

# Capítulo 26

## Fluxo gênico em sorgo

*Robert Eugene Schaffert*<sup>1</sup>; *José Avelino Santos Rodrigues*<sup>2</sup>;

### SORGO CULTIVADO

#### Aspectos da cultura de sorgo no Brasil

A cultura do sorgo apresentou expressiva expansão nos últimos anos, atingindo, em 2011/2012, uma área estimada de cerca de um milhão de hectares. O sorgo apresenta múltiplos usos tais como produção de forragem, de grãos e, mais recentemente, tem sido avaliada sua importância estratégica dentro da matriz energética brasileira para produção de etanol, durante a entressafra da cana-de-açúcar. Sua alta tolerância ao estresse hídrico tem sido a principal razão para o aumento da área plantada com este cereal, principalmente na segunda safra ou safrinha (plantios nos meses de fevereiro/março, principalmente). Os principais tipos de sorgo cultivados no país são: o sorgo granífero, para produção de grãos, o sorgo forrageiro, para produção de silagem, o sorgo de corte e pastejo, para uso direto como forragem, o sorgo sacarino, para produção de etanol e mais recentemente, o sorgo para produção de biomassa, a ser utilizada na “segunda geração” de biocombustíveis.

A cultura do sorgo tem sido uma excelente opção para produção de grãos e forragem em todas as situações em que o déficit hídrico oferece maiores riscos para outras culturas, notadamente o milho. Em termos mercadológicos, o cultivo de sorgo granífero em sucessão a culturas de verão (principalmente soja), na chamada “safrinha” tem contribuído para a oferta sustentável de grãos de alta qualidade e baixo custo para a agroindústria de rações. Atualmente, em toda a região produtora de grãos de sorgo do Brasil central, o produto mostra boa liquidez para o agricultor e preços competitivos para a indústria, que, cada vez mais, procura alternativas para compor suas rações com qualidade e menor custo. O sorgo forrageiro permite obter altos rendimentos de forragem com qualidade comparável à do milho e com a vantagem da menor susceptibilidade aos estresses climáticos.

---

<sup>1</sup> Eng.-Agr.; Ph.D.; pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo.; Sete Lagoas, MG.; [robert.schaffer@embrapa.br](mailto:robert.schaffer@embrapa.br)

<sup>2</sup> Eng.-Agr.; Doutor; pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo.; [jose.avelino@embrapa.br](mailto:jose.avelino@embrapa.br)

O avanço da moderna agricultura no Cerrado e seus diversos sistemas de produção continuam ampliando as possibilidades para os diferentes tipos de sorgo. A soja, principal parceira no sistema de sucessão de culturas, avança para os estados do Norte e Nordeste, com o sorgo acompanhando tal avanço. O sistema de plantio direto ajusta-se especialmente à cultura do sorgo, por causa da sua excelente produção de palha.

A expansão da agroindústria de carnes aumenta também a busca por matérias primas de menor custo para alimentação de aves, suínos e bovinos. A pecuária de leite e de corte se profissionaliza cada vez mais, à medida que os mercados consumidores exigem mais qualidade e preço competitivo. O milho, principal componente na alimentação animal no país, tem alto peso nas exportações principalmente “embalado” sob a forma de carnes (aves, suínos e bovinos). O sorgo surge então como o principal grão alternativo ao milho na chamada “cesta básica” de ingredientes forrageiros, junto com o trigo, o triticale, o farelo de arroz e a fécula de mandioca.

Além de seu uso na alimentação animal, outra área que vem adquirindo importância para a cultura do sorgo é sua participação no agronegócio de bioenergia. O governo brasileiro vem incentivando a produção dos biocombustíveis e a ampliação das matrizes energéticas. Para isso, lançou o Plano Nacional de Agroenergia (PNA/2006-2011), visando organizar e desenvolver propostas de pesquisa, desenvolvimento, inovação e transferência de tecnologias para garantir a sustentabilidade e a competitividade às cadeias produtivas de agroenergia. Neste contexto, foram estabelecidos arranjos institucionais para estruturar esta linha de pesquisa, com a formação de consórcios de agroenergia, sendo também criada a Unidade Embrapa Agroenergia (PLANO..., 2005).

O Brasil tem uma série de vantagens que o qualificam a liderar a agricultura de energia – o chamado biomercado – em escala mundial. A primeira é a possibilidade de dedicar novas terras à agricultura de energia, sem a necessidade de reduzir a área utilizada na produção de alimentos, principalmente via incorporação ao processo produtivo de áreas com pastagens degradadas. Além disto, em várias partes do país, é possível fazer múltiplos cultivos sem irrigação, em um mesmo ano agrícola. Exemplo máximo desta linha é a chamada segunda safra ou safrinha, que tem crescido a taxas constantes nesta última década. O sorgo, por sua maior tolerância ao déficit hídrico, se destaca aí como opção atraente, quanto mais tardio seja o plantio. Outra vantagem é o fato do país situar-se nas faixas tropical e subtropical, com alta intensidade de radiação solar durante todo o ano (PLANO..., 2005).

As usinas de produção de etanol estão baseadas na moagem de cana-de-açúcar, cuja safra é de sete a oito meses, dependendo da região. Assim, uma possibilidade seria a inserção do sorgo sacarino na entressafra da cana de forma a ampliar o uso da infraestrutura das usinas, durante os doze meses do ano. Face a isto, a cultura do sorgo sacarino mereceu atenção especial dentre os objetivos propostos no Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011.

O programa de melhoramento genético de sorgo da Embrapa tem sido nas últimas décadas o principal fornecedor de material genético para o Brasil, com contínuo suprimento de novos cultivares de sorgo granífero, sorgo para silagem, sorgo de corte e pastejo e mais recentemente de sorgo sacarino. Antecipa-se que este programa será o primeiro no país a lançar cultivar de sorgo para produção de biomassa na “segunda geração” de biocombustíveis em 2014. Na safra 2009/2010, cultivares desenvolvidas pelo programa de melhoramento de sorgo da Embrapa representaram cerca de 33% do mercado de sementes de sorgo granífero, 41% de sorgo forrageiro e 13% de corte e pastejo no país, comprovando a importância deste programa na oferta de cultivares desta cultura no Brasil.

O avanço da cultura do sorgo no país deveu-se também ao desenvolvimento de materiais geneticamente superiores, tanto do ponto de vista de produtividade quanto de outras características, principalmente a resistência a doenças como a antracnose (*Colletotrichum sublineolum*), a ferrugem (*Puccinia purpurea*), a Helminthosporiose (*Exserohilum turcicum*) e ao míldio (*Peronosclerospora sorghi*). Apesar deste avanço, problemas relacionados à dinâmica populacional destes patógenos e à própria expansão da cultura têm sido motivo de preocupação por parte da pesquisa na área fitopatológica.

O potencial produtivo da cultura do sorgo é ainda afetado pelo dano causado por várias espécies de pragas, assim, o conhecimento destas e de seus manejos é primordial para a obtenção de altos rendimentos de biomassa com qualidade. Entre os insetos, destacam-se pela importância econômica a lagarta-elasma (*Elasmopalpus lignosellus*) causando a morte de plântulas, a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) e o pulgão-verde (*Schizaphis graminum*), danificando as folhas, e a broca-da-cana-de-açúcar (*Diatraea saccharalis*), atacando o interior do colmo. Além dessas espécies, outros insetos considerados pragas secundárias, atacam a cultura, como a larva-aramé (*Conoderus scalaris*), várias espécies de corós (*Eutheola*, *Dyscinetus*, *Stenocrates*, *Diloboderus*, *Cyclocephala*, *Phytalus* e *Phyllophaga*), pulgão-do-milho (*Rhopalosiphum maidis*), curuquerê-dos-capinzais (*Mocis latipes*), lagarta-da-espiga do milho (*Helicoverpa zea*), vários percevejos fitófagos que infestam a panícula, como o percevejo-gaúcho (*Leptoglossus zonatus*), percevejo-verde (*Nezara viridula*), percevejo-pardo (*Thyanta perditor*), percevejo-do-sorgo (*Sthenaridea carmelitana*) e a mosca-do-sorgo (*Stenodiplosis sorghicola*).

