

## Melhoramento do Milho-Doce



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

# **Documentos 154**

## **Melhoramento do Milho-Doce**

Flavia França Teixeira  
Rubens Augusto de Miranda  
Maria Cristina Dias Paes  
Sylvia Morais de Souza  
Elto Eugênio Gomes e Gama

Embrapa Milho e Sorgo  
Sete Lagoas, MG  
2013

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Milho e Sorgo**

Rod. MG 424 Km 45

Caixa Postal 151

CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG

Fone: (31) 3027-1100

Fax: (31) 3027-1188

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

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

**Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: Sidney Netto Parentoni

Secretário-Executivo: Elena Charlotte Landau

Membros: Dagma Dionísia da Silva, Paulo Eduardo de Aquino Ribeiro, Monica Matoso Campanha, Maria Marta Pastina, Rosângela Lacerda de Castro e Antonio Claudio da Silva Barros

Revisão de texto: Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica: Rosângela Lacerda de Castro

Tratamento de ilustrações: Tânia Mara Assunção Barbosa

Editoração eletrônica: Tânia Mara Assunção Barbosa

Foto(s) da capa: Flávia França Teixeira

**1ª edição**

1ª impressão (2013): on line

**Todos os direitos reservados**

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

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

---

Melhoramento do milho doce / Flávia França Teixeira ... [ et al. ] –  
Sete Lagoas : Embrapa Milho e Sorgo, 2013.

32 p. : il. -- (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 154).

1. Melhoramento vegetal. 2. Melhoramento genético. 3. Variedade. I. Teixeira, Flávia França. II. Série.

CDD 631.52 (21. ed.)

---

© Embrapa 2013

# **Autores**

## **Flavia França Teixeira**

Engenheira Agrônoma, Dra., Pesquisadora de Recursos Genéticos e Melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo, Rod. MG 425 km 65, Cx.Postal 151. 35701-970, Sete Lagoas, MG, flavia.teixeira@embrapa.br

## **Rubens Augusto de Miranda**

Economista, Dr. , Pesquisador de Economia da Embrapa Milho e Sorgo, Rod. MG 425 km 65, Cx.Postal 151. 35701-970, Sete Lagoas, MG, rubens.miranda@embrapa.br

## **Maria Cristina Dias Paes**

Nutricionista, Ph.D., Pesquisadora de Ciência de Alimentos da Embrapa Milho e Sorgo, Rod. MG 425 km 65, Cx.Postal 151. 35701-970, Sete Lagoas, MG, cristina.paes@embrapa.br

## **Sylvia Moraes de Sousa**

Bióloga, Ph.D., Pesquisadora de Biologia Molecular da Embrapa Milho e Sorgo, Rod. MG 425 km 65, Cx.Postal 151. 35701-970, Sete Lagoas, MG, sylvia.sousa@embrapa.br

## **Elto Eugênio Gomes e Gama**

Engenheiro agrônomo, Ph. D., Pesquisador da área de Melhoramento de Milho, gamaelto@hotmail.com

# Apresentação

O milho-doce é considerado um milho especial pois tem a concentração de açúcares no grão elevadas quando comparado ao milho comum. Essas variações são controladas geneticamente, o que faz com que os programas de melhoramento de milho-doce sejam conduzidos em separado dos programas de melhoramento do milho comum. Nesses programas, além da elevado teor do açúcar no grão, são considerados critérios agrônômico e de qualidade. O objetivo desse comunicado técnico é apresentar uma revisão sobre aspectos relevantes no melhoramento do milho-doce, tais como a importância econômica, mutantes de milho-doce utilizados, recursos genéticos e melhoramento e o programa de milho-doce na Embrapa

*Antonio Alvaro Corsetti Purcino*  
Chefe-Geral  
Embrapa Milho e Sorgo

# Sumário

<b>Introdução</b> .....	6
<b>Mutantes de Milho-Doce Utilizados no Melhoramento</b> .....	12
<b>Recursos Genéticos e Melhoramento</b> .....	14
<b>Resistência a Patógenos</b> .....	20
<b>Seleção de Genitores</b> .....	22
<b>Programa de Milho-Doce na Embrapa</b> .....	24
<b>Considerações Finais</b> .....	25
<b>Referências</b> .....	27

# Melhoramento do Milho-Doce

---

*Flavia França Teixeira*

*Rubens Augusto de Miranda*

*Maria Cristina Dias Paes*

*Sylvia Moraes de Souza*

*Elto Eugênio Gomes e Gama*

## Introdução

O milho pode ser empregado com finalidades especiais, além do milho comum, que é usado sobretudo para alimentação animal e alguns alimentos humanos processados, tais como cereais, fubá, etc. Dentre os usos especiais, destacam-se o milho-pipoca, doce, forrageiro, minimilho, verde e milhos com alta qualidade nutricional. Nesses casos, os programas de melhoramento devem considerar além dos aspectos agronômicos, os caracteres relacionados à especificidade do uso, exigidos pelos consumidores de cada tipo de milho especial.

Dentre os milhos especiais, o milho-doce difere do milho comum por conter um ou mais genes que alteram a concentração de açúcares e leva a modificações na textura da semente; caracteres sensoriais, como sabor, aroma, maciez e textura; aparência da planta e da espiga e viabilidade das sementes. Apesar disso, o milho doce não é considerado uma raça ou subespécie de *Zea mays* (L.) (TRACY, 2001). O objetivo dessa revisão é reunir informações sobre aspectos de importância para o melhoramento de milho-doce.

## Importância Econômica do Milho-Doce

Milho-doce é uma das hortaliças mais populares nos Estados Unidos e no Canadá e sua utilização está em contínuo crescimento no leste da Ásia e em vários países do continente europeu. Entretanto, não é hábito do brasileiro consumir milho-doce *in natura* (PEREIRA FILHO; CRUZ, 2002). Assim, no Brasil, o milho-doce se destina principalmente à produção de conservas (enlatamento).

