

Avaliação de Produtividade de Híbridos Isogênicos de Sorgo em Níveis de Saturação de Alumínio

Lidianne A. Silva¹, Michel C. da Rocha², Fabricio Rodrigues³, João C. Souza⁴, Flávio D. Tardin⁵, Antônio M. Coelho⁵, Jurandir V. Magalhães⁵, José A. S. Rodrigues⁵ e Robert E. Schaffert⁵

¹Mestranda, UFLA, CP. 3037, CEP 37200-000, Lavras-MG. lidisagro@yahoo.com.br,

²Mestrando UFV, michelcastelani@yahoo.com.br, ³Doutorando UFLA, fabriciorods@yahoo.com.br,

⁴Departamento de Biologia UFLA cansouza@ufla.br, ⁵Pesquisadores, Embrapa Milho e Sorgo schaffer@cnpmc.embrapa.br

Palavras-chave: *Sorghum bicolor*, gene *Alt_{SB}*, híbridos isogênicos.

O sorgo (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) é o quinto cereal mais produzido no mundo, depois do milho, do trigo, do arroz e da cevada. No Brasil, o sorgo é cultivado principalmente para a produção de grãos e forragem, mas pode ser utilizado também para produção de álcool e açúcar e produção de vassoura (Sawazaki, 1998). Esta cultura apresentou expressiva expansão nos últimos anos, sendo esperado para este ano uma produção de sorgo em torno de 1,7 milhões toneladas. A produtividade também subiu de 2.125 kg ha⁻¹ para 2.315 kg ha⁻¹, segundo dados da Conab (2008), acompanhada da área plantada de 748 mil hectares contra 704 mil na safra passada. O Centro-Oeste brasileiro continua liderando a produção, com destaque para os estados de Goiás e Mato Grosso.

O sorgo apresenta uma vantagem adaptativa distinta quando comparado a outros cereais, pois a sua resistência à seca e a outros fatores de estresse abióticos viabiliza a sua produção em ambientes problemáticos para outras culturas (Ryan et al. 1993). O Brasil possui cerca de 200 milhões de hectares sob cerrado que se caracterizam por apresentar elevada acidez, alta saturação de alumínio, baixa disponibilidade de N, P, K, Ca, Mg, Zn, Bo e Cu e, em sua maioria, reduzida capacidade de retenção da água (Silva & Malavolta, 2000).

A toxicidade ao alumínio é um dos principais fatores limitantes a expansão da produção em solos ácidos, os quais representam uma grande área com capacidade produtiva de regiões tropicais e subtropicais. O alumínio trocável, além de ser um elemento nocivo ao crescimento do sistema radicular, interfere na absorção de fósforo, cálcio e magnésio, contribuindo, também, para a adsorção do fósforo no solo. A demanda por germoplasma de sorgo com tolerância aos estresses abióticos tem aumentado significativamente em decorrência da expansão da cultura e da busca por cultivares eficientes, com base genética ampla e adaptada às condições de cultivo em diversas regiões do país (Echart & Cavalli-Molina, 2001).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do gene para tolerância ao alumínio tóxico (*Alt_{SB}*) (Magalhães et al., 2007) na produtividade de 16 híbridos isogênicos contrastantes para tolerância ao Al⁺³ cultivados no campo em três níveis de saturação de Al (0, 20 e 40%) na camada 0-20 cm num latossolo vermelho escuro.

Os ensaios foram realizados no sítio de fenotipagem para tolerância ao Al³⁺ da Embrapa Milho e Sorgo, nas safras de 2006 e 2007. Avaliaram-se os caracteres florescimento (DAE), altura de planta (AP) e produção de grãos em kg ha⁻¹. O delineamento utilizado em ambos os experimentos foi DBC, com três repetições, num arranjo fatorial 16x3x3 (16híbridos x

três níveis de saturação de alumínio x três repetições). Os pares de híbridos isogênicos foram provenientes de dois pares de linhagens fêmeas isogênicas para *Alt_{SB}* sendo um par formado por as linhagens que possuem alelos contrastantes para tolerância ao Al, ATF8A (tt) e ATF10A (TT), e outro par formado por linhagens com alelos contrastantes para tolerância ATF13A (tt) e ATF14A (TT). Estas foram cruzadas com 4 linhagens restauradoras, 3 homozigotas para *Alt_{SB}* (tt) e sensível ao Al e uma homozigota para *Alt_{SB}* (TT) e tolerante ao Al para gerar 8 pares de híbridos isogênicos.

