução deste gene *bmr6* em linhagens-élites de sorgo visando produzir híbridos com maior eficiência na conversão da biomassa em etanol celulósico.

A sensibilidade ao fotoperíodo também é uma característica de interesse para o sorgo biomassa. Plantas de sorgo biomassa sensíveis ao fotoperíodo, quando semeadas nos meses de setembro ou outubro em regiões com fotoperíodo maior que 12 horas e 20 minutos, irão iniciar o desenvolvimento da gema floral apenas 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 (Rooney; Aydin, 1999; Parrella et al., 2010).

No Brasil, aproximadamente 1,8 milhão de ha de solos sob cerrado estão quase sempre associados com elevada acidez. Esses solos são caracterizados por apresentarem baixos valores de pH (pH<5,0), baixa saturação de bases, baixa disponibilidade de fósforo e níveis tóxicos de manganês, ferro e alumínio (Lopes; Cox, 1977). Entre os vários fatores que limitam a produção agrícola em solos ácidos, a toxidez causada pelo alumínio (Al) tem sido considerada uma das mais importantes. Isso porque, quando o pH do solo se encontra abaixo de 5,0, formas iônicas de alumínio encontram-se solubilizadas na solução do solo, inibindo de forma drástica o crescimento radicular e causando outras alterações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas prejudiciais às plantas (Kochian et al., 2004). Práticas de manejo do solo visando a correção da acidez, como a calagem, são eficientes somente em camadas superficiais, não sendo essa uma opção econômica e/ou uma estratégia eficaz no controle da acidez do subsolo (Borgonovi et al., 1987).

Em sorgo, o loco *Alt<sub>SB</sub>*, localizado no cromossomo 3 (Magalhães et al., 2004), tem um importante papel na tolerância ao Al. O gene responsável pela tolerância ao Al controlada pelo loco *Alt<sub>SB</sub>*, denominado *SbMATE*, codifica um transportador de citrato ativado por Al, que apresenta maior expressão nos ápices radiculares de plantas tolerantes (Magalhães et al., 2007). A tolerância ao Al codificada pelo gene *SbMATE* é conferida pela formação de complexos estáveis entre o citrato e o Al na rizosfera de genótipos tolerantes ao metal.

Com isso, um dos principais alvos do melhoramento de plantas para solos ácidos é a introgressão do gene *SbMATE* em linhagens-elites de sorgo, tornando-as tolerantes ao Al.

O programa de melhoramento de sorgo da Embrapa desenvolve híbridos com alta produção de biomassa e alta qualidade visando a produção de etanol celulósico (Silva et al., 2018). Para obtenção de cultivares híbridas é necessário desenvolver linhagens macho-estéril (A), mantenedora (B) e restauradora de fertilidade (R). A linhagem (A) é utilizada como parental feminino em combinações híbridas, a linhagem mantenedora (B) é utilizada como polinizadora da linhagem (A) para sua multiplicação, e a linhagem restauradora de fertilidade (R) é utilizada como parental masculino em combinações híbridas. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi identificar linhagens restauradoras (R) de fertilidade de sorgo biomassa com nervura marrom e tolerantes ao Al.

## Material e Métodos

---

O programa de melhoramento de sorgo da Embrapa visa desenvolver híbridos com alta produção de biomassa e com alta qualidade para produção de etanol celulósico. Neste sentido, foi iniciado o desenvolvimento de linhagens restauradoras (R) de fertilidade de sorgo biomassa com nervura marrom e tolerantes ao alumínio (Al). Para isto, foi realizado o cruzamento manual entre a linhagem IS14351 com a linhagem CMS S023R. A linhagem IS14351, originária do Malawi, país da África, é restauradora de fertilidade (R), apresentando sensibilidade ao fotoperíodo com alta produção de biomassa e portadora de tolerância ao alumínio devida ao gene *SbMATE* (Caniato et al., 2011). A linhagem CMS S023R é restauradora de fertilidade (R) e foi desenvolvida pelo programa de melhoramento da Embrapa, sendo fonte do alelo *bmr6*, que confere o fenótipo nervura marrom.

A partir da geração F2 do cruzamento entre as linhagens IS14351 x CMS S023R, foram selecionadas plantas com nervura marrom (25%), que possuem o gene *bmr6bmr6*. As progênies selecionadas foram autofecundadas por 10 gerações para obtenção de homozigose e desenvolvimento das linhagens. Foram obtidas quatro linhagens restauradoras (R) de fertilidade de sorgo biomassa com nervura marrom (201820B001, 201820B002, 201820B003 e

201820B007), que foram avaliadas juntamente com as linhagens padrões SC566 (resistente ao Al) e BR007B (susceptível ao Al), utilizadas como testemunhas no experimento.