### **Regiões de cultivo e uso para produção de grãos e forragem**

Nas últimas décadas, houve uma expansão significativa da cultura de sorgo granífero, tanto em número de municípios brasileiros quanto em termos de área plantada, tendo passado de 85.400 ha em 1975 para 664.600 ha em 2010 (IBGE, 2012). No mesmo período, também foi observado um aumento considerável de produção e de rendimento médio. Enquanto em 1975 a produção nacional foi de 200 mil toneladas, a partir de 2003, ultrapassou 1,5 milhões de toneladas. Em termos de rendimento médio, a produtividade praticamente dobrou nas últimas décadas. Enquanto em 1983 foi registrada uma produtividade média de 1.339 kg/ha, a partir de 2003 passou a ser maior do que 2.000 kg/ha; sendo que, em 2010, foi registrada uma produtividade média de 2.305 kg/ha (LANDAU et al., 2008).

As áreas geográficas plantadas com sorgo granífero, entre 1975 e 1987/1988 concentravam-se na Região Sul, principalmente em municípios da Campanha Gaúcha, no Rio Grande do Sul, e no Estado do Paraná. A partir de 1994, a Região Centro-Oeste passou a se destacar em termos de área plantada e quantidade produzida de grãos, principalmente no sul do Estado de Goiás e em municípios dos Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul situados em altitudes maiores que 300 m (LANDAU et al., 2008). Na última década, a produção de sorgo granífero tem aumentado principalmente em plantios de rotação a safras de verão de outras culturas de grãos da Região Sudeste e, principalmente, da Região Centro-Oeste. Nessas regiões, na década de 90 a produção de sorgo granífero de 50 mil toneladas alcançou 500 mil por ano ao final desta. Os Estados de Goiás, Mato Grosso, São Paulo, e Minas Gerais são os que juntos apresentam a maior participação na produção de sorgo granífero, representando, 80% da área plantada e 70% da produção nacional (SILVA; ALMEIDA, 2004; DUARTE, 2011).

No Brasil o sorgo granífero concentra-se principalmente no Brasil Central em sucessão a culturas de verão e em menor escala nas regiões Sul (região de fronteira), em plantios de verão, e Nordeste. Os grãos têm sido utilizados basicamente para alimentação animal e, dada à adaptação desta cultura às condições de estresse hídrico, têm mostrado rápido e significativo incremento na área plantada nos últimos anos. Essa expansão se deve às oportunidades encontradas pela cultura, principalmente, nos plantios de sucessão na região do cerrado. A agricultura no cerrado caminha com a soja na direção do Norte e do Nordeste, abrindo espaço ao sorgo para atendimento da demanda de grãos utilizados na indústria de transformação.

Além do fornecimento de grãos, o sorgo ainda oferece cobertura verde quando os solos sob cerrado encontram-se expostos à radiação solar e ao excesso de chuvas. A colheita de grãos permite gerar receita adicional no período de entressafra, e constitui-se em opção de rotação de culturas e cobertura morta de qualidade para o plantio direto.

Sorgos graníferos são caracterizados como plantas de porte baixo, variando de 0,80 m a 1,80 m; com alta produção de grãos, com produtividades médias variando de acordo com o ambiente e a tecnologia adotada, de 750 kg/ha até valores superiores a 6.000 kg/ha, com potencial produtivo de até 12.000 kg/ha, tratando-se de um cultivo mecanizável do plantio à colheita. Sua inflorescência, tipo panícula, apresenta grande variação em forma e tamanho. Seus grãos podem apresentar as mais variadas cores: brancos, amarelos, vermelhos, marrons, etc.; apresentam também diferenças em quantidade, em tamanho, na forma e na composição química e podem ser utilizados para vários propósitos.

Os primeiros tipos de sorgo introduzidos na América foram de porte alto, com baixa produtividade e suscetíveis à doenças e acamamento. A identificação de plantas de porte baixo e o desenvolvimento de híbridos, utilizando o sistema de macho esterilidade genético-citoplasmática, permitiram o melhoramento desta cultura, o que possibilitou a tecnificação e a expansão econômica da espécie em diferentes áreas ao redor do mundo.

A cultura tecnificada de sorgo granífero começou a se desenvolver no Brasil no final dos anos 60 e começou da década de 70 com a organização de um sistema de produção e distribuição de sementes por empresas públicas e privadas. Nesta época, híbridos graníferos de porte baixo, recém lançados na Argentina, chegaram ao Brasil introduzidos através da fronteira gaúcha. O Rio Grande do Sul tornou-se o Estado com maior produção de grãos de sorgo do país.

No final da década de 70, produtores da Região da Alta Mogiana Paulista, procurando uma alternativa de melhoria de utilização de seus recursos (terra e implementos) e aumento de renda na entressafra, realizaram os primeiros plantios de sorgo no final do verão. Em função da adaptabilidade desta cultura às condições de estresse hídrico, comum a esta época de plantio, o sorgo destacou-se em relação à outras alternativas disponíveis para a produção de grãos. Neste período as empresas públicas e privadas de pesquisa incrementaram seus programas de melhoramento com introdução de germoplasma de Centros Internacionais de Pesquisa e Universidades, bem como técnicas de manejo da cultura nesse sistema de plantio e capacitação da indústria de sementes e insumos.

A região Sul, tradicionalmente produtora de sorgo, vem apresentando redução em área plantada e produção da ordem de 2,81% e 2,74 % ao ano, respectivamente, o que significa uma redução aproximada de 80% no período. Em situação oposta encontra-se a região Centro Oeste que, no mesmo período, apresentou aumentos anuais da ordem de 2,24 % em área plantada e 2,25 % na produção, representando aumento aproximado da ordem de 70 % para esses dois parâmetros. As regiões Sudeste e Nordeste apresentaram grandes

variações na área plantada e produção, o que dificulta estimar se suas participações têm aumentado ou diminuído (COELHO et al., 2002).

O grão de sorgo é composto por amido, açúcar, proteína e óleo. Proteína representa aproximadamente 10%, óleo 3% e amido e açúcar 70%. O pericarpo da semente contém uma camada cerosa e o restante do grão é composto de uma miscelânea de pigmentos e elementos minerais (BENNETTI et al., 1990).

Os grãos de sorgo também podem ser industrializados e são utilizados na produção de álcool, bebidas fermentadas e outros. Os produtos de sorgo são divididos em componentes amiláceos e não-amiláceos. Com características quase idênticas ao amido do milho, o amido do sorgo tem as mesmas aplicações em papelaria, laminação e franzimento, materiais de construção, adesivos, explosivos, têxteis e outros usos industriais.

Os principais produtos não-amiláceos são o óleo e o gérmen. O óleo é semelhante ao do milho, levemente menos saturado, podendo ser industrializado de forma similar. A proteína é empregada na manufatura de proteína vegetal hidrolizada. A farinha de gérmen é um excelente suplemento protéico, de boa digestibilidade e palatabilidade (ABMS, 1989).

O sorgo é o quarto cereal mais produzido no Brasil, ficando atrás do milho, trigo e arroz. O sorgo devidamente processado pode apresentar eficiência de 95 a 100% do milho na alimentação dos bovinos (IGARASI et al., 2008). No Brasil, o deságio do sorgo em relação ao milho costuma ser de 25% a 30% (TSUNECHIRO et al., 2002). Nos Estados Unidos, geralmente o deságio do sorgo em relação ao milho é por volta de 10 a 15% (HUCK et al., 1999; DC COOPERATIVE, 2010). Isso pode refletir um baixo conhecimento do valor do sorgo pelos agentes do mercado brasileiro.

No Brasil, estima-se que aproximadamente 90% do grão de sorgo produzido seja utilizado na formulação de concentrados para alimentação animal, uma vez que apresenta uma composição química bastante semelhante à do milho e pode substituí-lo como fonte energética em rações para animais.

Especialmente para nutrição animal, a maior diferença entre milho e sorgo é o seu conteúdo de extrato etéreo, o que resulta em menor teor de energia digestível. Outras diferenças em pigmentos e aminoácidos são ainda relatadas, sendo que estas diferenças podem ser compensadas na formulação da dieta para os animais, normalmente com vantagem econômica em favor do grão de sorgo, o que torna este grão competitivo para a indústria de alimentos.

A potencialidade forrageira é ainda ponto forte desta cultura para a pecuária bovina. Estima-se que a cultura de sorgo para forragem no Brasil ocupe cerca de 30 a 35% da área total cultivada com esta espécie. O segmento da bovinocultura pode se tornar em curto prazo um dos mais importantes clientes para forragem e grãos de sorgo, e se transformar no elo que falta para a consolidação da cultura do sorgo no País.

O sistema de confinamento de bovinos de corte, implantado no Brasil na última década, e a perspectiva de expansão de exploração leiteira mostram que a demanda por alimentos volumosos é muito grande e deveria ser suprida na maior parte do ano por alimentos conservados. A cultura de sorgo pode oferecer grande contribuição para minimizar os problemas decorrentes da estacionalidade da produção de forragem, além disso, atualmente tem-se procurado desenvolver híbridos que tenham bom equilíbrio entre colmo, folhas e panículas para que se possa aliar uma boa produtividade de matéria seca e um bom valor nutritivo. Os grãos de sorgo são largamente consumidos em rações balanceadas para pequenos e grandes animais. A planta inteira é utilizada sob forma de silagem, rolão ou corte verde.

A bovinocultura leiteira no Brasil desenvolve-se, principalmente, em propriedades pequenas baseadas no sistema de produção familiar, com pouco investimento e uso de tecnologias que poderiam aumentar a produtividade dos animais, principalmente no quesito alimentação. A suplementação dos animais com alimentos concentrados muitas vezes torna o sistema inviável economicamente e o uso de práticas que permitam maior utilização de volumosos de qualidade, verdes ou conservados, na dieta dos animais, é uma opção valiosa para aumentar a lucratividade do sistema. Nos últimos anos, o custo dos principais alimentos concentrados utilizados na dieta de bovinos leiteiros, o milho e a soja, apresentaram aumento significativo de preço devido ao aumento das exportações dos grãos e consequente redução dos estoques nacionais (OSAKI et al., 2010). Por isso, o produtor deve considerar como sua atividade principal a produção de forragem de boa qualidade, à qual deverá agregar valor, quando eficientemente transformada em leite pelos animais.

Neste contexto, a utilização de forrageiras com bom valor nutricional pode contribuir para aumentar a produtividade e a lucratividade dos sistemas de produção de carne e leite. Os híbridos de sorgo com capim Sudão (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*), vêm ganhando importância crescente na alimentação dos animais, devido à rapidez no estabelecimento e crescimento, facilidade de manejo para corte ou pastejo, alta produção de forragem, bom valor nutritivo e excelente palatabilidade, além de ser uma cultura tolerante ao calor e à seca. Esta forrageira é uma alternativa viável para aumentar a utilização de volumosos na dieta de bovinos de corte e de leite, proporcionando bons desempenhos e diminuição do uso de suplementos para satisfazer as necessidades nutricionais dos animais, reduzindo os custos com a dieta e, muitas vezes, viabilizando o sistema de produção.

Os híbridos de sorgo com o capim Sudão já são utilizados há tempos em países de tradição pecuária como os Estados Unidos e a Argentina e, mesmo no Sul do Brasil, estes cultivares são utilizados há décadas para pastejo direto em plantios de verão (RODRIGUES, 2000).

### **Sorgo para bioenergia**

A previsão para o esgotamento das fontes de petróleo para o futuro próximo e o apelo global pela redução na emissão de CO<sub>2</sub> de origem fóssil têm feito com que o mundo, incluindo o Brasil, busque fontes alternativas de energia, que possam ser empregadas diretamente e de maneira sustentável na produção de energia. Dentre essas, o etanol assume importância particular, pois agrega as vantagens principais de poluir menos e possuir características físico-químicas semelhantes às da gasolina. A cana-de-açúcar, tradicionalmente empregada na produção de álcool, se desenvolve bem no trópico úmido, apresentando rendimentos altos em açúcares por área cultivada (LIPINSKI; KRESOVICH, 1982). O sorgo sacarino se assemelha à cana-de-açúcar, uma vez que o armazenamento de açúcares se localiza nos colmos, além de fornecer bagaço em quantidade suficiente para a geração de energia, por meio de sua queima, para a operação industrial. Além disso, o sorgo sacarino produz grãos que podem ser utilizados principalmente para alimentação animal na propriedade rural. Diferentemente da cana-de-açúcar, o mesmo pode ser cultivado a partir de sementes e apresenta um ciclo vegetativo bem mais curto, de 120 a 130 dias.

Em microdestilarias, os seus colmos podem ser processados na mesma instalação destinada à produção de etanol de cana-de-açúcar, oferecendo também uma quantidade de resíduo fibroso (bagaço) para gerar o vapor necessário para a operação industrial. Resultados experimentais mostram que o sorgo sacarino pode ser uma cultura complementar à cana-de-

açúcar para produção de etanol, podendo ser colhido na entressafra, reduzindo assim o período de ociosidade da indústria e favorecendo o corte da matéria-prima após maturação completa (TEIXEIRA et al., 1997). Além disso, os grãos e os resíduos e subprodutos da microdestilaria podem ser destinados a outras finalidades voltadas para a produção de alimentos na propriedade rural e em futuro próximo poderão também ser convertidos em etanol através do desdobramento da celulose. Portanto, o sorgo sacarino apresenta-se como opção complementar à cana-de-açúcar para compor a matriz energética nacional, expandindo a área passível de utilização para produção de bioenergia e aumentando a eficiência da produção de etanol.

Outra vertente do programa de melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo é o desenvolvimento de cultivares de sorgo com alta produtividade de biomassa de qualidade visando o fornecimento de matéria prima para a produção de etanol de segunda geração, ou seja, etanol lignocelulósico. Neste caso, foram desenvolvidos e estão em avaliação híbridos de sorgo sensíveis ao fotoperíodo, conhecidos como sorgo lignocelulósico. Estes híbridos, conhecidos como plantas perenes, podem crescer até 5 - 6 m de altura, com alta eficiência hídrica e alto rendimento em biomassa (conteúdo de substância seca). Em função do vigor híbrido, o sorgo cresce rapidamente e é facilmente cultivável numa ampla variedade de climas, não exige grandes quantidades de fertilizantes, pesticidas e irrigação, tem uma alta eficiência fotossintética e um alto rendimento produtivo. Os cultivos de sorgo lignocelulósico são capazes de produzir mais de cinco toneladas de biomassas secas por mês por hectare, conforme o tipo de tecnologia utilizada, e com potencial de alcançar 50 toneladas de massa seca por hectare/ano.

Uma das estratégias para aumentar a produção de etanol seria investir nos biocombustíveis de segunda geração, cuja tecnologia para produção em escala industrial caminha a passos largos. A principal diferença de uma tecnologia para outra está na origem da biomassa, que é a matéria-prima dos biocombustíveis. Os biocombustíveis de primeira geração são fabricados a partir de matérias vegetais produzidas pela agricultura (beterraba, trigo, milho, colza, girassol, cana-de-açúcar, soja, entre muitos outros), e não são realmente eficientes quanto à contenção da emissão de gases poluentes, além de entrarem em concorrência com culturas alimentícias.

Os biocombustíveis de segunda geração serão produzidos através de biomassa de celulose e de outras fibras vegetais presentes na madeira ou nas partes não comestíveis dos vegetais. Estes resíduos poderiam ser utilizados para a produção desses combustíveis a partir de partes vegetais que são hoje eliminadas, como a do feijão, soja, cana-de-açúcar (bagaço), palhas, folhas, pontas de milho, entre outras, através de tecnologias de hidrólise/fermentação, gaseificação ou pirólise (PINTO et al., 2007).

## SORGO SELVAGEM

A classificação do sorgo cultivado (domesticado) e seus relativos selvagens e daninhos que compreendem todas as espécies anuais de *Sorghum* Moench subg. *Sorghum* tem sido muito discutida devido à variabilidade existente dentro do grupo. Snowden (1936) menciona sete espécies daninhas, 13 espécies selvagens e 28 espécies cultivadas.

De Wett (1978) sugere que *S. bicolor* (L.) Moench (ou *Sorghum bicolor* subs. *bicolor*) é derivado de *Sorghum verticilliflorum* e *S. drummondii* (ou *Sorghum bicolor* subs. *verticilliflorum* e *Sorghum bicolor* subs. *drummondii*) na África e de *S. halepense* e *S. propinquum* na Ásia.

O sorgo selvagem (*Sorghum bicolor* ssp. *arundinaceum* (Desv) de Wett e Harlan foi descrito por De Wet (1978) como apresentando quatro raças (*verticilliflorum*, *virgatum*, *aethiopicum*, *arundinaceum*) e uma subespécie considerada daninha (*S. bicolor* ssp. *drummondii* (Nesse x Steud) de Wett e Harlan) que pode ser um possível híbrido entre a sorgo cultivado e a subespécie *arundinaceum* (DE WET, 1978).

O *Sorghum bicolor* subsp. *arundinaceum* é a espécie nativa progenitora da espécie cultivada *S. bicolor* subsp. *bicolor* que pode cruzar e gerar híbridos com a subespécie *arundinaceum*. Os híbridos resultantes podem sofrer retrocruzamento produzindo plantas que se assemelham a um dos parentais, mas com características do outro. Os cultivares oriundo da primeira geração (F1) são classificados como *S. bicolor* subespécie *drummondii* (Mary E. Barkworth, <http://herbarium.usu.edu/treatments/sorghum.htm>, Herbário da Universidade de Utah <http://herbarium.usu.edu/default.htm>).

Em levantamento geográfico realizado na Etiópia e Nigéria (TESSO et al., 2011) foi observada a presença de sorgo selvagem em todas as regiões avaliadas, entretanto as diferenças fenotípicas verificadas nestas regiões não implicaram em classificação de diferentes subespécies. Exemplo da variação morfológica das espécies selvagens e daninhas, em um único campo de produção da Etiópia, pode ser visualizado na **Figura 1**. Neste mesmo levantamento foi observada a presença de sorgo selvagem e daninho a níveis de 56%, 44% e 13% nas regiões da Etiópia (Amhara, Tigray e Hararghe, respectivamente) e de 74% e 63% nas regiões da Nigéria (Maradi-Tahoua e Tillabery-Dosso, respectivamente).

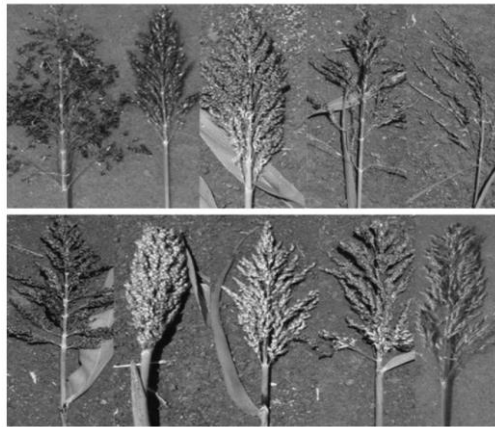


Figure 2. Examples of morphological diversity of wild sorghum types detected in single sorghum field in Wollo, Ethiopia.

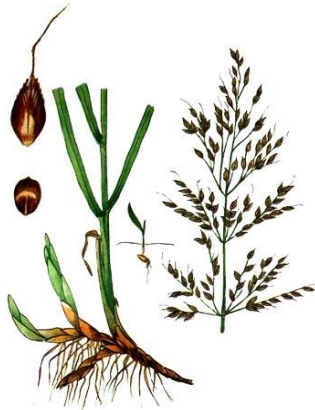
**Figura 1.** Diversidade morfológica de panículas de sorgo selvagem observadas em um campo de produção de sorgo em Wollo, Etiópia (TESSO et al., 2011).

### *Sorghum halepense*

O *Sorghum halepense* (Linn.) Pers.) está classificado dentro do gênero *Sorghum* assim como as espécies *S. propinquum* (Kunth) Hitchc.) e *Sorghum bicolor* (L.) Moench) (DE WET, 1978).



Considerada mundialmente como uma das mais importantes plantas daninhas, o sorgo halepense conhecido como Johnson grass (Estados Unidos, Austrália, África do Sul), grama China, maicillo, sorguillo, sorgo de Alepo (Peru), Aleppo grass (África do Sul), Don Carlos (Cuba), capim massambará, capim mexicano, capim de cuba, capim-guiné, capim-cevada, arroz bravo (Brasil) tem como centro de origem a África podendo estar na Etiópia ou Sudão ([http://es.wikipedia.org/wiki/Sorghum\\_halepense](http://es.wikipedia.org/wiki/Sorghum_halepense)). É considerado como uma planta perene, herbácea, entouceirada, com raízes rizomatosas que apresenta reprodução por rizomas, sementes e estolões. (**Figuras 2, 3 e 4**).



**Figura 2** - Características de *Sorghum halepense* (MELNICHUK, O.S.; KOVALIVSKA, G.M. (1972). "Atlas of the most widespread weeds of the Ukraine").



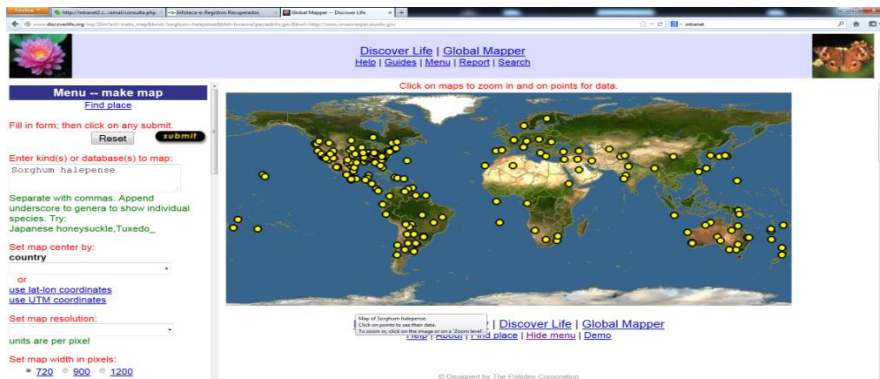
**Figura 3** - Detalhe da espiguetta do *Sorghum halepense*



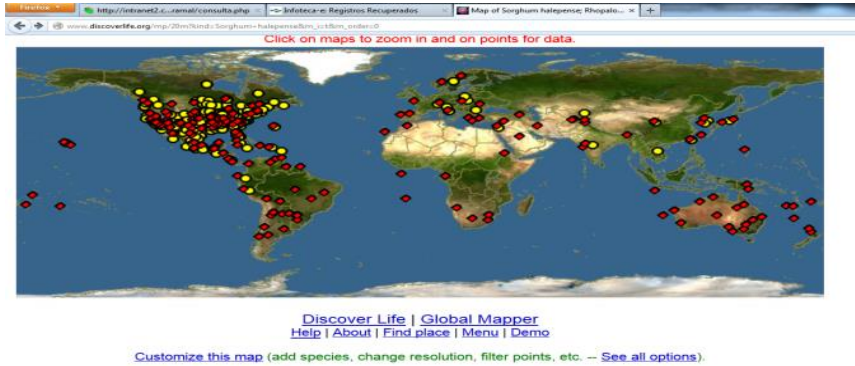
**Figura 4.** Detalhe do sistema radicular de *Sorghum halepense* com rizomas.

### Distribuição Global de *Sorghum halepense*

*Sorghum halepense* está disseminado mundialmente com presença em todos os continentes, independente das características climáticas da região (**Figura 5**). No Brasil, embora no mapa esteja relatado em poucas regiões, é de conhecimento que esta espécie pode ser encontrada desde o Rio Grande do Sul até em regiões produtoras de grãos no Centro-Oeste Brasileiro. Também tem sido relatada a presença de agentes bióticos associados ao *S. halepense* (**Figura 6 e Tabela 1**).



**Figura 5** - Distribuição mundial de *Sorghum halepense*. National Invasive Species Information Center (NISIC) National Invasive Species Information Center (NISIC). (<http://www.discoverlife.org/mp/20q?search=Sorghum+halepense&burl=www.invasivespeciesinfo.gov&btxt=InvasiveSpeciesInfo.gov>).



**Figura 6** - Distribuição mundial de *Sorghum halepense* com associações de agentes bióticos. (National Invasive Species Information Center (NISIC) National Invasive Species Information Center (NISIC).

([http://www.discoverlife.org/mp/20m?kind=Sorghum+halepense&m\\_i=t&m\\_order=0](http://www.discoverlife.org/mp/20m?kind=Sorghum+halepense&m_i=t&m_order=0)).

**Tabela 1** - Agentes bióticos associados com *Sorghum halepense* relatados pela National Invasive Species Information Center (NISIC) National Invasive Species Information Center (NISIC).([http://www.discoverlife.org/mp/20m?kind=Sorghum+halepense&m\\_i=t&m\\_order=0](http://www.discoverlife.org/mp/20m?kind=Sorghum+halepense&m_i=t&m_order=0)).

Família	Nome científico
Aphididae	Forda formicaria
	Hysteroneura setariae
	Rhopalosiphum maidis
Cicadellidae	Empoasca erigeron
	Erasmoneura vulnerata
Derbidae	Anotia bonnetii
Geocoridae	Geocoris punctipes
Lygaeidae	Blissus leucopterus
Miridae	Lygus lineolaris
Rhyarochromidae	Paromius longulus

## MELHORAMENTO DE SORGO

### Germoplasma

O sorgo tem apresentado aumento de rendimento superior a 30% nos últimos 30 anos e grande parte desse ganho pode ser atribuída à diversidade genética da espécie. Embora a coleção mundial de sorgo seja uma das mais extensas, menos de 3% dos acessos têm sido usados em programas de melhoramento. A utilização de germoplasma tem sido limitada, principalmente, como fonte de caracteres de importância agrônômica e exótica (em alguns casos), em razão de características intrínsecas às coleções (DAHLBERG et al., 1996). Além disso, dados de passaporte são limitados e, em muitos casos, perdidos, assim como a inexistência de informações do país de origem sobre uso, características especiais e

importância de determinados acessos. Para uma eficiente utilização, o germoplasma deve ser adequadamente avaliado, caracterizado e documentado.

Informações da diversidade genética do germoplasma disponível são de grande importância para o desenvolvimento de cultivares. O primeiro passo para a formação de uma coleção mundial foi a transferência, em 1957, de uma coleção do México para a Índia. Durante o período de 1959 a 1962, organizou-se essa coleção, que recebeu germoplasma da maioria dos países produtores de sorgo, principalmente Índia, Sudão, Nigéria e Estados Unidos. As coleções são aumentadas periodicamente e ativamente mantidas nos Estados Unidos (Purdue University e USDA) e na Índia (ICRISAT – International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics). A coleção mundial é mantida, para preservação a longo prazo, em Fort Collins (Colorado-USA) e no ICRISAT, com um total de 36.719 acessos.

O sorgo, considerado planta de dias curtos, tem sido adaptado para desenvolvimento em áreas com latitude de 45° da linha do Equador. Grande parte dos acessos da coleção mundial (aproximadamente 75%) é originária de regiões tropicais, com dias curtos. As plantas são altas e tardias (sensíveis ao fotoperíodo). Assim, somente uma pequena porção da variabilidade encontra-se disponível para pronta utilização em programas de melhoramento, em regiões temperadas. Iniciou-se, nos Estados Unidos, um programa de conversão desses tipos tropicais para tipos de porte baixo e insensíveis ao fotoperíodo. Basicamente, o programa consiste em um processo de retrocruzamentos, sendo o tipo baixo e precoce o progenitor recorrente.

Após três ou quatro ciclos de retrocruzamento, o tipo exótico é recuperado, porém com porte baixo e essencialmente insensível ao fotoperíodo. Esse material tem sido de grande interesse para os programas de melhoramento de vários países, uma vez que disponibiliza germoplasma de forma mais elaborada como fonte de resistência a doenças, pragas e acamamento; tolerância à seca; qualidade de forragem e grão; ampla adaptação; alto potencial de rendimento; e tipos para uso na alimentação humana.

O Banco Ativo de Germoplasma (BAG) de Sorgo da Embrapa Milho e Sorgo tem sido a principal fonte de germoplasma para os programas de melhoramento públicos e privados do Brasil. O BAG Sorgo iniciou suas atividades em 1973 com o objetivo de introduzir, caracterizar, avaliar, manter e disponibilizar germoplasma para uso em programas de pesquisa de instituições públicas e privadas. Atualmente, há 7.213 acessos catalogados, com ampla variabilidade, oriundos da Coleção Mundial (ICRISAT) e de coleções da CIAT (Colômbia) e instituições públicas americanas (USDA, Purdue University, Texas A&M University, Kansas State University, Oklahoma State University). A demanda por germoplasma tem aumentado significativamente em decorrência da expansão da cultura do sorgo, verificada na última década, e da busca por cultivares eficientes, com base genética ampla e adaptados às condições de cultivo dessa cultura (SANTOS et al., 2005).

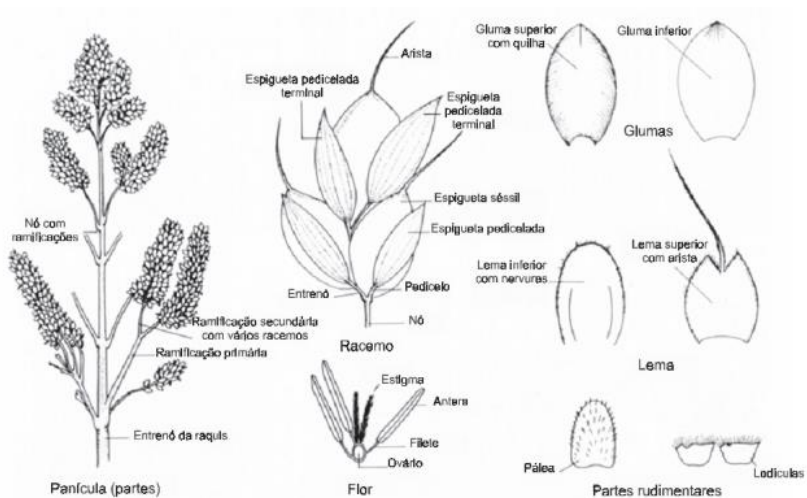
### **Classificação Botânica e Biologia Floral**

A planta do sorgo é formada pelas seguintes partes:

- 1- colmo ereto, suportado por um vigoroso sistema radicular de raízes adventícias;
- 2- folhas arrançadas alternadamente, originadas de nós individuais e compostas de bainha e lâmina foliar. O número varia de 7 a 30, dependendo do cultivar e duração do crescimento. O entrenó superior é denominado pedúnculo e a última folha, próxima à panícula, é a folha bandeira;

3- inflorescência denominada panícula, que possui um eixo central ou raquis, de onde se originam as ramificações primárias, secundárias e terciárias (**Figura 1 e Figura 7**). As ramificações finais carregam os racemos de espiguetas. As panículas variam morfológicamente, de compacta a aberta. Após o aparecimento completo da folha bandeira, o alongamento do pedúnculo força a panícula para fora da bainha. Os racimos carregam as espiguetas em pares, consistindo cada par de uma espiguetas sésseis (normalmente fértil) e uma pedicelada (macho ou estéril).

A diferenciação floral inicia-se 30 a 40 dias após a germinação e em cerca de seis a 10 dias ocorre o emborrachamento. Normalmente o sorgo floresce entre 50 e 90 dias (no Brasil), dependendo da época e do local de plantio e do genótipo. O florescimento inicia-se nas espiguetas sésseis do ápice para a base da panícula durante um período médio de quatro a seis dias. O pólen é viável durante três a cinco horas e os estigmas permanecem receptivos durante uma semana ou mais; as melhores condições ocorrem nos três primeiros dias após a emergência. (SANTOS et al,2005).



Fonte: Murty et al., 1994).

Figura 1 - Partes da inflorescência e espiguetas de uma planta de sorgo.

(Fonte: MURTY et al.,1994).

**Figura 7** - Partes da inflorescência e espiguetas de uma planta de sorgo

## Tolerância e Resistências a Herbicidas

Conceitos e definições da resistência de plantas daninhas a herbicidas vêm sendo descritos e modificados desde a década de 60, quando se detectaram os primeiros casos do fenômeno, após o emprego intensivo de agentes herbicidas da família das triazinas. A definição de acordo com a *Weed Science Society of America* é de que a resistência é uma

habilidade de sobrevivência e reprodução de uma planta após exposição a uma dose de herbicida considerada letal para o biótipo selvagem. CHRISTOFFOLETI; LÓPEZ-OVEJERO (2008) conceituaram a resistência como a capacidade inerente e herdável de alguns biótipos, dentro de uma determinada população, de sobreviver e reproduzir após exposto a uma dose de herbicida que normalmente seria letal a uma população suscetível da mesma espécie”. Já MURAYA et al. (2012), modificaram sutilmente o conceito acima, ao mencionar a resistência como sendo a “capacidade natural e herdável de uma planta sobreviver e reproduzir após exposição a uma dose de herbicida que normalmente seria letal para a população original”. Numa outra explanação, o Comitê de Prevenção da Resistência a Herbicidas da Espanha conceitua a resistência como “a habilidade natural e herdável de alguns biótipos dentro de uma determinada população para sobreviver a um tratamento herbicida, que deveria controlar efetivamente a população sob uso normal”. Indo adiante, o grupo fez a subdivisão da resistência como cruzada – aquela na qual há a resistência a dois ou mais herbicidas com o mesmo mecanismo de ação e a múltipla em que a resistência ocorre a vários herbicidas com base em dois ou mais mecanismos de ação.

A origem da resistência pode ser devido à mutação ou à mudança na população de plantas daninhas, pela expressão de genes inativos pré-existentes na população suscetível (CHRISTOFFOLETI; LÓPEZ-OVEJERO, 2008). Ou seja, o herbicida não provoca, por si, o aparecimento de resistência, mas sim, funciona como agente de seleção, que elimina as plantas suscetíveis, restando somente as plantas resistentes.

Existem três mecanismos básicos responsáveis pela resistência de plantas daninhas a herbicidas: 1) Perda de afinidade do herbicida pelo local de ação na enzima alvo. Isto ocorre devido à mudança de composição ou de conformação da enzima (Exemplo são o picão-preto e leiteira resistentes aos herbicidas inibidores da enzima ALS); 2) Metabolização e desintoxicação do herbicida por meio de ação enzimática; e 3) Redução da concentração do herbicida no local de ação devido a: redução da absorção, redução da translocação ou mesmo devido ao sequestro do herbicida, especialmente nos vacúolos das células.

Mundialmente há relatos da existência de 400 biótipos resistentes em 65 culturas e em 61 países, distribuídos em 217 espécies sendo que 88 são monocotiledôneas e 129 são dicotiledôneas, segundo o *Herbicide Resistance Action Committee* (HRAC-BR, 2013).

No Brasil, há registros de casos de resistência para 31 biótipos, sendo 11 dicotiledôneas e oito monocotiledôneas, dentre essas *Amaranthus ssp.*, à *Brachiaria plantaginea*, *Bidens pilosa*, *Bidens subalternans*, *Conyza spp.*, *Digitaria insularis*, *Eleusine indica*, *Euphorbia heterophylla*, *Fimbristylis miliceae*, *Lolium multiflorum*, *Sagittaria montevidensis*, *Cyperus difformis*, *Echinochloa spp.*. Dentre as espécies relatadas mundialmente resistentes a glyphosate encontra-se o *S. halepense* detectado na Argentina em 2005 (**Tabela 2**).

**Tabela 2** - Resistência de *Sorghum* spp. relatada mundialmente no site da *International Survey of Herbicides Resistant Weeds* (<http://www.weedscience.org/Summary/Species.aspx?WeedID=166>).

<b>País</b>	<b>Primeiro relato</b>	<b>Cultura</b>	<b>Ingrediente ativo</b>	<b>Sítio de ação</b>
<i>Sorghum halepense</i>				
Argentina	2005	Soja	Glyphosate	Glycines (G/9)
Chile	2009	Milho	Nicosulfuron	ALS inhibitors (B/2)
Grécia	2005	Algodão	propaquizafop, and quizalofop-P-ethyl	ACCCase inhibitors (A/1)
Israel	2006	Algodão	fluzifop-P-butyl, and haloxyfop-P-methyl	ACCCase inhibitors (A/1)
Itália	2006	soja e tomate	fluzifop-P-butyl, haloxyfop-P-methyl, propaquizafop, and quizalofop-P-ethyl	ACCCase inhibitors (A/1)
México	2009	Milho	foramsulfuron, nicosulfuron, primisulfuron-methyl, and rimsulfuron	ALS inhibitors (B/2)
<b>País</b>	<b>Primeiro relato</b>	<b>Cultura</b>	<b>Ingrediente ativo</b>	<b>Sítio de ação</b>
Estados Unidos	1991	algodão e áreas agricultáveis	fenoxaprop-P-ethyl, fluzifop-P-butyl equizalofop-P-ethyl	ACCCase inhibitors (A/1)
Estados Unidos	1991	Soja	fluzifop-P-butyl	ACCCase inhibitors (A/1)
Estados Unidos	1992	Algodão	Pendimethalin	Dinitroanilines and others (K1/3)
Estados Unidos	1995	algodão e soja	fluzifop-P-butyl, and quizalofop-P-ethyl	ACCCase inhibitors (A/1)
Estados Unidos	1995	Soja	Sethoxydim	ACCCase inhibitors (A/1)
Estados Unidos	1997	Algodão	Clethodim e fluzifop-P-butyl	ACCCase inhibitors (A/1)
Estados Unidos	2000	Milho	imazethapyr, and nicosulfuron	ALS inhibitors (B/2)
Estados Unidos	2005	milho e soja	Nicosulfuron	ALS inhibitors (B/2)
Estados Unidos	2007	Soja	Glyphosate	Glycines (G/9)
Estados Unidos	2008	Soja	Glyphosate	Glycines (G/9)
Estados Unidos	2010	Soja	Glyphosate	Glycines (G/9)
Venezuela	2010	Milho	foramsulfuron, iodosulfuron-methyl-sodium, and nicosulfuron	ALS inhibitors (B/2)
<i>Sorghum sudanese</i>				
Bolívia	1999	Soja	fenoxaprop-P-ethyl, fluzifop-P-butyl, haloxyfop-P-methyl, and quizalofop-P-tefuryl	ACCCase inhibitors (A/1)
<i>Sorghum bicolor</i> ( <i>Shattercane</i> )				
Estados Unidos	1994	Milho	primisulfuron-methyl	ALS inhibitors (B/2)
Estados Unidos	1996	Milho	nicosulfuron, primisulfuron-methyl	ALS inhibitors (B/2)
Estados Unidos	1998	Milho	Imazethapyr	ALS inhibitors (B/2)
Estados Unidos	2000	Milho	imazethapyr, nicosulfuron, primisulfuron-methyl	ALS inhibitors (B/2)
Estados Unidos	2001	milho e soja	imazamox, imazethapyr, nicosulfuron, oxasulfuron, primisulfuron-methyl	ALS inhibitors (B/2)
Estados Unidos	2003	Milho	imazapyr, imazethapyr, nicosulfuron	ALS inhibitors (B/2)
Estados Unidos	2006	milho e soja	foramsulfuron, nicosulfuron	ALS inhibitors (B/2)

## FLUXO DE POLÉN

### Avaliação do risco do fluxo gênico de *Sorghum bicolor* (L.) Moench

O Sorgo (*Sorghum bicolor* L.) é uma espécie de planta com flor perfeita, isto é, cada espiguetta tem os dois órgãos reprodutivos masculinos e femininos, e a polinização ocorre com elevada percentagem de autopolinização e uma pequena percentagem de polinização cruzada, que pode levar a transferência de genes para outras plantas de sorgo.

Polinização cruzada na cultura do sorgo cultivado (granífero, forrageiro e sorgo sacarino) pode variar de pequena porcentagem (2-3%) a uma percentagem moderada (10-15%) para as plantas ao lado do sorgo em questão (menos do que um metro) (ELLSTRAND; FOSTER, 1983; SCHMIDT; BOTHMA, 2006). O cruzamento entre plantas de capim-sudão (*Sorghum sudanense* L.) ocorre com taxa mais elevada (20-61%) (PEDERSEN et al., 1998).

Arriola e Ellstrand (1996) demonstraram que a hibridação entre o sorgo comum (*Sorghum bicolor*) e o capim-massambará (*Sorghum halepense* L.), um tetraplóide relativo ( $2n = 40$ ), pode ocorrer com taxa de 2% a uma distância de 100 m da cultura de origem.

O fluxo gênico é influenciado por diversos fatores, tais como a variação de épocas de floração, taxa de cruzamento de diferentes tipos de sorgo (sorgo cultivado, capim-sudão, sorgo-vassoura e sorgo selvagem), tamanhos populacionais, a distância entre população (genótipos), velocidade do vento, temperatura e humidade. As taxas de cruzamentos naturais de sorgo são altamente variáveis e podem atingir até 60% sob a condição ideal para o cruzamento (SCHERTZ; DALTON, 1980; ELLSTRAND; FOSTER, 1983; PEDERSEN, et al., 1988). A média das frequências de cruzamentos foi estimada em 6% (Schertz e Dalton, 1980) e alguns valores semelhantes foram relatados a partir de ensaios de campo na África do Sul e nos Estados Unidos da América (ARRIOLA, 1995; ARRIOLA; ELLSTRAND, 1996; SCHIMDT; BOTHMA, 2006).

### Fluxo gênico (fluxo de pólen) na produção de sementes

O fluxo de pólen na produção de sementes de sorgo tem sido de grande interesse nos últimos 100 anos. No entanto, em campos de produção de sementes híbridas, que utilizam a esterilidade citoplasmática masculina, o interesse tem sido intensificado durante os últimos 60 anos.

Cada estado nos Estados Unidos da América tem os seus próprios regulamentos sobre normas para produção de sementes de sorgo. As respectivas normas de certificação do estado do Texas (**Tabela 3**) resumem as normas de isolamento para vários tipos de produção de sementes de sorgo.

Esta informação pode ser útil no estabelecimento de distâncias de isolamento na avaliação de experimentos no campo com eventos transgênicos em sorgo.

**Tabela 3.** Padrões básicos de isolamento para certificação do Estado do Texas para cinco tipos de produção de sementes de sorgo.

Tipo de produção de sementes	Classe de sementes	Distância de isolamento (m)
Variedade de polinização aberta	genéticas	302
Sementes macho estéril (A)	genéticas	403
Linhagens polinizadoras (B&R)	genéticas	302
Variedade de polinização aberta	certificadas	302
Híbridos comerciais	certificadas	302

Fonte: [http://www.turnerseed.com/seedcatalog/wildlife/images/cert\\_RR\\_Sept2008.pdf](http://www.turnerseed.com/seedcatalog/wildlife/images/cert_RR_Sept2008.pdf)

A distância de isolamento para tipos graníferos não deve ser inferior a 302 m de qualquer tipo de sorgo cultivado que apresentem a mesma constituição genética para os loci associados a altura como os híbridos graníferos; 549 m entre tipos de sorgo com o mesmo número de cromossomos (exceto sorgo vassoura), mas com uma constituição genética diferente para altura (mais alto) e 762 m de sorgo vassoura, sorgo forrageiro, ou sorgo selvagem com o mesmo número de cromossomos.

Observa-se que as diferenças de isolamentos variam entre 302 e 762 m, com o máximo de 762 m para plantas altas de sorgo com maior frequência de polinização cruzada,



quando machos com esterilidade citoplasmática e linhagens femininas estão envolvidos e um máximo de 403 m para linhagens mantenedoras (macho fértil B) e linhagens R. Pedersen, Schmidt, Lindquist e Bernardo (2010) observaram uma taxa de cruzamento de 3,6% entre sorgo selvagem e sorgo cultivado adjacente, sendo que esta taxa diminuiu para 0,09% quando o sorgo cultivado foi separado por uma distância de 200 m ([http://www.ars.usda.gov/research/publications/publications.htm?seq\\_no\\_115=252825](http://www.ars.usda.gov/research/publications/publications.htm?seq_no_115=252825)).

### Fluxo gênico em sorgo transgênico

Snow e Gebisa (2007) estabeleceram que pesquisas sobre transformações genéticas de sorgo devem continuar objetivando encontrar soluções para os problemas mais complexos na produção de sorgo. Rabbi, et al. (2011) relataram o fluxo gênico mediado por pólen (PMGF) utilizando uma linhagem macho estéril com 50% de receptividade de pólen a uma distância de um metro da fonte de pólen. Esta receptividade diminuiu para 14% a uma distância de 10 m. A distância máxima de PMGF baseado em uma semente por planta de macho estéril foi de 203 m, com 95% de confiabilidade. Eles concluíram que na presença de auto-produção de pólen em alvos de plantas masculinas férteis, a possibilidade de polinização cruzada de longa distância (fluxo de pólen) pode ser muito baixa. Os resultados de Mutegi et al. (2012) indicaram que o fluxo gênico é assimétrico com maiores taxas de fluxo do sorgo cultivado para o sorgo selvagem do que o contrário.

Muraya et al. (2012) relataram que o próprio pólen (auto produzido) tem maior sucesso na fecundação das sementes do que o pólen cruzado, oriundo de outras fontes. O estudo mostrou que as estimativas publicadas de fluxo gênico derivados de estudos onde utilizou-se como fonte plantas macho estéril superestimou o fluxo de genes. Nesse sentido, a competitividade do pólen pode ser um fator importante que influencia as taxas de cruzamento. Estes resultados sugerem que a direção predominante de fluxo gênico é da cultura de sorgo cultivado para o sorgo selvagem, levando potencialmente a introgressão de genes de plantas cultivadas para plantas selvagens. Concluiu-se que, além de taxa de cruzamento e da quantidade de dispersão de pólen em relação à distância, a competição do pólen deve ser levada em consideração nas futuras tentativas de estimação de fluxo gênico mediado por pólen.

### Distâncias de Isolamento Recomendadas para Estudos de Transgenia em Campo

De acordo com a quantidade relativamente pequena de literatura disponível sobre o fluxo gênico de plantas de sorgo, seguem as distâncias de isolamento de sorgo recomendadas para experimentação de campo com eventos transgênicos em sorgo cultivado, garantindo que o risco de fluxo gênico seja muito próximo de zero (**Tabela 4**).

**Tabela 4** - Distâncias de isolamento recomendadas para estudos de transgenia em sorgo.

Tipo de evento transgênico	Distância mínima de isolamento	
	cultivado (m)	selvagem (m)
Resistência a herbicida	750	1500
Eventos que otimizam a capacidade e competitividade das plantas	400	400
Eventos que não alteram a competitividade das plantas	300	300

### **Descarte de material transgênico após o término dos experimentos de campo**

Após o término dos experimentos de campo, todos os resíduos de plantas acima do nível do solo devem ser cortadas e destruídas através de incineração. Considerando que o sorgo é uma planta perene, e que frequentemente produz perfilhos e rebrota após o corte, estas rebrotas das plantas devem ser destruídas através da remoção das raízes de cada planta, ou ainda com o uso de herbicidas apropriados. Após a remoção das plantas ou aplicação de herbicidas, a área deverá ser monitorada para a rebrota durante três meses. No caso de qualquer sobrevivência das plantas de sorgo, o tratamento acima deverá ser repetido e a área monitorada durante um período adicional de três meses. A área do experimento não deverá ser utilizada para o plantio de qualquer outra espécie de sorgo durante o período de um ano. A área deve ficar em pousio ou utilizada para o plantio de soja, monitorando o surgimento de plantas voluntárias de sorgo e, caso haja o surgimento de alguma planta de sorgo, esta deverá ser eliminada antes do florescimento.

### **Potenciais riscos do Fluxo Gênico**

A possibilidade da ocorrência de fluxo gênico entre plantas cultivadas e selvagens ou daninhas tem sido considerada em vários momentos na liberação de plantas geneticamente modificadas em função da possibilidade da geração de híbridos férteis. A transferência de genes nas culturas do milho (DOEBLEY, 1990; WILKES, 1977) e do sorgo (PATERSON et al., 1995) tem sido estudadas. Entretanto, a presença de sorgo cultivado com sorgo selvagem, em uma mesma área, não implicará necessariamente em fluxo gênico entre eles (EBER et al., 1994; JENCZEWSKI et al., 2003). A coexistência por longos períodos torna-se importante para que ocorra a transferência de genes do sorgo cultivado para o selvagem.

O primeiro relato de resistência a herbicidas para o gênero *Sorghum* ocorreu em 1991 para a espécie *halepense*, nos estados Mississipi e Kentucky nos Estados Unidos, com herbicidas que atuam na síntese da enzima ACCase. Em 1994 a resistência foi observada para a espécie *bicolor*, no estado de Nebraska, EUA, também para herbicidas inibidores da enzima ACCase. Na América do sul o primeiro relato ocorreu na Bolívia para a espécie *sudanense* para a mesma família de herbicidas inibidores da enzima ACCase.

### **REFERÊNCIAS**

- ARRIOLA, P. E. Crop to weed gene flow in sorghum: implications for transgenic release in Africa. **African Crop Science Journal**, v. 3, p. 153-160, 1995.
- ARRIOLA, P. E.; ELLSTRAND, N. C. Crop-to-weed flow in the genus *Sorghum* (*Poaceae*): Spontaneous interspecific hybridization between johnsongrass, *Sorghum halepense*, and crop sorghum, *S. bicolor*. **American Journal of Botany**, New York, v. 83, p. 1153-1160, 1996.
- CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F. Resistência das plantas daninhas a herbicidas: definições, bases e situação no Brasil e no mundo. In: CHRISTOFFOLETI, P. J. **Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas**. Piracicaba: Associação Brasileira de Ação à Resistência de Plantas Daninhas, 2008. p. 9-34.

- DAHLBERG, J. A.; HASH, C. T.; KRESOVICH, S.; MAUNDER, B.; GILBERT, M. Sorghum and pearl millet genetic resources utilization. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GENETIC IMPROVEMENT OF SORGHUM AND PEARL MILLET, 1996, Lubbock. **Proceedings...** Cali: Intsormil: Icrisat, 1996. p. 42-54.
- DE WET, J. M. J. Systematics and evolution of Sorghum sect. Sorghum (Gramineae). **American Journal of Botany**, New York, v. 65, p. 477-484, 1978.
- DOEBLEY, J. Molecular evidence for gene flow among Zea species. **BioScience**, Washington, v. 40, p. 443-448, 1990.
- DOGGETT, H. Mass selection systems for sorghum. **Crop Science**, Madison, v. 8, p. 391-393, 1968.
- DUARTE, J. de O. Mercado e comercialização: a produção do sorgo granífero no Brasil. In: RODRIGUES, J. A. S. (Ed.). **Cultivo do sorgo**. 7. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de produção, 2). Disponível em: <[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Sorgo/CultivodoSorgo\\_7ed/mercado.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Sorgo/CultivodoSorgo_7ed/mercado.htm)>. Acesso em: 10 mar. 2013.
- EBER, F.; CHEVRE, A. M.; BARANGER, A.; VALLEE, P.; TANGUY, X.; RENARD, M. Spontaneous hybridization between a male sterile oil seed rape and two weeds. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 88, p. 362-368, 1994.
- ELLSTRAND, N. C.; FOSTER, K. W. Impact of population structure on the apparent outcrossing rate of grain sorghum (*Sorghum bicolor*). **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 66, p. 323-327, 1983.
- HOUSE, L. R. **A guide sorghum breeding**. Patancheru: ICRISAT, 1985. 206 p.
- HUCK, G. L.; KREIKEMEIER, K. K.; BOLSEN, K. K. Effect of reconstituting field-dried and early-harvested sorghum grain on the ensiling characteristics of the grain and on growth performance and carcass merit of feedlot heifers. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 77, p. 1074-1081, 1999.
- IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/download>>. Acesso em: 09 mar. 2013.
- IGARASI, M. S.; ARRIGONI, M. B.; SOUZA, A. A. Desempenho de bovinos jovens alimentados com dietas contendo grão úmido de milho ou sorgo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 37, n. 3, p. 513-519, 2008.
- JENCZEWSKI, E.; RONFORT, J.; CHEVRE, A. M. Crop to wild gene flow, introgression and possible fitness effects of transgenes. **Environmental Biosafety Research**, v. 2, p. 9-24, 2003.
- LANDAU, E. C.; MENDES, S. M.; LONGO, L. A. Análise espaço-temporal da expansão do sorgo granífero no Brasil entre 1975 e 2008. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 27.; SIMPOSIO BRASILEIRO SOBRE A LAGARTA-DO-CARTUCHO, SPODOPTERA FRUGIPERDA, 3.; WORKSHOP SOBRE MANEJO E ETIOLOGIA DA MANCHA BRANCA DO MILHO, 2008, Londrina. **Agroenergia, produção de alimentos e mudanças climáticas: desafios para milho e sorgo: trabalhos e palestras**. [Londrina]: IAPAR; [Sete Lagoas]: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. 1 CD-ROM
- LIPINSKI, E. S.; KRESOVICH, S. Sugar crops as a solar energy converters. **Experientia**, Basel, v. 38, p. 13-17, 1982.

MURAYA, M. M.; GEIGER, H. H.; SAGNARD, F.; TOURE, L.; TRAORE, P. C. S.; TOGOLA, S.; VILLIERS, S. de; PARZIES, H. K. Adaptive values of wild x cultivated sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) hybrids in generations F-1, F-2, and F-3. **Genetic Resources and Crop Evolution**, Dordrecht, v. 1, p. 83-93, 2012.

MURTY, D. S.; TABO, R.; AJAYI, O. **Sorghum hybrid seed production and management**. Patancheru: ICRISAT, 1994. 67 p. (Information Bulletin, 41).

MUTEGI, E.; SAGNARD, F.; LABUSCHAGNE, M.; HERSELMAN, L.; SEMAGN, K.; DEU, M.; VILLIERS, S.; KANYENJI, B.; MWONGERA, C.; TRAORE, P.; KIAMBI, D. Local scale patterns of gene flow and genetic diversity in a crop-wild-weedy complex of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) under traditional agricultural field conditions in Kenya. **Conservation Genetics**, v. 13, n. 4, p.1059-1071, 2012.

OSAKI, M.; ALVES, L. R. A.; PAULENAS, V. P. Mercados de milho e soja. **Boletim do Leite**, 2010. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/leite>>. Acesso em: 08 mar. 2013.

PATERSON, A. H.; SCHERTZ, K. F.; LIN, Y. R. ; LIU, S. C.; CHANG, Y. L. The weediness of wild plants: molecular analysis of genes influencing dispersal and persistence of johnsongrass, *Sorghum halepense* (L.) **Proceedings of the National Academy Sciences**, Washington, v. 92, p. 6127-6131, 1995.

PEDERSEN, J. F.; TOY, J. J.; JOHNSON, B. Natural outcrossing of sorghum and sudangrass in the central Great Plains. **Crop Science**, Madison, v. 38, p. 937-939, 1998.

PINTO, E.; MELO, M.; MENDONÇA, M. L. **O Mito dos biocombustíveis**. 2007. Agência Brasil de Fato. Disponível em: <<http://www.brasildefato.com.br/v01/agencia/analise/o-mito-dos-biocombustiveis>>. Acesso em: 11 mar. 2013.

PLANO Nacional de Agroenergia 2006-2011. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento: Embrapa, Secretaria de Gestão Estratégica, 2005. 118 p

RABBI, I. Y.; PARZIES, H. K.; KIAMBI, D.; HAUSSMANN, B. I. G.; FOLKERTSMA, R.; GEIGER, H. H. Experimental studies on pollen-mediated gene flow in *Sorghum bicolor* (L.) Moench using malesterile bait plants. **Plant Breeding**, Berlin, v. 130, n. 2, p. 217-224, 2011.

RODRIGUES, J. A. S. Utilização de forragem fresca de sorgo (*Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*) sob condições de corte e pastejo. In: SIMPÓSIO DE FORRAGICULTURA E PASTAGENS, 1., 2000, Lavras. **Temas em evidência**. Lavras: UFLA, 2000. p. 179-201.

SANTOS, F. G.; CASELA, C. R.; WAQUIL, J. M. Melhoramento de sorgo. In: BORÉM, A. (Org.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2005. v. 1, p. 429-466.

SCHMIDT, M.; BOTHMA, G. Risk Assessment for transgenic sorghum in Africa: crop-to crop gene flow in *Sorghum bicolor* (L.) moench. **Crop Science**, Madison, v. 46, n. 2, p. 790-798, 2006.

SCHERTZ, K. F.; DALTON, L. G. Sorghum. In: FEHR, W. R.; HADLEY, H. H. (Ed.). **Hybridization of crop plants**. Madison: ASA, 1980. p. 577-588.

SILVA, A. V.; ALMEIDA, F. A. Cultura do sorgo granífero na Região do Brasil Central. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 25.; SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A

LAGARTA-DO-CARTUCHO, SPODOPTERA FRUGIPERDA, 1., 2004, Cuiabá. **Da agricultura familiar ao agronegócio**: tecnologia, competitividade e sustentabilidade: [resumos expandidos]. Sete Lagoas: ABMS: Embrapa Milho e Sorgo; Cuiabá: Empaer-MT, 2004. 1 CD ROM.

SNOWDEN, J. D. **The cultivated races of sorghum**. London: Adlard & Son, 1936.

TEIXEIRA, C. G.; JARDINE, J. G.; BEISMAN, D. A. Utilização do sorgo sacarino como matéria-prima complementar à cana-de-açúcar para obtenção de etanol em microdestilaria. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 17, n.3, p. 221-229, 1997.

TESSO, T.; KAPRAN, I.; GRENIER, C.; SNOW, A.; SWEENEY, P.; PEDERSEN, J. F.; MARX, D. B.; BOTHMA, G.; EJETA, G. The potential for crop-to-wild gene flow in sorghum in Ethiopia and Niger: a geographic survey. **Crop Science**, Madison, v. 48, p. 1425-1431, 2008.

TSUNECHIRO, A.; MARIANO, R. M.; MARTINS, V. A. Produção e preços de sorgo no estado de São Paulo, 1991-2001. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 1, n. 1, p. 15-24, 2002. Disponível em: <[http://www.abms.org.br/revista/revista\\_v1\\_n1/pdf/artigo\\_02\\_alfredo.pdf](http://www.abms.org.br/revista/revista_v1_n1/pdf/artigo_02_alfredo.pdf)>. Acesso em: 12 mar. 2013.

WILKES, H. G. Hybridization of maize and teosinte in Mexico and Guatemala and the improvement of maize. **Economic Botany**, New York, v. 31, p. 254-293, 1977.