Se compararmos o mercado de milho-doce com o de grãos do cereal, em qualquer lugar do mundo, ele pode se mostrar insignificante em termos relativos. Entretanto, ao analisarmos esse mercado em termos absolutos, não é difícil ver que o ele possui uma grande importância econômica. Segundo dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2010), em 2009, a produção de milho-doce no país atingiu a marca de 1,17 bilhão de dólares, sendo que o mercado para consumo *in natura* movimentou 835,8 milhões de dólares. Ou seja, o consumo *in natura* de milho correspondeu a 71% do mercado em 2009. O negócio de milho-doce para processamento no referido ano atingiu 335,6 milhões de dólares, com a produção conservas respondendo por 47% desse valor e a produção para congelamento com os 53% restantes. Cabe ressaltar que esses são valores dos preços recebidos pelos produtores, mas ao se considerar a cadeia agroindustrial, o mercado de milho-doce para processamento certamente movimenta mais de um bilhão de dólares.

A Tabela 1 apresenta informações da área plantada com milho-doce nos Estados Unidos e as suas respectivas finalidades, nas



últimas cinco décadas. Um ponto importante é que a área total se manteve relativamente estável ao longo dos anos, as modificações ocorreram em relação às áreas para as determinadas finalidades. A área de milho-doce para produção de conservas foi reduzida 46% em 50 anos, enquanto a área de milho para o congelamento da produção aumentou 158%. Tais dados revelam duas informações importantes: 1) está ocorrendo um efeito de substituição dentro da indústria de processamento de milho-doce, com a produção de conservas sendo substituída pelo congelamento; e 2) a área de milho-doce para consumo *in natura* consiste em apenas 38% da área total e, somado ao fato de que esse mercado responde por 71% das receitas, é um indicativo de que este é um nicho mais lucrativo para os produtores, dado que o produto possui um maior valor de mercado.

**Tabela 1.** Área plantada de milho-doce nos EUA e suas respectivas finalidades (hectares) – 1960-2009.

Ano	Processamento		Fresco	Total
	Congelado	Conserva		
1960	30.813,44	135.876,16	81.003,64	247.693,24
1970	36.924,32	130.477,54	76.891,95	244.293,81
1980	45.515,99	106.406,31	73.027,11	224.949,41
1990	82.051,80	116.280,86	78.267,91	276.600,57
2000	79.441,52	106.879,81	96.802,91	283.124,24
2009	80.210,44	73.371,10	94.516,39	248.097,94

Fonte: USDA (2010)

Apesar de a área plantada com milho-doce nos Estados Unidos ter se mantido estável ao longo das últimas cinco décadas, o mesmo não se pode dizer da produção. Na Tabela 2, observa-se que em 1960 produziu-se 1,9 milhões de toneladas de milho-doce no país, enquanto que em 2009 a quantidade produzida

passou para 4,38 milhões de toneladas, um aumento de quase 130%. Isso decorreu do aumento de produtividade. Nesse sentido, em relação ao milho-doce destinado ao processamento, a produtividade passou de 3,07 toneladas por hectare em 1960 para 7,73 toneladas por hectare em 2009.

**Tabela 2.** Produção de milho doce nos EUA e suas respectivas finalidades (1.000 t) – 1960-2009.

Ano	Processamento		Fresco	Total
	Congelado	Conserva		
1960	255,1	1.006,8	645,0	1.906,8
1970	436,8	1.276,1	665,6	2.378,6
1980	698,0	1.259,7	725,5	2.683,2
1990	1309,8	1.521,2	886,8	3.717,7
2000	1322,7	1.544,0	1.322,2	4.189,0
2009	1563,7	1.370,2	1.443,9	4.377,8

Fonte: USDA (2010)

A Tabela 3 apresenta o consumo *per capita* do milho-doce nos EUA a partir de 1960, tais dados auxiliam no entendimento da mudança de finalidade do milho-doce para processamento, informada nas Tabelas 1 e 2. O consumo de milho-doce processado tem convergido para o cereal congelado. Nesse sentido, o consumo *per capita* de milho-doce em conserva tem caído ao longo do tempo, enquanto ocorreu um aumento de 238% do consumo *per capita* do milho-doce congelado. São justamente as mudanças ocorridas nas preferências dos consumidores e da indústria de processamento que têm levado à mudança do perfil produtivo do milho-doce nos EUA nas últimas décadas.

No Brasil, assim como em outros países, o milho-doce é considerado, juntamente com o milho-verde, um produto hortícola.

Segundo dados da Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudas (2011), em 2010, o valor da produção de milho-doce no país atingiu a cifra de R\$ 120,8 milhões. Entretanto, ao se considerar a cadeia agroindustrial na qual esse milho está inserido, o volume monetário movimentado ultrapassa os R\$ 500 milhões.

**Tabela 3.** Consumo *per capita* do milho-doce nos EUA (kg) – 1960-2010.

Ano	Processamento		Fresco	Total
	Congelado	Conserva		
1960	1,3	5,9	3,8	11,0
1970	2,6	6,5	3,5	12,6
1980	2,9	5,9	2,9	11,7
1990	3,9	5,0	3,0	11,9
2000	4,1	4,1	4,1	12,3
2010*	4,4	3,4	4,1	11,8

Fonte: USDA (2010)\* Projeção

A Tabela 4 apresenta informações sobre o mercado de sementes de milho-doce no Brasil; nela observa-se que a área plantada e a quantidade de sementes vendidas no país na última década não aumentaram, mas têm se mantido em patamares relativamente estáveis, assim como nos Estados Unidos. Entretanto, é fato que a produção tem crescido e isso se deve ao melhoramento genético das novas cultivares, que tem levado ao aumento da produtividade. Apesar das poucas informações disponíveis, um indicativo disso é o aumento do faturamento do setor de sementes, apresentado também na Tabela 4. Entre 2001 e 2009, o faturamento do setor de sementes de milho-doce aumentou 210,6%, o que é reflexo do uso de sementes com alta tecnologia.