A inibição do crescimento radicular causada pelo alumínio em solução nutritiva foi quantificada como descrito por Magalhães et al. (2004) para progênies F2, em solução nutritiva contendo  $\{27\} \mu\text{M Al}^{3+}$  de atividade livre de Al com pH ajustado para pH 4,0, em câmara de crescimento. Para isso, para cada plântula de sorgo, o crescimento líquido da raiz seminal obtido em um período de 6 dias de exposição ao Al foi dividido pelo comprimento inicial, e os valores foram expressos em porcentagem (crescimento líquido relativo, CLR). Os ápices radiculares foram inspecionados visualmente para a presença de danos causados pelo Al, que foram expressos em uma escala de 1 (sem dano aparente) a 5 (dano intenso).

O delineamento foi inteiramente casualizado com três repetições, e a parcela foi constituída por 7 plantas de cada linhagem. Foi realizada análise de variância do CRL médio de cada parcela utilizando o software estatística Sisvar V.5.6, e realizou-se o teste Scott e Knott (1974) para agrupamento das médias.

## Resultados e Discussão

---

O resumo da análise de variância para crescimento líquido relativo (CRL), em porcentagem, avaliados em linhagens de sorgo biomassa com nervura marrom apresenta-se na Tabela 1. Verificou-se diferença altamente significativa ( $P \leq 0,01$ ) entre as linhagens avaliadas para o CLR, mostrando que as linhagens apresentam variabilidade genética para este caráter (Tabela 1).

Os valores médios para CLR, em porcentagem, avaliados em genótipos de sorgo biomassa com nervura marrom estão apresentados na Tabela 2. Pode-se observar a formação de 5 grupos de acordo o teste Scott e Knott (1974). As linhagens 201820B001 e 201820B003, que apresentaram CLR de 82,33% e 69,67%, respectivamente, foram significativamente mais tolerantes do que o grupo homogêneo sensível ao Al formado por 201820B007 e BR007. Estes resultados estão de acordo ao obtido por Caniato et al. (2011), que avaliaram a linhagem parental IS14351 e obtiveram CRL superior à testemunha tolerante

SC566. As linhagens 201820B002 e 201820B007 apresentaram CLR de 23% e 12,67%, respectivamente, mostrando-se sensíveis ao Al por apresentarem CLR ligeiramente superior à linhagem BR007, utilizada como testemunha susceptível. Nas Figuras 1 e 2, é possível visualizar o ápice radicular sem dano causado pelo Al nas linhagens 201820B001, 201820B003 e na linhagem SC566, testemunha tolerante. Além disso, é possível visualizar o dano no ápice radicular causado pelo Al na linhagem BR007, testemunha susceptível.

**Tabela 1.** Análise de variância para crescimento líquido relativo (CLR), em porcentagem, avaliada em linhagens de sorgo biomassa com nervura marrom, em Sete Lagoas-MG, 2018.

FV	GL	QM
Linhagens	5	85,999 **
Erro	12	34,222
CV		13,82
Média		42,33

\*\* significativo a 1 de probabilidade respectivamente pelo teste F.

**Tabela 2.** Valores médios para crescimento líquido relativo (CLR), em porcentagem, avaliados em genótipos de sorgo biomassa com nervura marrom, em Sete Lagoas-MG, 2018.

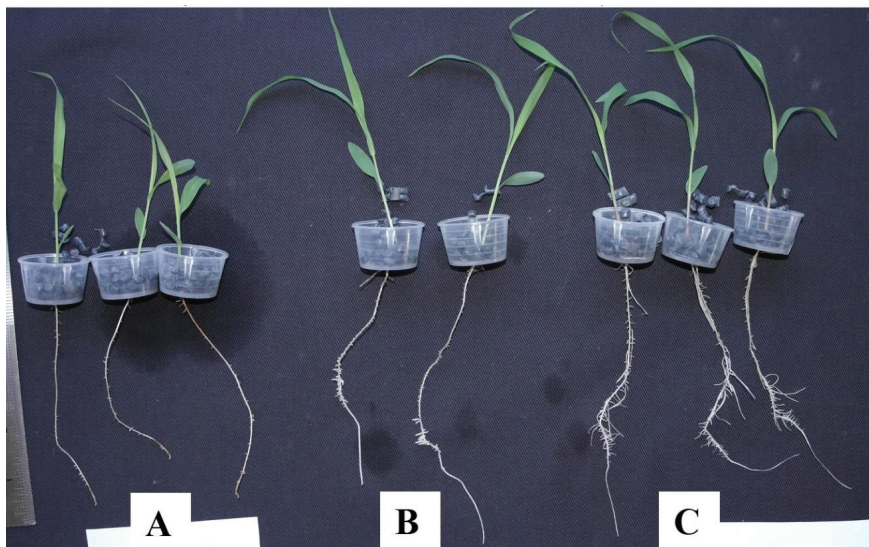
Genótipos	CLR (%)	SK*
201820B001	82,33	a
201820B003	69,67	b
SC566	57,00	c
201820B002	23,00	d
201820B007	12,67	e
BR007	9,33	e