Para as análises estatísticas dos resultados utilizou-se o aplicativo GENES (Cruz, 2001). Houve interação significativa entre híbridos isogênicos e níveis de saturação de alumínio Al (0, 20 e 40%). O teste de agrupamento Scott-Knott ($P < 0,05$) baseados nas médias de produtividade de híbridos isogênicos dentro de cada nível de saturação de Al foi realizada (Tabela 1).

A Figura 1 (A) mostra as médias de produtividade dos híbridos isogênicos provenientes de dois pares de fêmeas com BR012R nos três níveis de saturação de Al. Houve interação significativa somente no nível 40% de saturação de Al, onde se formou dois grupos, sendo um grupo formado pelos híbridos isogênicos ATF8A e ATF13A x BR012R (tt), que não possuem alelos para tolerância ao Al, estes híbridos obtiveram produtividade inferior aos híbridos isogênicos ATF10A e ATF14A x BR012R (Tt) que possuem um alelo para tolerância ao Al que formaram o segundo grupo posteriormente. A diferença de produtividade dos híbridos ATF10A e ATF14A x BR012R (Tt) foi $1,0 \text{ t. ha}^{-1}$ superior em relação aos híbridos ATF8A e ATF13A x BR012R (tt), comparados nos níveis 0 e 40% de saturação de Al. Estes resultados demonstrou claramente a expressão do gene *Alt_{SB}* no nível 40% de saturação de Al. Nos níveis de saturação 20 e 0% de Al não houve interação significativa com os híbridos isogênicos formando assim apenas um grupo, nestes níveis de saturação todos os híbridos obtiveram produtividade semelhante, embora o híbrido ATF10A x BR012R produziu mais no nível 20% de saturação de Al em torno de 300 kg ha^{-1} em relação ao nível 0%, isto pode ser devido a problemas ocorridos no nível 0%, no ano de 2007, onde não só este experimento, mas todos os experimentos contidos na área que se encontrava este nível tiveram que ser replantados, subseqüentemente sofrendo estresse hídrico num fase fisiológica mais jovem dos outros níveis de saturação de Al.

Na Figura 1 (B) e Tabela 1, houve interação significativa entre os híbridos isogênicos provenientes de dois pares de fêmeas com Tx430R e os níveis 0 e 20% de saturação de Al para as médias de produtividade, formaram-se dois grupos nestes níveis de saturação de Al. No nível 40% de saturação de Al, não houve interação significativa conseqüentemente nenhum grupo foi formado, mas apesar de não ter ocorrido diferença significativa estatisticamente pelo teste Scott-Knott, pode se observar através das médias de produtividade que os híbridos formados por ATF10A e ATF14A x Tx430 (Tt) obtiveram produtividade superior em relação aos híbridos ATF8A e ATF13A x Tx430 (tt), já pelo teste de Duncan houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade. No nível 20% de saturação de Al, formou-se 2 grupos, sendo um grupo formado pelos híbridos ATF8A (tt), ATF13A (tt) e ATF10A x Tx430 (Tt) que obtiveram produtividade inferior ao híbrido ATF14A x Tx430 (Tt) que formou o segundo grupo, este fato pode ser devido a saturação de Al existente na camada superficial (20% saturação) prejudica este genótipo ou a saturação de Al subsuperficial do solo (20-40 cm), que pode ter prejudicado o crescimento do sistema radicular, inibindo o crescimento da planta, afetando assim diretamente a produção do híbrido ATF10A x Tx430. Formaram-se dois grupos no nível 0% de saturação de Al, onde os híbridos ATF8A e ATF13A x Tx430 (tt), obtiveram produtividade inferior aos

híbridos ATF10A e ATF14A x Tx430 (Tt), apesar de estarem no nível 0% de saturação de Al os híbridos (Tt) produziram 1.1 t.ha⁻¹ a mais que os híbridos (tt), isso pode ser devido aos mesmos fatores ocorridos no nível 20% de saturação de Al, mais o estresse hídrico ocorrido numa fase fisiológica mais jovem.