Atualmente, o mercado brasileiro de sementes de milho-doce para produção de conserva, destino de quase 100% da produção, é dominado pela empresa anglo-suíça Syngenta Seeds Ltda, com a cultivar híbrida Tropical Plus. Sobre isso, a empresa destaca em seu relatório de sustentabilidade de 2010 o fato de que todo o milho em conserva comercializado nos supermercados brasileiros possuía genética da empresa.

**Tabela 4.** Mercado de sementes de milho doce do Brasil.

Ano	Segmento	Quantidade de sementes vendidas (kg)	Faturamento (R\$)	Área plantada (ha)
2001	Híbrido	354.880	3.523.232,00	44.360*
	Variedade	6.610	96.945,00	826*
2002	Híbrido	300.000	4.500.000,00	37.500*
	Variedade	4.350	8.700,00	544*
2006	Híbrido	1.621.295**	8.106.475,00	32.426
	Variedade	1.452	8.714,00	182
2007	Híbrido	296.135	8.884.075,00	35.536
	Variedade	2.310	13.860,00	289
2008	Híbrido	310.098	9.302.944,00	37.212
	Variedade	4.743	28.458,00	593
2009	Híbrido	340.923	10.943.634,00	40.911
	Variedade	5.216	62.592,00	652

Fonte: Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudas (2002, 2003, 2007, 2008, 2009, 2010)\* Estimativa da área plantada em hectares a partir da regra de 8 kg de semente para cada hectare. \*\* Esse valor destoa consideravelmente em relação aos demais anos, sem ocorrer uma respectiva modificação no faturamento e na área plantada, o que nos leva a crer em algum erro.

## Mutantes de Milho-Doce Utilizados no Melhoramento

O endosperma do milho constitui a principal fonte de nutrientes para a germinação do embrião. A maioria do carbono e nitrogênio utilizados nos estágios iniciais do desenvolvimento deriva de amido e de proteínas de reserva. As reservas nutricionais compõem aproximadamente 90% do peso seco do endosperma maduro. A produção e o acúmulo de proteínas e de amido iniciam de 10 a 14 dias após a polinização (DAP) nas células da camada subaleurônica. Esse acúmulo ocorre segundo um gradiente crescente da região externa para o interior, coincidindo com diversos eventos de diferenciação celular, provavelmente disparado por um rápido decréscimo na razão entre os reguladores hormonais citocinina e auxina (LUR; SETTER, 1993). Na semente madura, o endosperma é diferenciado em duas partes: o endosperma amiláceo e a camada de aleurona. As células da região central do endosperma acumulam amido de forma abundante, e as regiões periféricas são mais ricas em proteínas de reserva. No final da maturação da semente, o endosperma amiláceo transforma-se num tecido mole e quebradiço, enquanto a região proteica torna-se dura e translúcida (SHEWRY; CASEY, 1999).

O sabor adocicado do milho-doce se deve a variações nas quantidades de amido e açúcares no endosperma. Para cultivares normais, o grão do milho desenvolvido e maduro é formado de apenas 3% de açúcares, enquanto o milho-doce tem de 9 a 14% de açúcares no grão, sendo que as cultivares conhecidas como superdoce apresentam entre 15 e 25% de açúcares no grão. Essas variações são controladas geneticamente, os alelos que condicionam o fenótipo doce são recessivos para a maioria dos

mutantes empregados comercialmente. Já foram identificados quatorze genes relacionados ao milho-doce e oito desses locos já foram usados comercialmente (Tabela 5) (TRACY, 2001).

**Tabela 5.** Genes empregados em cultivares comerciais de milho-doce. (Tabela adaptada de TRACY, 2001).

Gene	Símbolo do Gene	Fenótipo
<i>Amylose-extender1</i>	<i>ae1</i>	Grãos vítreos, manchados com alto teor de amilose.
<i>Brittle1</i>	<i>bt1</i>	Grãos colapsam na fase madura e possuem aparência angular, translúcida e frágil.
<i>Brittle2</i>	<i>bt2</i>	Grãos inflados, transparentes, sementes podem entrar em colapso quando secas, tornando-se angulares e quebradiças.
<i>Dull1</i>	<i>du1</i>	Grãos vítreos e manchados.
<i>Shrunken2</i>	<i>sh2</i>	Grãos inflados, transparentes, sementes podem entrar em colapso quando secas, tornando-se angulares e quebradiças.
<i>Sugary1</i>	<i>su1</i>	Enrugado e translúcido.
<i>Sugary enhancer1</i>	<i>se1</i>	Observado apenas em linhagens que contenham também os alelos <i>su1</i> ; grãos inflados de cores claras variando de acordo com a constituição genética.
<i>Waxy1</i>	<i>wx1</i>	Grãos opacos, o endosperma se torna avermelhado como contado com iodo.

Dentre os vários genes que conferem o fenótipo do milho-doce, os de maior potencial comercial, conhecidos como superdoce, são associados *shrunk-2 (sh2)* (YOUSEF; JUVIK, 2002) e *brittle-2 (bt2)* (BREWBAKER; BANAFUNZI, 1975; BREWBAKER, 1977), ou ainda combinações com os genes *ae-1*, *du-1* e *wx-1* empregadas por Garwood e Creech (1979).

## **Recursos Genéticos e Melhoramento**

O milho-doce teve origem nas Américas Central e do Sul no período pré-colombiano. O centro de dispersão do milho-doce na América do Sul está localizado no Peru, em área de elevada altitude (2.400 a 3.400 m), enquanto o centro de dispersão Meso Americano está localizado em áreas do México, de altitude moderada (1.000 e 1.500 m). Entretanto, a origem das cultivares de milho-doce moderno não é clara. Possivelmente, o milho-doce cultivado atualmente é derivado de mutação recente; dentre as razões para essa hipótese está a menor vantagem adaptativa dos indivíduos com o fenótipo doce por causa da menor viabilidade de sementes (TRACY, 2001). Hendry (1930) sugeriu que por causa da menor capacidade de acúmulo de reservas na semente, o milho-doce tem menor capacidade de sobrevivência em estado selvagem, o que levou à suposição de que esses mutantes de endosperma são recentes.