\* As médias seguidas das mesmas letras são homogêneas estatisticamente de acordo o teste Scott e Knott (1974) (P-value  $\leq 0,01$ ).

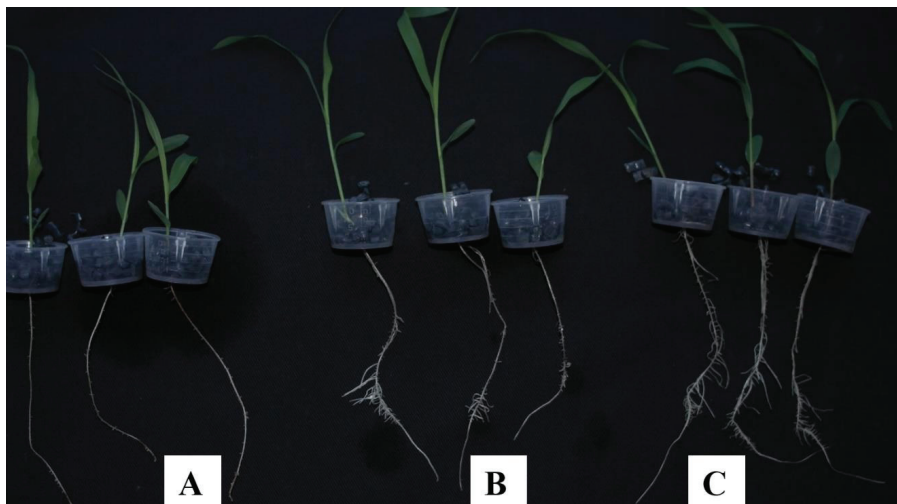
As sementes de híbridos de sorgo são produzidas pelo cruzamento entre uma linhagem macho-estéril (A), utilizada como parental feminino, com uma

linhagem restauradora de fertilidade denominada (R), utilizada como parental masculino. Sementes obtidas desse cruzamento produzirão plantas macho-férteis, ou seja, a linhagem R restaura sobre a linhagem A em razão da presença de genes restauradores de fertilidade no núcleo. A linhagem R não é fenotipicamente similar à linhagem A, e a combinação delas deverá resultar em um híbrido de alto potencial de rendimento (Santos et al., 2005).

O ciclo do sorgo biomassa fotossensível, semeado no mês de outubro (primavera no Brasil), é maior que os sorgos fotoinsensíveis, podendo chegar a 160 dias para iniciar o florescimento (Parrella et al., 2010). Castro et al. (2015) avaliaram híbridos de sorgo biomassa, e o número médio de dias para florescimento variou de 108 a 123 dias para semeadura no final de novembro. A grande estratégia destes híbridos é a de aumentar o período vegetativo, consequentemente o ciclo, que reflete em maior crescimento e produção de biomassa. Na avaliação de híbridos experimentais e comerciais de sorgo biomassa em Lavras-MG, observou-se uma variação na produção de 24 a 47 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca, confirmando o grande potencial produtivo destes tipos de híbridos (Castro et al., 2015).



**Figura 1.** Avaliação de linhagens de sorgo em solução nutritiva contendo  $\{27\} \mu\text{M Al}^{3+}$ , em Sete Lagoas-MG, 2018. A) Linhagem de sorgo suscetível (BR007), com dano visual no ápice radicular. B) Linhagem de sorgo biomassa com nervura marrom resistente (201820B001), sem dano no ápice radicular; C) Linhagem de sorgo resistente (SC566), sem dano visual no ápice radicular.



**Figura 2.** Avaliação de linhagens de sorgo em solução nutritiva contendo  $27 \mu\text{M Al}^{3+}$ , em Sete Lagoas-MG, 2018. A) Linhagem de sorgo suscetível (BR007), com dano visual no ápice radicular. B) Linhagem de sorgo biomassa com nervura marrom resistente (201820B003), sem dano no ápice radicular; C) Linhagem de sorgo resistente (SC566), sem dano visual no ápice radicular.

A produtividade de matéria seca foi avaliada, em híbridos de sorgo biomassa sensíveis ao fotoperíodo com nervura marrom, por Silva et al. (2018), que obtiveram valores superiores a 30 t/ha, confirmando o grande potencial produtivo destes híbridos. Vários trabalhos na literatura relatam que os genótipos de sorgo com nervura marrom, portadores do gene *bmr6bmr6*, apresentam uma biomassa com menor teor de lignina e são mais eficientes na sua conversão em etanol celulósico (Barrière et al., 2007; Dien et al., 2009; Saballos et al., 2009; Sattler et al., 2010). A próxima etapa será a validação do rendimento de etanol celulósico de híbridos desenvolvidos com as linhagens 201820B001 e 201820B003, que serão utilizadas como parental masculino em combinações híbridas e produzirão híbridos com nervura marrom e tolerante ao Al.

## Agradecimentos

---

Agradecemos ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social-BNDES.

## Conclusões

---

Foram identificadas duas linhagens de sorgo biomassa, 201820B001 e 201820B003, que possuem tanto o alelo *bmr6*, que confere o fenótipo nervura marrom, quanto o alelo tolerante ao alumínio do gene *SbMATE*.

## Referências

---

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Renovabio - Política Nacional para os Biocombustíveis**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/renovabio>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

AGOSTINI, A.; BATTINI, F.; GIUNTOLI, J.; TABAGLIO, V.; PADELLA, M.; BAXTER, D.; MARELLI, L.; AMADUCCI, S. Environmentally sustainable biogas? The key role of manure co-digestion with energy crops. **Energies**, v. 8, n. 6, p. 5234-5265, 2015.

BARRIÈRE, Y.; RIBOULET, C.; MÉCHIN, V.; MALTESE, S.; PICHON, M.; CARDINAL, A. J.; LAPIERRE, C.; LUBBERSTEDT, T.; MARTINANT, J. P. Genetics and genomics of lignification in grass cell walls based on maize as a model system. **Genes, Genomes and Genomics**, v. 1, p. 133-156, 2007.

BENNETT, A. S.; ANEX, R. P. Production, transportation and milling costs of sweet sorghum as a feedstock for centralized bioethanol production in the upper Midwest. **Bioresource Technology**, v. 100, p. 1595-1607, 2009.

BORGONOV, R. A.; SCHAFFERT, R. E.; PITTA, G. V. E. Breeding aluminum-tolerant sorghums. In: WORKSHOP ON EVALUATING SORGHUM FOR TOLERANCE TO AL-TOXIC TROPIC SOILS IN LATIN AMERICA, 1984, Cali. **Sorghum for acid soils: proceedings**. Cali: INTSORMIL: ICRISAT: CIAT, 1987. p. 271-292.

CANIATO, F. F.; GUIMARÃES, C. T.; HAMBLIN, M.; BILLOT, C.; RAMI, J.-F.; HUFNAGEL, B.; KOCHIAN, L. V.; LIU, J.; GARCIA, A. A. F.; HASH, C. T.; RAMU, P.; MITCHELL, S.; KRESIVICH, S.; OLIVEIRA, A. C. de; AVELLAR, G. de; BORÉM, A.; GLASZMANN, J.-C.; SCHAFFERT, R. E.; MAGALHÃES, J. V. The relationship between population structure and aluminum tolerance in cultivated sorghum. **PLoS ONE**, v. 6, n. 6, p. e20830, Jun. 2011.

CANIATO, F. F. **Estrutura de população e mapeamento associativo para tolerância ao alumínio em regiões candidatas do loco  $Alt_{SB}$  de sorgo**. 2009. 115 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

CASTRO, F. M. R.; BRUZI, A. T.; NUNES, J. A. R.; PARRELLA, R. A. C.; LOMBARDI, G. M. R.; ALBUQUERQUE, C. J. A.; LOPES, M. Agronomic and energetic potential of biomass sorghum genotypes. **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, p. 1862-1873, July 2015.

DAMASCENO, C. M. B.; PARRELLA, R. A. da C.; RODRIGUES, J. A. S.; SCHAFFERT, R. E. **Validação de marcadores moleculares para introgressão da característica nervura marrom (bmr6) em linhagens de sorgo biomassa utilizando retrocruzamento assistido**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 7 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 184).

DAVILA-GOMEZ, F. J.; CHUCK-HERNANDEZ, C.; PEREZ-CARRILLO, E.; ROONEY, W. L.; SERNA-SALDIVAR, S. O. Evaluation of bioethanol production from five different varieties of sweet and forage sorghums (*Sorghum bicolor* (L) Moench). **Industrial Crops and Products**, v. 33, n. 3, p. 611-616, 2011.

DIEN, B. S.; SARATH, G.; PEDERSEN, J. F.; SATTLER, S. E.; CHEN, H.; FUNNELL-HARRIS, D. L.; NICHOLS, N. N.; COTTA, M. A. Improved sugar conversion and ethanol yield for for-age sorghum (*Sorghum bicolor* (L) Moench) lines with reduced lignin contents. **BioEnergy Research**, v. 2, n. 3, p. 153-164, 2009.

KOCHIAN, L. V.; HOEKENGA, O. A.; PIÑEROS, M. A. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency.

**Annual Review of Plant Biology**, v. 55, p. 459-493, 2004.

LOPES, A. S.; COX, F. R. A survey of fertility status of surface soils under "Cerrado" vegetation in Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 41, p. 742-747, 1977.

MAGALHÃES, J. V.; GARVIN, D. F.; WANG, Y. H.; SORRELLS, M. E.; KLEIN, P. E.; SCHAFFERT, R. E.; LI, L.; KOCHIAN, L. V. Comparative mapping of a major aluminum tolerance gene in sorghum and other species in the poaceae. **Genetics**, v. 167, n. 4, p. 1905-1914, 2004.

MAGALHÃES, J. V. de; LIU, J.; GUIMARÃES, C. T.; LANA, U. G. de P.; ALVES, V. M. C.; WANG, Y-H.; SCHAFFERT, R. E.; HOEKENGA, O. A.; PINEROS, M. A.; SHAFF, J. E.; KLEIN, P. E.; CARNEIRO, N. P.; COELHO, C. M.; TRICK, H. N.; KOCHIAN, L. V. A gene in the multidrug and toxic compound extrusion (MATE) family confers aluminum tolerance in sorghum. **Nature Genetics**, v. 39, n. 9, p. 1156-1161, 2007.

MURRAY, S. C.; SHARMA, A.; ROONEY, W. L.; KLEIN, P. E.; MULLET, J. E.; MITCHELL, S. E.; KRESOVICH, S. Genetic improvement of sorghum as a biofuel feedstock: II. QTL for stem and leaf structural carbohydrates. **Crop Science**, v. 48, n. 6, p. 2180-2193, 2008.

PARRELLA, R. A. da C.; RODRIGUES, J. A. S.; TARDIN, F. D.; DAMASCENO, C. M. B.; SCHAFFERT, R. E. **Desenvolvimento de híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo visando alta produtividade de biomassa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 25 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 28).

ROONEY, W. L.; AYDIN, S. The genetic control of a photoperiod sensitive response in *Sorghum bicolor* (L.) Moench. **Crop Science**, v. 39, n. 2, p. 397-400, 1999.

ROONEY, W. L.; BLUMENTHAL, J.; BEAN, B.; MULLET, J. E. Designing sorghum as a dedicated bioenergy feedstock. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 1, p. 147-157, 2007.

SABALLOS, A.; EJETA, G.; SANCHEZ, E.; KANG, C.; VERMERRIS, W. A genomewide analysis of the cinnamyl alcohol dehydrogenase family in *Sorghum* [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] identifies SbCAD2 as the Brown midrib 6 gene. **Genetics**, v. 181, n. 2, p. 783-795, 2009.

SANTOS, F. G. dos; CASELA, C. R.; WAQUIL, J. M. Melhoria de sorgo. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 2005. p. 605-658.

SATTLER, S. E.; FUNNELL-HARRIS, D. L.; PEDERSEN, J. F. Brown midrib mutations and their importance to the utilization of maize, sorghum, and pearl millet lignocellulosic tissues. **Plant Science**, v. 178, n. 3, p. 229-238, 2010.

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

SILVA, M. J. da; CARNEIRO, P. C. S.; CARNEIRO, J. E. de S.; DAMASCENO, C. M. B.; PARRELLA, N. N. L. D.; PASTINA, M. M.; SIMEONE, M. L. F.; SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, R. A. da C. Evaluation of the potential of lines and hybrids of biomass sorghum. **Industrial Crops and Products**, v. 125, p. 379-385, 2018.

VENUTO, B.; KINDIGER, B. Forage and biomass feedstock production from hybrid forage sorghum and sorghum-sudangrass hybrids. **Grassland Science**, v. 54, n. 4, p. 189-196, 2008.

ZEGADA-LIZARAZU, W.; MONTI, A. Are we ready to cultivate sweet sorghum as a bioenergy feedstock? A review on field management practices. **Biomass and Energy**, v. 40, p. 1-12, 2012.

**Embrapa**

---

**Milho e Sorgo**



Ministério da  
Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento