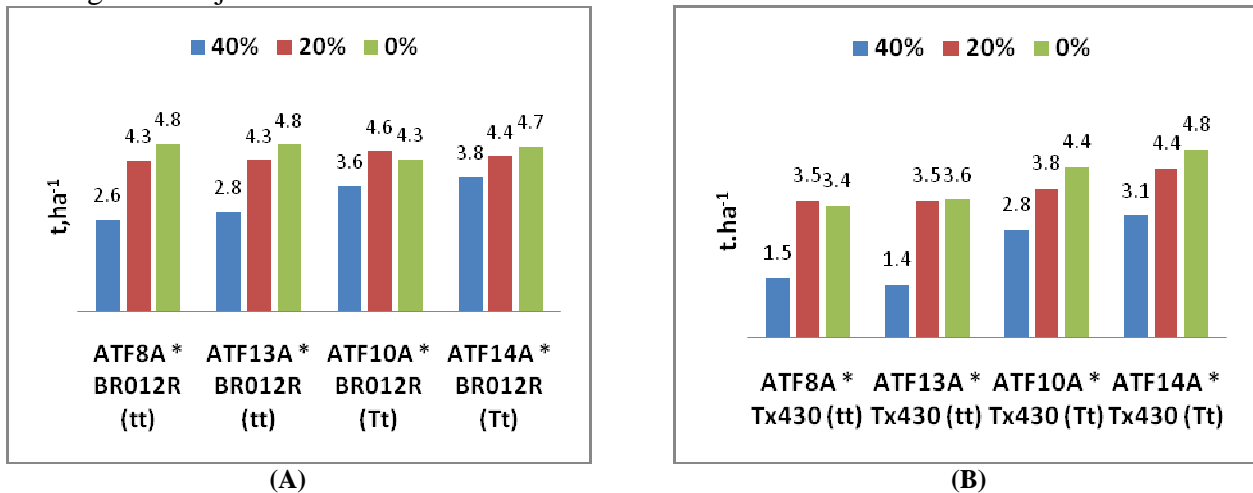


Figura 1: (A) Produtividade em t ha⁻¹ de híbridos isogênicos provenientes de dois pares de fêmeas ATF8A, ATF10A e ATF13A, ATF14A com (BR012R) em três níveis de saturação de Al (0, 20 e 40%) e (B) produtividade em t ha⁻¹ de híbridos isogênicos provenientes de dois pares de fêmeas ATF8A, ATF10A e ATF13A, ATF14A com (Tx430) em três níveis de saturação de Al (0, 20 e 40%).

A produtividade dos híbridos isogênicos ATF8A, ATF13A x CMSXS180R (tt) e ATF10A, ATF14A x CMSXS180R (Tt) nos três níveis de saturação de Al, pôde ser observada na Figura 2 (A) e na Tabela 1. Observou-se que houve interação significativa entre os híbridos isogênicos e os três níveis de saturação de Al e em cada nível de saturação formou-se dois grupos de médias de produtividade. No nível 40% de saturação de Al o híbrido ATF14A x CMSXS180R (Tt) formou um grupo e obteve produtividade superior aos híbridos ATF10A x CMSXS180R (Tt), e ATF8A e ATF13A x CMSXS180R (tt) que juntos produziram em média aproximadamente 1,25 t.ha⁻¹ a menos que o híbrido ATF10A, ATF14A x CMSXS180R (Tt) que produziu uma média de 3.5 t ha⁻¹. Esses resultados de produtividade mostra o efeito do gene *Al_{SB}* no híbrido ATF14A x CMSXS180R (Tt) que possui um alelo de tolerância ao Al, apesar do híbrido ATF10A x CMSXS180R (Tt) ter um alelo para de tolerância ao Al³⁺ neste caso ele mostrou mais sensível em relação ao híbrido ATF14A x CMSXS180R no nível 40% de saturação de Al. Em outros experimentos a superioridade de ATF14 em comparação de ATF 10 também foi observada. Enquanto que nos híbridos que não possuem alelos para tolerância ao Al, a produtividade sofre uma queda relativamente visível. No nível 20% de saturação de Al formaram-se dois grupos e novamente como ocorreu no nível 40% de saturação de Al, os híbridos ATF10A, ATF14A x CMSXS180R (Tt) obtiveram produtividade superior aos híbridos ATF8A, ATF13A x CMSXS180R (tt) produtividade esta que em média aproximadamente 500 kg ha⁻¹. Formaram-se dois grupos no nível 0% de saturação de Al, e os híbridos ATF8A, ATF13A (tt) e ATF10A x CMSXS180R (Tt) fizeram parte do mesmo grupo e posteriormente o segundo grupo formado foi pelo híbrido ATF14A x CMXS180R (Tt). Neste nível 0% de saturação de Al, observou-se que o híbrido ATF10A x Tx430 (Tt) apesar de possui um alelo para a tolerância fez parte do grupo dos híbridos (tt) isso pode ter ocorrido, devido à presença de Al na camada

subsuperficial do solo (20-40 cm), associado ao estresse hídrico estes fatores inibem o crescimento do sistema radicular causando perda na produtividade final. Foi observado em outros experimentos uma leve superioridade de ATF14 a ATF10, que pode ser atribuída a uma superior expressão do gene *Alt_{SB}* ou outros genes.

Na Figura 2 (B) e Tabela 1 é possível observar as médias de produtividade de híbridos isogênicos derivados da linhagem CMSXS226R em três níveis de saturação de Al. Ocorreu interação significativa entre híbridos isogênicos e o nível 40%, onde se constituíram dois grupos um foi constituído pelos híbridos ATF8A e ATF13A x CMSXS226R (Tt) e o outro grupo constituído por ATF10A e ATF14A x CMSXS226R (TT), estes últimos híbridos isogênicos (TT) obtiveram uma produtividade média superior aos híbridos (Tt) de 400 kg ha⁻¹ comprovando assim que híbridos com dois alelos para tolerância obtêm melhores produtividades em relação a aqueles que possuem um alelo. Nos níveis 20 e 40% de saturação de Al não houve interação significativa entre os híbridos e os níveis de saturação de Al, em ambos os níveis, os híbridos obtiveram médias de produtividade semelhante, porém os híbridos ATF8A x CMSXS226R (Tt) e ATF14A x CMSXS226R (TT) no nível 20% de saturação de Al tiveram média produtividade superior em relação ao nível 0% de saturação de Al, essa obtenção de produtividade maior, esta relacionada com estresse hídrico ocorrido neste experimento, no ano de 2007 como foi explicado anteriormente.

A vantagem significativa do gene *Alt_{SB}* para produção de híbridos de sorgo foi confirmado neste trabalho, sendo os híbridos recebendo o gene *Alt_{SB}* dos dois parentais mais vantajosa.