O número de variedades de milho-doce disponíveis nas coleções-elite e nos bancos de germoplasma é pequeno quando comparado ao milho-comum. Tracy (2001) acredita que existam apenas cerca de 300 variedades de milho-doce com polinização aberta no mundo. Entretanto, essa base genética pode ser ainda mais estreita quando se considera que esses genótipos foram

derivados de programas de melhoramento com coleções bastante reduzidas. Tracy (2001) indica que apenas três variedades, denominadas Golden Bantan, Evergreens e Country Gentleman formaram a fonte inicial para o desenvolvimento dos programas de melhoramento de milho-doce. No Brasil, a situação é similar, uma vez que no banco ativo de germoplasma de milho (TEIXEIRA et al., 2011) existem apenas 20 acessos classificados como milho-doce, que são originários, na maioria, de introduções de genótipos melhorados.

Nos Estados Unidos, foi verificado que as cultivares de milho-doce existentes possuíam base genética estreita (GARWOOD et al., 1976). A princípio, nos programas de melhoramento desse milho procurou-se derivar linhagens de híbrido simples entre linhagens-elites dele. Essas linhagens eram usadas em programas de retrocruzamentos visando a conversão de linhagens de milho-comum em milho-doce. Ainda assim, a base genética do material continuava estreita. Para contornar essa situação, foram criados compostos de milho-doce de ampla base genética para alta produção, alta qualidade, resistência a pragas e doenças (ITO; BREWBALKER, 1981; BREWBAKER; BANAFUNZI, 1975). O material Hawaiian Supersweet # 9 é um exemplo de composto de ampla base genética (BREWBAKER, 1977).

A produção de milho-doce é em sua maioria voltada para a indústria de milho-verde em conserva, embora ele seja usado como milho-verde *in natura* em outros países e tenha potencial para esse uso no Brasil. Segundo Pereira Filho e Cruz (2002), o produtor de milho-doce tem as seguintes exigências: possibilidade de plantio durante todo o ano; produção em campo superior a 12 ton/ha; tolerância a doenças, especialmente mancha por *Phaeosphaeria*, ferrugem, helmintosporiose e enfeza-



mento; tolerância à lagarta-da-espiga e à lagarta-do-cartucho; ciclo variando entre 90 e 110 dias; uniformidade de maturação de espigas; longevidade no período de colheita com espigas apresentando teor de umidade entre 68 e 75%, adequado para envasamento e para consumo *in natura*; índice de espiga igual a “1” e espigas com cerca de 20 cm de comprimento, de formato cilíndrico e com número de fileiras igual ou superior a 14; resistência ao acamamento e quebramento de plantas; plantas de porte médio; bom empalhamento, sempre cobrindo a ponta sem ultrapassar o total de 12 camadas de palha; pedúnculo firme; grãos profundos e de coloração amarela intensa; brix acima de 30, exigido pelo mercado consumidor; espessura do pericarpo acima de 45 micras e rendimento industrial igual ou maior que 39%. Uma textura muito tenra, apesar de desejável pelo consumidor, pode ser prejudicial, já que fatores ambientais podem provocar o rompimento do pericarpo, depreciando o produto e expondo o endosperma à infestação por patógenos.

Importantes subsídios para o melhoramento do milho-doce foram apresentados por diversos autores. Dentre esses estudos, destacam-se elucidações sobre a herança de caracteres relacionados a produtividade, qualidade de produto e resistência a estresses.

Dentre os estudos sobre herança de caracteres em milho doce, está o trabalho pioneiro de Hansen et al. (1977), que trabalhando com linhagens de milho-doce, encontraram herança quantitativa para o controle de diversos caracteres, tendo sido altamente significativos os efeitos das capacidades geral e específica de combinação. Nesse estudo, houve a predominância dos efeitos aditivos para data de florescimento masculino, alturas de planta e de espiga, número de fileiras de grãos na

espiga, comprimento do pedúnculo da espiga, comprimento da palha e comprimento entre a ponta da espiga e a última fileira de grãos e houve predominância de efeitos não aditivos para o comprimento da espiga. Os autores relatam também a presença da interação de genótipos por ambientes.

Dialelos entre famílias  $S_3$  de milho-doce portadoras do alelo *bt* foram empregados por Teixeira et al. (2001) no estudo da herança do peso de espigas. Os autores encontraram a predominância dos efeitos aditivos, o que levou à indicação do emprego da formação de compostos visando o melhoramento intrapopulacional. Características agrônômicas e o teor de proteína nos grãos foram avaliados em dialelo entre variedades de milho-doce e milho-comum por Bordallo et al. (2005). Os autores encontraram efeitos aditivos e não aditivos para altura de planta, peso médio de espigas, comprimento de espigas e teor de proteína nos grãos, o que levou à sugestão de aplicabilidade dos métodos intra e interpopulacionais para o melhoramento desses caracteres.

Efeitos aditivos e de dominância foram identificados no controle da produtividade e de caracteres indicativos da qualidade industrial por meio de emprego da análise dialélica cujos genitores foram oito cultivares de milho do tipo superdoce. Os efeitos de dominância foram prevaletentes para o florescimento, alturas de planta e de espiga e do peso de espigas (ASSUNÇÃO et al., 2009).

A herança de diversos caracteres relacionados à aparência de espigas do milho-doce foi revista por Tracy (2001), que relatou a presença de efeitos significativos das capacidades geral e específicas de combinação para número de fileiras de grãos na

espiga, peso da primeira espiga e comprimento de espigas em análises dialélicas envolvendo sete linhagens de milho-doce, assim como o efeito de recíprocos com elevada magnitude para a maioria dos caracteres relacionados à qualidade de espigas. Tracy (2001) relata também que a maioria dos caracteres relacionados à qualidade apresentaram herança poligênica e com frequente interação genótipo por ambientes. Desta forma, deve ser considerado que apesar da herança simples dos alelos que condicionam o caráter doce e da sua fácil identificação, os demais fatores relacionados à qualidade da espiga são de herança complexa e necessitam de avaliação específica.

A textura do pericarpo é fator primário da qualidade. Esse caracter é controlado geneticamente e é de natureza quantitativa, podendo ser melhorado por meio de seleção (GARWOOD; CREECH, 1979). A seleção massal para maciez do grão praticada em populações de polinização aberta permitiu a obtenção de ganhos elevados para a espessura do pericarpo e sugeriram a herdabilidade alta para esse caracter (ITO; BREWBAKER, 1981).

Famílias endogâmicas derivadas das obtidas a partir de cultivares de milho-doce BR 400, BR 401 e BR 402, desenvolvidas para o mercado brasileiro, foram empregadas por Cardoso et al. (2002) para obter estimativas da herdabilidade para caracteres relacionados a qualidade. Essas estimativas foram elevadas para a espessura do pericarpo e medianas para sólidos solúveis e percentual de empalhamento da espiga, o que sugeriu o potencial de ganhos com a seleção para esses caracteres, especialmente para a espessura do pericarpo. Os autores destacaram a variedade BR 400 por causa da menor espessura do pericarpo e do maior conteúdo de sólidos solúveis e a variedade BR 402 pela melhor cobertura da espiga pela palha.

A análise dialélica envolvendo linhagens-elite norte-americanas portadoras do alelo *sh2* foi empregada por Solomon et al. (2012) para quantificar componentes de variância genética e efeitos genéticos de caracteres relacionados à qualidade e ao desempenho agrônômico. Nesse estudo, a variância aditiva foi prevaiente em relação à variância de dominância para caracteres relacionados à qualidade de espigas, como, por exemplo, índice de espigas e percentual de fileiras de espigas totalmente cobertas por grãos, sabor e percentual de sólidos solúveis. Já para caracteres agrônômicos, a variância de dominância foi preponderante. Nesse estudo, foi feita a avaliação do sabor e da maciez por meio de testes de degustação com a atribuição de notas, sendo possível verificar que o sabor e a maciez estiveram altamente correlacionados. Já os efeitos aditivos para sabor, maciez e cor dos grãos não estiveram correlacionados com caracteres de produtividade. Isso mostra que a caracterização e seleção de linhagens para caracteres relacionados à qualidade poderá ser útil na identificação de genitores favoráveis para o desenvolvimento de híbridos.

O estudo do efeito de recíprocos tem especial relevância para o milho-doce, tendo em vista a importância de caracteres relacionados à qualidade de grãos e a viabilidade e vigor de sementes nesse tipo de milho. O efeito de recíprocos foi estudado por Ordás et al. (2008) em caracteres relacionados à qualidade e ao desempenho agrônômico. De uma maneira geral, o efeito do recíproco esteve presente para caracteres relacionados à emergência de plântulas e com menor relevância para caracteres relacionados à qualidade, como número de fileiras de grãos por espigas. Os autores ressaltam também a influência do “background” genético na manifestação do efeito de recíprocos.

A tolerância ao frio é um dos estresses abióticos de maior importância para o milho-doce e, por essa razão, já foi o foco de alguns estudos. A cultivar norte-americana “US Corn Belt population AS-3(HT) C3” e a população espanhola “Oroso”, ambas de milho-comum, foram indicadas por Revilla et al. (1998) como os melhores genitores doadores de alelos favoráveis para o melhoramento de milho-doce quanto a tolerância ao frio. O controle genético da tolerância ao frio em milho-doce foi estudado por Revilla et al. (2003). Nesse estudo foi conduzido um dialelo com 15 variedades de milho-doce e foram considerados caracteres relacionados à emergência de plântulas, como o peso do caulículo e da radícula, avaliados em condições de temperatura controladas e alternadas entre 10 e 19 °C. A capacidade geral de combinação esteve presente para o número de dias para emergência, e para os pesos do caulículo e da radícula, e ainda houve os efeitos da capacidade específica de combinação e do recíproco para o peso do caulículo. Nesse estudo, a cultivar de milho-doce norte-americana “Howling Mob” foi indicada como fonte de tolerância ao frio para programas de melhoramento para regiões de clima temperado.

## **Resistência a Patógenos**

Os estudos de resistência aos patógenos em milho-doce merecem um enfoque diferenciado quando comparados a esses estudos conduzidos com o milho-comum. De uma maneira geral, as avaliações da reação das plantas aos patógenos são conduzidas nas fases finais do ciclo do milho-comum, uma vez que são nessas fases que os malefícios causados pelos patógenos afetam mais a produção e que os sintomas são mais quantificáveis. O milho-doce é colhido antes da fase final de maturação, o que faz com que os danos à produção provocados pelos agen-

tes causais sejam mais difíceis de serem quantificados. Possivelmente, a colheita precoce também pode ser considerada como uma forma de escape dos prejuízos mais pronunciados.

A ferrugem-comum, causada pelo fungo *Puccinia sorghi*, é a principal doença do milho-doce nos EUA. Dezenove híbridos de milho-doce foram avaliados quanto a resistência à ferrugem-comum e caracteres relacionados a mudanças de fases no estágio vegetativo do desenvolvimento. Embora não tenham sido encontradas correlações entre os caracteres indicativos de mudanças de fases e de severidade dos sintomas dos patógenos, alguns híbridos mostraram rápida transição entre as fases jovens e adultas, mas para outros a transição foi mais lenta entre essas fases (CHANDLER et al., 2007).

Os prejuízos causados pelos patógenos podem ter um efeito menor no milho-doce quando comparado ao milho-comum, já os prejuízos causados pelos insetos poderão ter um efeito mais danoso no milho-doce, especialmente quando se tratam de pragas das espigas.

O controle genético da resistência às duas principais pragas do milho-doce na Europa, as brocas *Sesamia nonagrioides* e *Ostrinia nubilalis*, foi estudado por Velasco et al. (2004). Os efeitos aditivos e não aditivos estiveram presentes no controle genético de ambas as pragas, embora a predominância de cada fator tenha variado em diferentes cruzamentos. Os autores recomendam também o plantio precoce no controle dos danos causados por esses insetos, uma vez que, nos plantios tardios, os danos podem atingir níveis tão altos que o uso de cultivares resistentes não é suficiente para controlar as pragas.

O efeito de xênia (RAMALHO et al., 2000) também deve ser considerado nos programa de melhoramento de milho-doce, pois o fenótipo poderá ser mascarado caso haja a polinização com outros mutantes mesmo que sejam doces, porém de genes diferentes.

## Seleção de Genitores

O melhoramento de milho-comum está estruturado para o desenvolvimento de híbridos, sintéticos e variedades de forma a capitalizar os efeitos da heterose de forma favorável. No Brasil, alguns grupos heteróticos já foram identificados (PARENTONI et al., 2001), sendo que os cruzamentos entre genótipos contendo grãos do tipo dentado com aqueles de grãos tipo duro têm sido a combinação heterótica mais empregada comercialmente no país. Já para o milho-doce, não existem padrões heteróticos definidos, apesar de a exploração da heterose já ter sido identificada em muitos estudos e ser um fator preponderante no desenvolvimento de cultivares de milho-doce, especialmente quando se considera que no mercado de sementes brasileiro existem apenas híbridos de milho-doce.

Cultivares portadoras de alelos *su1* e integrantes de coleções-elite de melhoramento de diferentes instituições norte-americanas e espanhola foram cruzadas entre si e avaliadas para caracteres agrônômicos e de tolerância ao frio na fase de germinação com o objetivo de estabelecer padrões heteróticos. Nesse estudo, foram separadas em grupos heteróticos as cultivares norte-americanas "Golden Bantam" e "Stowell's Evergreen", assim como "Golden Bantan" e "Country Gentleman", pois, segundo Revilla et al. (2006), essas cultivares apresentaram hete-

rose suficiente para serem consideradas de grupos heteróticos distintos.

O emprego da seleção assistida por marcadores moleculares (SAMM) no melhoramento do milho-doce foi considerado em alguns estudos. Yousef e Juvik (2001) compararam SAMM e a seleção fenotípica em caracteres de importância em milho-doce, como emergência, concentração de sacarose nos grãos, maciez do grão e notas de preferência de consumo. Para tanto, os autores usaram três populações, sendo duas homozigóticas para os alelos que condicionam o acúmulo de açúcar no endosperma, uma população portadora do alelo *su1* e a outra portadora do alelo *sh2* e uma terceira população segregante para o gene *Sel*. A eficiência das metodologias foi baseada nos ganhos a cada ciclo e nos custos da avaliação. Os autores concluíram que a SAMM foi mais apropriada para caracteres de difícil mensuração, compensando o alto custo da metodologia e sugerem que a incorporação da SAMM em programas de milho-doce pode aumentar o progresso com a seleção e ser economicamente viável. A emergência em milho-doce é uma das características limitantes sob o ponto de vista comercial; essa limitação motivou o estudo de Yousef e Juvik (2002), que objetivou buscar QTLs associados à emergência de plântulas em população obtida pelo cruzamento de duas linhagens portadoras do alelo *sh2* e segregantes para emergência e qualidade para consumo. Os autores encontraram três QTLs localizados nos cromossomos 1, 2 e 8 associados à emergência em condições de campo e sugerem o potencial de uso desses QTLs na SAMM em programas de melhoramento de milho-doce.

Os marcadores microssatélites foram usados por Lopes (2012) para estimar divergência genética entre 22 genótipos de milho-



doce, dentre eles estão acessos do banco de germoplasma de milho e genótipos-elite dos programas de melhoramento de milho-doce da Universidade Estadual de Maringá. As distâncias genéticas entre os genótipos estimadas com base na genotipagem com 22 marcadores microssatélites variaram de 0,103 a 0,645. Com base nessas distâncias, foi gerado um dendrograma e foram identificados quatro agrupamentos genéticos de acordo com a diversidade genética, o que permitiu identificar que dentre os genótipos comerciais a cultivar Lili (<http://www.cnph.embrapa.br/cultivares/docemel.htm>) mostrou-se mais divergente que as demais.

A similaridade genética entre genótipos-elite de milho-doce portadores do alelo *sh2* também foi genotipada por Solomon et al. (2012) com o emprego de 20 marcadores microssatélites. As similaridades genéticas variaram de 0,10 a 0,77, e o dendrograma obtido com base nessas estimativas sugeriu que os genótipos 08-6/PROB16 e 05-3/PROB4-1 são mais divergentes dos demais empregados nesse estudo.

## **Programa de Milho-Doce na Embrapa**

No Brasil, os trabalhos de melhoramento de populações, bem como o desenvolvimento de híbridos de milho-doce, tiveram início na Embrapa Milho e Sorgo, a partir de 1979. Esse programa teve início com a introdução de materiais básicos de algumas universidades americanas, como as de Minnesota, Illinois, Flórida e Hawaii, que foram cruzados com linhagens dentadas derivadas dos programas de melhoramento de milho-comum. Nos anos 80, através do uso de métodos simples de seleção massal e de progê-

nies S<sub>1</sub>, foram melhoradas, para adaptação às condições brasileiras, três populações contendo os genes *sugary* e *brittle* e com diferentes características de planta e espiga. Como resultado desse programa conjunto entre a Embrapa Milho e Sorgo e a Embrapa Hortaliças, após cinco ciclos de seleção, foram disponibilizadas para uso público as variedades de milho doce BR 400 (Superdoce), BR 401 (Doce-de-ouro), BR 402 (Doce cristal), BR 420 (Docemel) e BR 421 (Lili) (<http://www.cnph.embrapa.br/cultivares/doce-mel.htm>).

A partir da década de 1990, iniciou-se na Embrapa Milho e Sorgo um trabalho de formação de novas linhagens de milho-doce, através da introdução dos genes *brittle* e *shrunk* em linhagens-elites de endosperma normal do programa de melhoramento. A tendência atual do mercado é a utilização de híbridos simples. As razões da preferência por esse tipo de híbrido são basicamente devido à qualidade e à maciez do pericarpo, sabor e aroma; aspecto e tamanho desejáveis das espigas; uniformidade quanto à maturação; e maior produção que híbridos triplos e duplos. Tendo em vista essa demanda do mercado, recentemente, a Embrapa Milho e Sorgo disponibilizou o híbrido simples BRS Vivi.

## Considerações Finais

O melhoramento do milho-doce tem muitas similaridades com o melhoramento do milho-comum, entretanto, trata-se de um produto em que a qualidade da espiga tem grande relevância. Por essa razão, caracteres relacionados à aparência da espiga e

sabor devem ser considerados já nas etapas iniciais do melhoramento.

Outro aspecto que merece destaque é a estreita base genética do milho-doce, mesmo quando se considera o banco de germoplasma e não apenas a coleção-elite do melhoramento. Desta forma, a conversão de linhagens de milho-comum em linhagens de milho-doce é uma estratégia para ampliar a variabilidade genética associada aos genótipos portadores dos alelos que conferem o fenótipo doce. Entretanto, deve ser observado que a qualidade do milho-doce não é determinada apenas pela presença dos alelos que conferem o acúmulo de açúcar no endosperma. O mercado de milho-verde no Brasil conta com cultivares de milho-comum adequadas aos padrões de consumo do mercado brasileiro. Assim, a conversão de linhagens genitoras de milho-verde em linhagens de milho-doce é uma boa opção para ampliar a base genética desse milho com a preservação de atributos de qualidade. A maximização dos efeitos da heterose deve ser considerada em qualquer programa de melhoramento de milho e o agrupamento de genitores de acordo com o padrão heterótico auxilia na definição de cruzamentos mais promissores. Entretanto, ainda não há uma definição de quais genitores seriam indicados como padrões contrastantes para milho-doce. O agrupamento de genótipos de milho-doce em padrões heteróticos será uma grande contribuição para a condução de programas de melhoramento, especialmente se nesse agrupamento forem considerados caracteres de qualidade que são de avaliação complexa.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COMÉRCIO DE SEMENTES E MUDAS. **Pesquisa de mercado de sementes de hortaliças 2001.** Campinas, 2002. Disponível em: <<http://www.abcsem.com.br/dadosdosegmento.php>>. Acesso em: 30 jan. 2013.

\_\_\_\_\_. **Pesquisa de mercado de sementes de hortaliças 2002.** Campinas, 2003. Disponível em: <<http://www.abcsem.com.br/dadosdosegmento.php>>. Acesso em: 30 jan. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COMÉRCIO DE SEMENTES E MUDAS. **Pesquisa de mercado de sementes de hortaliças 2006.** Campinas, 2007. Disponível em: <<http://www.abcsem.com.br/dadosdosegmento.php>>. Acesso em: 30 jan. 2013.

\_\_\_\_\_. **Pesquisa de mercado de sementes de hortaliças 2007.** Campinas, 2008. Disponível em: <<http://www.abcsem.com.br/dadosdosegmento.php>>. Acesso em: 30 jan. 2013.

\_\_\_\_\_. **Pesquisa de mercado de sementes de hortaliças 2008.** Campinas, 2009. Disponível em: <<http://www.abcsem.com.br/dadosdosegmento.php>>. Acesso em: 30 jan. 2013.

\_\_\_\_\_. **Pesquisa de mercado de sementes de hortaliças 2009.** Campinas, 2010. Disponível em: <<http://www.abcsem.com.br/dadosdosegmento.php>>. Acesso em: 30 jan. 2013.

\_\_\_\_\_. **Projeto para o levantamento dos dados socioeconômicos da cadeia produtiva de hortaliças no Brasil, 2010/2011.** Campinas, 2011. Apresentação dos principais resultados. Disponível em: <[http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/file/camaras\\_se](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_se)

toriais/Hortalicas/Dados\_Economicos/ABCSEM%202011.pdf>.  
Acesso em 30 jan. 2013.

ASSUNÇÃO, A.; BRASIL, E. M.; OLIVEIRA, J. P.; REIS, A. J. S.; PEREIRA, A. F.; BUENO, L. G.; RAMOS, M. R. Heterosis performance in industrial yield components of sweet corn. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 10, p.183-190, 2010.

BORDALLO, P. N.; PEREIRA, M. G.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; GABRIEL, A. P. C. Análise dialélica de genótipos de milho doce e comum para caracteres agronômicos e proteína total. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 123-127, jan./mar. 2005.

BREWBAKER, J. L.; Hawaiian Supersweet #9 corn. **HortScience**, Alexandria, v. 12, p. 355, 1977.

BREWBAKER, J. L.; BANAFUNZI, N. Hawaiian Supersweet #6 corn. **HortScience**, Alexandria, v. 10, p. 427, 1975.

BRINK, R. A. Maize endosperm mutants affecting soluble carbohydrate content as potential additives in preparing silage from high protein forages. **Maydica**, Bergamo, v. 29, p. 265-286, 1984.

CARDOSO, E. T.; SERENO, M. J. C. M.; NETO, J. F. B. Heritability estimates for quality and ear traits in sweet corn. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 2, p. 493-198, 2002.

CHANDLER, M. A.; TRACY, W. F. Vegetative phase change among sweet corn (*Zea mays* L.) hybrids varying for reaction to common rust (*Puccinia sorghi* Schw.). **Plant Breeding**, Berlin, v. 126, p. 569-573, 2007.

GARWOOD, D. L.; CREECH, R. G. Pennfresh ADX hybrid sweet corn. **HortScience**, Alexandria, v. 14, p. 645, 1979.

GARWOOD, D. L.; MCARDLE, F. J.; VANDERSLICE, S. F.; SHANNON, J. C. Postharvest carbohydrate transformations and processed quality of high sugar maize genotypes. **Journal of the America Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 101, p. 400, 1976.

HANSEN, L. A.; BAGGETT, J. R.; ROWE, K. E., Quantitative analysis of ten characteristics in sweet corn. **Journal of the America Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 102, p. 158, 1977.

HENDRY, G. W. Archaeological evidence concerning the origin of sweet maize. **Journal of the America Society of Agronomy**, Geneva, v. 22, p. 508, 1930.

ITO, G. M.; BREWBALKER, J. L. Genetic advance through mass selection for tenderness in sweet corn. **Journal of the America Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 106, p. 469, 1981.

KWIATKOWSKI, A.; CLEMENTE, E. Características de milho doce (*Zea mays* L.) para industrialização. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 1, p. 93-103, 2007.

LOPES, A. D. **Avaliação da diversidade genética e da estrutura de genótipos de milho doce estimada por marcadores SSR**. 2012. 115 p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

LUR, H. S.; SETTER, T. L. Role of auxin in maize endosperm development (timing of nuclear DNA endoreduplication, zein expression, and cytokinin). **Plant Physiology**, Washington, v. 103, p. 273-280, 1993.

ORDÁS, B.; MALVAR, R. A.; ORDÁS, A.; REVILLA, P. Reciprocal differences in sugary x sugary enhancer sweet corn hybrids. **Journal of the America Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 133, p. 777-782, 2008.

PARENTONI, S. N.; MAGALHÃES, J. V.; SANTOS, M. X.; ABADIE, T.; GAMA, E. E. G.; GUIMARÃES, P. E. O.; MEIRELLES, W. F.; LOPES, M. A.; VASCONCELOS, M. J. V.; PAIVA, E. Heterotic groups based on yield-specific combining ability data and phylogenetic relationship determined by RAPD markers for 28 tropical maize open pollinated varieties. **Euphytica**, Wageningen, v. 121, p. 197-208, 2001.

PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C. **Cultivares de milho para o consumo verde**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. 7 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 15). Disponível em: <[http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/13776/1/Circ\\_15.pdf](http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPMS/13776/1/Circ_15.pdf)>. Acesso em: 30 nov. 2012.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. A. B. P. **Genética na agropecuária**. 2 ed. Lavras: UFLA, 2000. 472 p.

REVILLA, P.; MALVAR, R. A.; CARTEA, M. E.; ORDÁS, A. Identifying open-pollinated populations of field corn as source of cold tolerance for improving sweet corn. **Euphytica**, Wageningen, v. 101, p. 239-247, 1998.

REVILLA, P.; HOTCHKISS, J. R.; TRACY, W. F. Cold tolerance evaluation in a diallel among open-pollinated sweet corn cultivars. **HortScience**, Alexandria, v. 38, p. 88-91, 2003.

REVILLA, P.; RODRÍGUEZ, V. M.; MALVAR, R. A.; BUTRÓN, A.; ORDÁS, A. Comparison among sweet corn heterotic patterns. **Journal of the America Society for Horticultural Science**, Mount Vernon, v. 131, n. 3, p. 388-392, 2006.

SOLOMON, K. F.; MARTIN, I.; ZEPPA, A. Genetic effects and genetic relationships among shrunken (sh2) sweet corn lines and F1 hybrids. **Euphytica**, Wageningen, v. 185, p. 385-394, 2012.

SHEWRY, P. R.; CASEY, R. **Seed proteins**. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, 1999.

SYNGENTA BRASIL. **Alimentar nosso maior desafio: 2010-2050**. São Paulo, 2010. 80 p. Relatório de sustentabilidade.

TEIXEIRA, F. F.; SOUZA, I. R. P.; GAMA, E. E. G.; PACHECO, C. A. P.; PARENTONI, S. N.; SANTOS, M. X.; MEIRELLES, W. F. Avaliação da capacidade de combinação entre linhagens de milho doce. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, p. 483-488, 2001.

TEIXEIRA, F. F.; GUIMARÃES, L. L. M.; GUIMARÃES, P. E. O.; PACHECO, C. A. P.; PARENTONI, S. N.; SILVA, A. R. Pré-melhoramento do milho. In: LOPES, M. A.; FÁVERO, A. P.; FERREIRA, M. A. J. F.; FALEIRO, F. G.; FOLLE, S. M. GUIMARÃES, E. P. (Ed.). **Pré-melhoramento de plantas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. p. 571-614.



TRACY, W. F. Sweet corn. In: HALLAUER, A. R. (Ed.). **Specialty corns**. Boca Raton: CRC Press, 2001. p. 155-197.

USDA. United States Department Agriculture. **U. S. Sweet corn statistics**. New York, 2010. Disponível em: <<http://usda.mannlib.cornell.edu/MannUsda/viewDocumentInfo.do?documentID=1564>>. Acesso em: 30 jan. 2013.

VELASCO, P.; SOENGAS, P.; REVILLA, P.; ORDÁS, A.; MALVAR, R. A. Mean generation analysis of the damage caused by *Sesamia nonagrioides* (Lepidoptera: Noctuidae) and *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambridae) in sweet corn ears. **Journal of Economy Entomology**, College Park, v. 97, p. 120-126, 2004.

YOUSEF, G. G.; JUVIK, J. A. Comparison of phenotypic and marker-assisted selection for quantitative trait in sweet corn. **Crop Science**, Madison, v. 41, p. 645-655, 2001.

YOUSEF, G. G.; JUVIK, J. A. Enhancement of seedling emergence in sweet corn by markers-assisted backcrossing of beneficial QTL. **Crop Science**, Madison, v. 42, p. 96-104, 2002.



Ministério da  
Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento