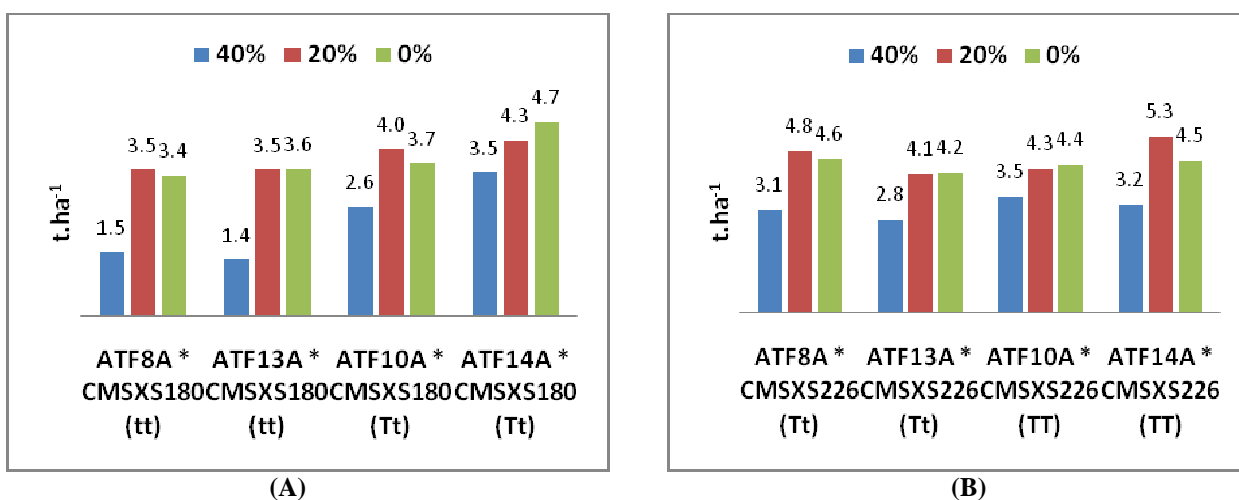


Figura 2: (A) Produtividade em t.ha⁻¹ de híbridos isogênicos provenientes de dois pares de fêmeas ATF8A, ATF13A e ATF10A, ATF14A com (CMSXS180R) em três níveis de saturação de Al (0, 20 e 40%) e (B) Produtividade em t.ha⁻¹ de híbridos isogênicos provenientes de dois pares de fêmeas ATF8A, ATF13A e ATF10A, ATF14A com (CMSXS226R) em três níveis de saturação de Al (0, 20 e 40%).

Referências bibliográficas

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento, **Título do documento disponível em:** <http://www.conab.gov.br> acesso em 10 de junho de 2008.

CRUZ, C. D. Programa Genes – Versão Windows. Editora, UFV. Viçosa, MG, 642p. 2001.

Tabela 1: Média de produtividade de híbridos isogênicos em t.ha⁻¹, em três níveis de saturação de Al, obtidas através do teste Scott-Knott (P<0,05).

Híbridos Isogênicos	Saturação de Alumínio			
	Alelo	40%	20%	0%
ATF8A * BR012R	tt	2.6B	4.3A	4.8A
ATF13A * BR012R	tt	2.8B	4.3A	4.8A
ATF10A * BR012R	Tt	3.6A	4.6A	4.3A
ATF14A * BR012R	Tt	3.8A	4.4A	4.7A
ATF8A * Tx430	tt	1.5B*	3.5B	3.4B
ATF13A * Tx430	tt	1.4B*	3.5B	3.6B
ATF10A * Tx430	Tt	2.8B	3.8B	4.4A
ATF14A * Tx430	Tt	3.1B	4.4A	4.8A
ATF8A * CMSXS180R	tt	2.3B	2.9B	4.7A
ATF13A * CMSXS180R	tt	1.9B	3.4B	3.5B
ATF10A * CMSXS180R	Tt	2.6B	4.0A	3.7B
ATF14A * CMSXS180R	Tt	3.5A	4.3A	4.7A
ATF8A * CMSXS226R	Tt	3.1B	4.8A	4.6A
ATF13A * CMSXS226R	Tt	2.8B	4.1A	4.2A
ATF10A * CMSXS226R	TT	3.5A	4.3A	4.4A
ATF14A * CMSXS226R	TT	3.2A	5.3A	4.5A

As médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna, não diferem entre pelo teste Scott-Knott a (p<0,05).

*Os valores diferem estatisticamente dos híbridos ATF10A e ATF14A * Tx430R pelo teste de Duncan (p<0.05).

ECHART, C. L.; CAVALLI-MOLINA, S. Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismo de tolerância e seu controle genético. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.31, n.3, p.531-541, 2001.

MAGALHÃES, J.V., LIU, J.; GUIMARÃES, C.T., LANA, U.G P., ALVES, V.M.C., WANG, Y., SCHAFFERT, R.E., HOEKENGA, O A., PIÑEROS, M.A. SCHAFF, 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**, Inglaterra, v.39, p. 1156-1161, 2007.

RYAN, P. R.; DI TOMASO, J. M.; KOCHIAN, L. V. Aluminum toxicity in roots: an investigation of spatial sensitivity and the role of the root cap. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 44, p. 437-446. 1993.

SAWAZAKI, E. Sorgo forrageiro ou misto, sorgo granífero, sorgo vassoura – *Sorghum bicolor* L. Moench. In: FALH, J.L.(Ed.) **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 6 ed. Campinas, IAC, 1998. p.44-49. 1998.

SILVA, A. R.; MALAVOLTA, E. A conquista do cerrado. In: PATERNIANI, E. (Org.). **Agricultura brasileira e pesquisa agropecuária**. Brasília, 2000, p. 31-44.