

# Capítulo 13

Pré-melhoramento  
da mandioca

Utilização de espécies silvestres  
como fonte de resistência a  
fatores bióticos e abióticos

Alfredo Augusto Cunha Alves  
Miguel Angel Dita  
Aloyséia Cristina da Silva Noronha  
Rui Américo Mendes



## Introdução

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), um arbusto perene da família Euphorbiaceae, é nativa da América Tropical, com dois prováveis centros de origem: um no México (Oeste e Sul) e o outro no Brasil (Centro-Oeste e Nordeste) (RENVOIZE 1972).

Essa espécie é cultivada, principalmente, por suas raízes de reservas ricas em amido, as quais são colhidas de 7 a 18 meses após o plantio, dependendo das condições de cultivo. Depois que se colhem as raízes, toda a planta da mandioca pode ser aproveitada. Quando maduro, o caule lenhoso é usado como material de plantio (manivas ou estacas); o restante da parte aérea (folhas e caule jovem), e as raízes tuberosas são também aproveitadas tanto para alimentação animal como para consumo humano.

Nos trópicos, a mandioca é um dos mais importantes alimentos básicos na dieta humana. É a quinta mais importante fonte de calorias no mundo, a quarta na América do Sul e a terceira na África. Ela é encontrada numa grande faixa de condições edáficas e climáticas entre as latitudes 30°N e 30°S e cultivada, principalmente, em áreas consideradas marginais para outras culturas, com solos de baixa fertilidade e precipitação anual de 600 mm, no Trópico Semiárido, até mais que 1.500 mm nos trópicos Úmido e Subúmido. Em muitas dessas regiões, a distribuição de chuvas não é uniforme, ocorrendo prolongado período de seca (4 a 7 meses).

Apesar de sua rusticidade, a mandioca sofre grandes perdas causadas por fatores bióticos (pragas e doenças) e abióticos (seca e baixa fertilidade dos solos).

A principais pragas que afetam a mandioca são (Figura 1):

- Ácaro-verde (*Mononychellus tanajoa*).
- Cochonilhas (*Phenacoccus herreni* e *P. manihoti*).
- Moscas-brancas (*Aleurotrachelus aepim*, *A. socialis*, *Bemisia tiberkulata* e *B. tabaci*).
- Mandarová (*Erinnyis ello*).
- Percevejo-de-renda (*Vatiga illudens*).



**Figura 1.** Principais fatores bióticos que afetam a cultura da mandioca: Pragas: ácaros (A); cochonilhas (B); mosca-branca (C); e mandarová (D). Doenças: bacteriose (E); superalongamento (F); podridão-radicular (G); viroses (H); e couro-de-sapo (I).

Além dessas pragas, existem também as doenças. Entre tais doenças (Figura 1), as mais severas são:

- Podridões-radulares (*Phytophthora* sp. e *Fusarium* sp.).
- Bacteriose (*Xanthomonas campestris*).
- Superalongamento (*Sphaceloma manihoticula*).
- Viroses (mosaico-africano – ACMV).
- Mosaico-das-nervuras (CsVMV).
- Mosaico comum (CsCMV).
- Couro-de-sapo (CFSD).
- Superbrotamento.

Como se tudo isso não bastasse, a mandioca possui elevada deterioração fisiológica pós-colheita (DFP) em todas as suas variedades comercialmente utilizadas, o que reduz muito a vida de prateleira das raízes.

Até o momento, o programa de melhoramento de mandioca da Embrapa vem trabalhando apenas com a diversidade genética da única espécie cultivada do gênero (*Manihot esculenta*). As espécies silvestres – que abrigam genes de resistência aos principais estresses bióticos e abióticos que afetam a mandioca – são muito pouco estudadas e muitas delas estão ameaçadas de extinção.

Nas pesquisas desenvolvidas com mandioca, uma lacuna é a falta de estudos das espécies silvestres brasileiras do gênero *Manihot*. A ampliação, a conservação e o uso dos recursos genéticos de *Manihot* interessa a cientistas e melhoristas de instituições nacionais e estrangeiras, preocupados com a produção de alimentos para combater a fome no Terceiro Mundo.

## Recursos genéticos do gênero *Manihot*

### Origem e diversidade da mandioca

No Neotrópico, mais especificamente no Brasil, localiza-se o maior centro de diversidade do gênero *Manihot*. Na última monografia sobre *Manihot* (ROGERS; APPAN, 1973), são reconhecidas 98 espécies, das quais cerca de 80% ocorrem no País, exibindo amplo polimorfismo vegetativo e reunindo potencial para utilização em programas de melhoramento genético da mandioca. A grande diversidade de espécies de *Manihot* – que ocorrem no Brasil – reforça a teoria de que a origem e a domesticação da mandioca, por ameríndios possa ter acontecido no País.

A maior diversidade biológica ocorre no Cerrado da região Centro-Oeste, estendendo-se até a Caatinga, no Nordeste, com epicentro localizado no Distrito Federal e em regiões próximas do Estado de Goiás (ALLEM, 1994; GULICK et al., 1983; ROGERS; APPAN, 1973).

As espécies do gênero *Manihot* são perenes e alógamas, com hábitos que oscilam desde plantas herbáceas a pequenas árvores. Algumas espécies apresentam ampla distribuição geográfica e outras são encontradas simpatricamente. Há casos de até cinco espécies ocorrerem numa mesma área.

Os recursos genéticos de *Manihot* compreendem aqueles da espécie cultivada (*M. esculenta* Crantz) e os de espécies silvestres do gênero. Por ser *Manihot* um gênero de importância econômica, por abrigar a mandioca, existem centros de recursos genéticos interessados em conservar as espécies silvestres aparentadas à cultura.

A crescente devastação da vegetação brasileira tem levado os estoques remanescentes de plantas nativas a encontrar abrigo em ambientes marginais, com a importância desses habitats como refúgios de recursos genéticos vegetais silvestres. Grande parte dos recursos

genéticos de *Manihot*, atualmente em conservação, é proveniente desses ambientes degradados (ALLEM, 1994).

As barreiras de isolamento reprodutivo em espécies de *Manihot* são fracas, permitindo a ocorrência de hibridação interespecífica natural e artificial entre *M. esculenta* e espécies silvestres (NASSAR et al., 1995). Na natureza, sobretudo no bioma Caatinga, provavelmente existam diversos híbridos interespecíficos de mandioca, tolerantes a estresse hídrico, dos quais não se tem informação sobre os parentais.

Embora todas as espécies do gênero *Manihot* analisadas citologicamente até agora apresentem  $2n=36$  cromossomos pequenos e muito similares (CARVALHO; GUERRA, 2002), o uso de técnicas de citogenética molecular – hibridização *in situ* fluorescente (FISH) e hibridização *in situ* genômica (GISH) – podem auxiliar na identificação de marcadores cromossômicos ou diferenças na constituição genômica que permitam a distinção entre as espécies.

O Cerrado e a Caatinga – segundo e terceiro maiores biomas do País – são áreas de ocorrência natural de grande parte das espécies silvestres de mandioca. Infelizmente, nesses biomas, a vegetação vem sendo rapidamente substituída, em grande escala, pela agricultura mecanizada, por pastagens, além da urbanização desenfreada, principalmente no Cerrado. Com isso, muitas populações de espécies silvestres estão restritas às faixas de domínio das rodovias. No interior das propriedades rurais, o plantio de culturas (em larga escala) e de pastagem substituíram a vegetação nativa. Como resultado desses desmandos, várias espécies (animais e vegetais) encontram-se ameaçadas.

## **Germoplasma silvestre de *Manihot* na Embrapa Mandioca e Fruticultura**

Para permitir o uso de genes úteis de espécies silvestres no melhoramento da mandioca, o estabelecimento e a ampliação de uma coleção de espécies silvestres de *Manihot* têm sido um dos principais objetivos da Embrapa Mandioca e Fruticultura.

Nos últimos 5 anos, uma coleção dessas espécies foi estabelecida com acessos obtidos de diferentes fontes, incluindo-se coletas feitas em áreas de Caatinga, no Nordeste, e de Cerrado, no Distrito Federal e entorno, bem como transferências de acessos já existentes em outras Unidades da Embrapa (Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, Embrapa Semiárido), e na Universidade Federal do Recôncavo Baiano (ALVES et al., 2008a).

A coleção foi estabelecida no campo, a partir de julho de 2005. Até o momento, cerca de 585 acessos foram introduzidos na coleção, envolvendo, pelo menos, 21 espécies de *Manihot* (Tabela 1), exibindo amplo polimorfismo vegetativo e reprodutivo (Figura 2). Um banco de sementes também está sendo preservado, com aproximadamente 80 mil sementes obtidas na coleção (polinização aberta) (Tabela 1).



Fotos: CRÉDITO PESSOA FÍSICA???

**Figura 2.** Diversidade genética de algumas espécies de *Manihot* na coleção da Embrapa Mandioca e Fruticultura: *M. dichotoma* (A); *M. glaziovii* (B); *M. tomentosa* (C); *M. cecropiaefolia* (D); *M. irwinii* (E); *M. esculenta* (F); *M. caerulescens* (G); *M. flabellifolia* (H); *M. peruviana* (I); e *M. anômala* (J).

**Tabela 1** . Espécies e número de acessos de mandiocas silvestres existentes na Embrapa Mandioca e Fruticultura e a quantidade de sementes sexuais coletadas na coleção (polinização aberta).

Espécie de <i>Manihot</i>	Número de acesso	Número de sementes
<i>Manihot anomala</i>	107	5563
<i>Manihot caerulescens</i>	34	171
<i>Manihot cecropiaefolia</i>	8	633
<i>Manihot compositifolia</i>	13	6
<i>Manihot dichotoma</i>	54	3128
<i>Manihot epruinosa</i>	1	0
<i>Manihot flabellifolia</i>	78	28.629
<i>Manihot glaziovii</i>	61	2.371
<i>Manihot irwinii</i>	10	2.201
<i>Manihot jacobinensis</i>	5	28
<i>Manihot janiphoides</i>	1	0
<i>Manihot maracasensis</i>	1	0
<i>Manihot peruviana</i>	109	27.804
<i>Manihot tomentosa</i>	37	2.316
<i>Manihot tripartita</i>	1	0
<i>Manihot triphylla</i>	1	3
<i>Manihot violacea</i>	2	56
<i>Manihot</i> spp.	8	840
Maniçoba <sup>(1)</sup>	38	6.528
Mandioca-sete-anos <sup>(2)</sup>	10	141
Pornúncia <sup>(3)</sup>	6	24
<b>Total</b>	<b>585</b>	<b>80.442</b>

<sup>(1)</sup>Provavelmente *M. pseudoglaziovii*

<sup>(2)</sup> e <sup>(3)</sup> Provavelmente híbridos interespecíficos naturais

## Identificação e uso de genes úteis em espécies silvestres de mandioca

É sabido que as espécies silvestres de *Manihot* possuem grande reservatório de genes úteis a serem transferidos para a espécie comercial. Contudo, o número de características de interesse identificadas em espécies silvestres – ou mesmo os genes que controlam tais características – são reduzidos diante da grande diversidade de espécies no gênero.

Outra característica que dificulta a transferência de características de interesse para *M. esculenta* – a partir de espécies silvestres de *Manihot* – é a elevada heterozigotidade no gênero, o qual leva à produção de populações híbridas que segregam para diferentes características.

O potencial de utilização de espécies silvestres, como fonte útil de genes para a espécie cultivada, tem sido confirmado por recentes estudos desenvolvidos pelo Centro Internacional de Agricultura Tropical (Ciat) e pela Embrapa Mandioca e Fruticultura. Dos resultados dessas experiências, destacam-se:

- De moderado a altos níveis de resistência ao ácaro, à mosca-branca e à cochonilha foram encontrados em híbridos interespecíficos de *M. esculenta* subespécie *flabellifolia* (BURBANO et al., 2005).
- A única fonte de resistência ao mandarová e outra resistente ao vírus-do-mosaico foram identificadas na quarta progenie de retrocruzamentos de *M. glaziovii* (CHAVARRIAGA et al., 2004).
- Alta resistência à deterioração fisiológica pós-colheita (DFP) foi identificada num híbrido interespecífico entre *M. esculenta* e *M. walkerae* (CIAT, 2006).
- Um cruzamento interespecífico entre *M. tristis* e mandioca produziu híbridos com alta concentração de matéria seca (CIAT, 2002).
- Vários acessos de *M. esculenta*, subespécie *flabellifolia*, *M. esculenta* subespécie *peruviana* e *M. tristis*, coletadas no Brasil, apresentaram elevado teor de proteína, entre 10% e 18% do peso seco, nas raízes de reserva (CIAT, 2003).
- *Manihot glaziovii*, *M. dichotoma* e *M. carthaginensis* são adaptadas às condições semiáridas. Além disso, são também potenciais fontes de genes tolerantes à seca.
- Elevada resistência a pragas (ácaros e cochonilhas) e a doenças (antracnose, cercosporiose e ferrugem) foi encontrada em híbridos de *M. esculenta* subespécie *flabellifolia*, *M. esculenta* subespécie *peruviana* e *M. tristis* avaliados em diferentes ecossistemas brasileiros (ALVES et al., 2007).

A natureza heterozigota e o longo ciclo reprodutivo da mandioca tornam a introgressão e a piramidação dos genes úteis, encontrados no germoplasma silvestre, um esforço de longo prazo. Em particular, problemas de segregação distorcida (JIANG et al., 2000), supressão de recombinação (PATERSON et al., 1990) e arraste de genes deletérios (YOUNG; TANKSLEY, 1989) são frequentemente encontrados em cruzamentos interespecíficos.

Por isso, os melhoristas de plantas tradicionalmente possuem boas razões para não utilizar esses cruzamentos. Uma alternativa para superar esses problemas é o método de retrocruzamento avançado, sugerido por Tanksley e Nelson (1996), que se sobrepõe a algumas das limitações ao se usar espécies silvestres em programas de melhoramento.

A vantagem do retrocruzamento avançado (RA) é a possibilidade de transferir alelos favoráveis de germoplasma não-melhorado/adaptado para linhagens elite de programas de melhoramento, ao mesmo tempo em que evita o efeito epistático de genes deletérios encontrados em espécies silvestres (TANKSLEY; MCCOUCH 1997). Outra vantagem do método de retrocruzamento

avançado é que a análise de locos de características quantitativas (QTL) da progênie resultante pode ser usada para identificar alelos de interesse no doador silvestre/selvagem.

Esses alelos podem ser avaliados em outros cruzamentos via seleção assistida por marcadores (TANKSLEY; NELSON 1996). Apesar do método de RA ser aplicado em grande número de espécies autógamas, especialmente cereais, feijão (BLAIR et al., 2006) e algodão (CHEE et al., 2005), ele já vem sendo usado recentemente, com sucesso, em espécies alógamas, como em mandioca (CIAT, 2005).

Com base nas descobertas preliminares, em espécies silvestres de mandioca, de fontes de resistência aos principais fatores bióticos e abióticos que afetam a mandioca cultivada, a Embrapa, com a colaboração do Centro Internacional de Agricultura Tropical (Ciat), vem realizando projetos com os objetivos básicos de:

- Ampliar a variabilidade genética de espécies silvestres de *Manihot*.
- Estabelecer uma avaliação sistemática de acessos de espécies silvestres e híbridos interespecíficos para resistência à seca, pragas e doenças.
- Avaliar a compatibilidade de cruzamentos interespecíficos entre mandioca e espécies silvestres de *Manihot*.

## Ampliação da variabilidade genética do germoplasma silvestre de *Manihot*

A Embrapa vem utilizando o banco de germoplasma da mandioca cultivada como principal fonte de variabilidade para o programa de melhoramento genético brasileiro. Nos últimos 5 anos, uma coleção de espécies silvestres de *Manihot* foi estabelecida na Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas, BA (Tabela 1).

Essa coleção possui alguns acessos oriundos de expedições de coletas feitas em dois biomas brasileiros: região Semiárida, conhecida como Caatinga, no Nordeste, e região do Cerrado, no Centro-Oeste.

Nos dias 21 e 22 de dezembro de 2005, e 15 e 16 de fevereiro de 2006, no centro-oeste baiano, viajando-se cerca de 1.500 km, foram registrados 13 pontos de coleta e encontrados 18 acessos de 7 espécies:

- *Manihot caerulea* (5 acessos).
- *Manihot diamantinensis* (1 acesso).
- *Manihot dichotoma* (6 acessos).
- *Manihot glaziovii* (1 acesso).
- *Manihot jacobinensis* (1 acesso).
- *Manihot m aracasensis* (3 acessos).
- Mandioca sete anos (1 acesso) (Figura 3a, Tabela 2).

**Nota:** a notação cf. foi colocada em algumas espécies, as quais necessitam de confirmação taxonômica.

De 17 a 20 abril de 2006, empreendeu-se uma expedição no Cerrado do Planalto do Distrito Federal – e entorno goiano –, num percurso de 1.100 km, onde foram registrados 18 pontos de coleta e encontrados 28 acessos de 17 espécies:

- *Manihot anomala* (2 acessos).
- *Manihot cecropiaefolia* (1 acesso)
- *Manihot falcata* (1 acesso).
- *Manihot fruticulosa* (2 acessos).
- *Manihot gracilis* (1 acesso).
- *Manihot irwinii* (1 acesso).
- *Manihot mossamedensis* (1 acesso).
- *Manihot nana* (1 acesso).
- *Manihot pentaphylla* (1 acesso).
- *Manihot salicifolia* (1 acesso).
- *Manihot sparsifolia* (1 acesso).
- *Manihot stipularis* (1 acesso).
- *Manihot tomentosa* (2 acessos).
- *Manihot tripartita* (2 acessos).
- *Manihot triphylla* (1 acesso).
- *Manihot tristis* (1 acesso).
- *Manihot violacea* (8 acessos) (Figura 3b, Tabela 2).

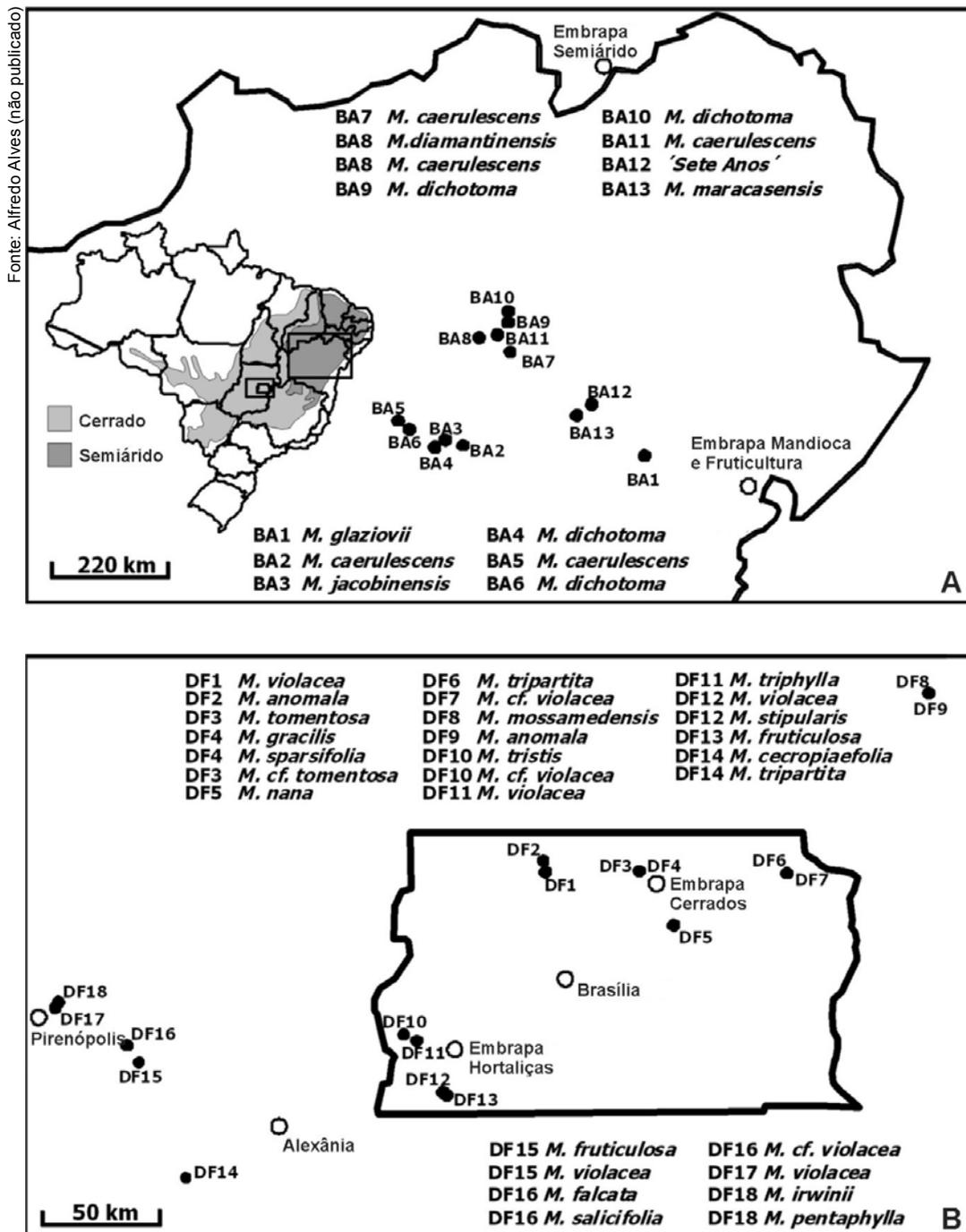
Dependendo da arquitetura e do estágio vegetativo, foram coletadas estacas, frutos maduros ou mudas. Estão sendo estudadas técnicas de manuseio e de propagação do material coletado.

## **Avaliação de espécies silvestres e híbridos interespecíficos de mandioca para resistência a doenças em diferentes ecossistemas**

Vários acessos de 8 espécies silvestres de *Manihot* (*M. anomala*, *M. caerulescens*, *M. dichotoma*, *M. flabellifolia*, *M. glaziovii*, *M. jacobinensis*, *M. peruviana* e *M. tomentosa*) e 140 híbridos interespecíficos, envolvendo as espécies *M. flabellifolia* (90), *M. tristis* (43) e *M. peruviana* (7), foram avaliados quanto à incidência e severidade de doenças, em diferentes regiões do Brasil:

- São Miguel das Matas (SMM), Tancredo Neves (TN) e Cruz das Almas (CA), na Bahia.
- Petrolina (PT), em Pernambuco (DITA; ALVES, 2007; DITA et al., 2008a, 2008b, 2008c).

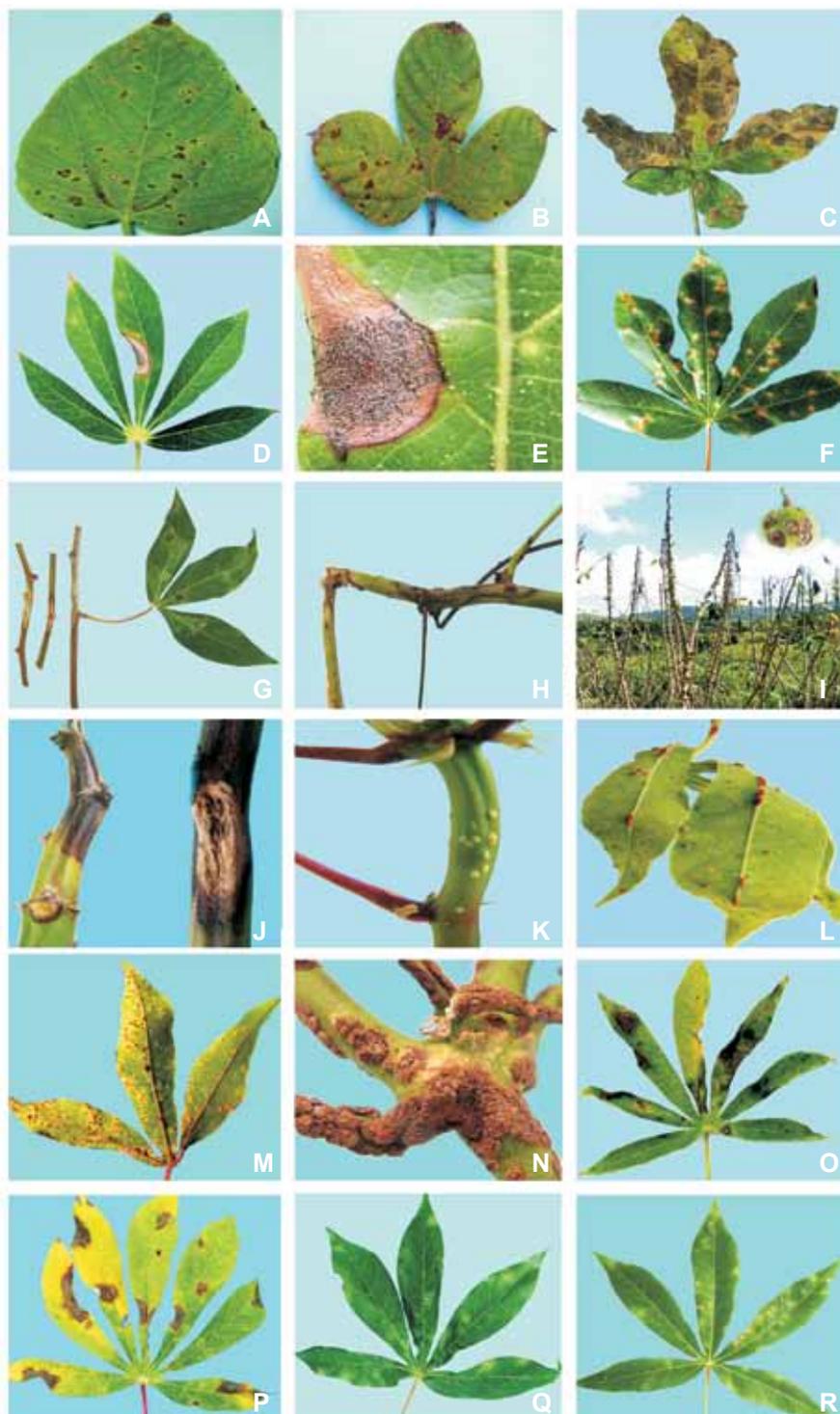
**Nota:** SSM, TN e CA são caracterizados como regiões subúmidas com diferentes regimes de chuvas, variando de 1.000 mm a 1.800 mm por ano e PT representa o Semiárido brasileiro (média de 560 mm por ano).



**Figura 3** . Pontos de coleta (●), pontos de referência (○) e nomes das espécies silvestres de *Manihot* encontradas nas expedições empreendidas na região Semiárida (Caatinga) (A) e no Centro-Oeste (Cerrado) (B) do Brasil.

**Tabela 2.** Coordenadas geográficas dos pontos de coleta registrados nas expedições promovidas na região do Semiárido (plotados na Figura 3a) e na região do Cerrado (Figura 3b).

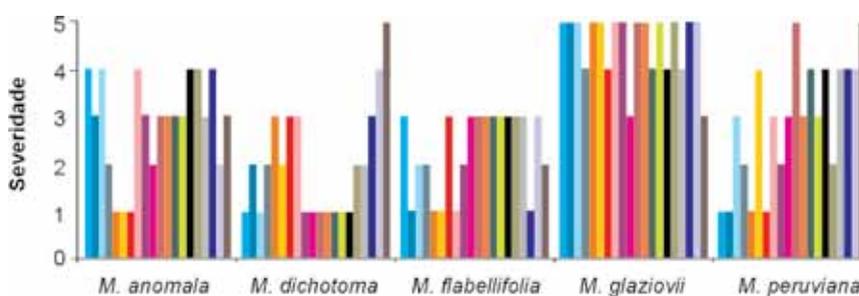
Ponto de coleta	Latitude	Longitude
<b>Região do Semiárido</b>		
BA1	12° 29' 34,4''S	39° 49' 06,2''W
BA2	12° 29' 18,6'' S	41° 20' 28,0''W
BA3	12° 26' 33,7''S	41° 29' 06,0''W
BA4	12° 30' 12,6''S	41° 34' 27,1''W
BA5	12° 20' 41,3''S	41° 47' 36,2''W
BA6	12° 18' 01,1''S	41° 53' 18,6''W
BA7	11° 38' 15,0''S	40° 58' 22,1''W
BA8	11° 31' 22,4''S	41° 14' 49,6''W
BA9	11° 21' 26,3''S	41° 00' 40,3''W
BA10	11° 17' 13,2''S	41° 00' 44,3''W
BA11	11° 29' 15,0''S	41° 05' 53,9''W
BA12	12° 04' 36,5''S	40° 16' 39,0''W
BA13	12° 10' 13,1''S	40° 24' 00,0''W
<b>Região do Cerrado</b>		
DF1	15° 34' 30,8''S	47° 56' 16,9''W
DF2	15° 33' 35,5''S	47° 56' 29,7''W
DF3	15° 34' 32,8''S	47° 44' 56,6''W
DF4	15° 34' 27,5''S	47° 44' 56,2''W
DF5	15° 41' 06,9''S	47° 40' 44,7''W
DF6	15° 34' 50,8''S	47° 27' 25,8''W
DF7	15° 34' 52,4''S	47° 27' 23,5''W
DF8	15° 13' 24,0''S	47° 10' 00,9''W
DF9	15° 13' 22,9''S	47° 09' 59,4''W
DF10	15° 53' 53,2''S	48° 13' 03,2''W
DF11	15° 54' 28,0''S	48° 11' 34,8''W
DF12	16° 00' 57,4''S	48° 08' 23,6''W
DF13	16° 00' 59,6''S	48° 08' 17,4''W
DF14	16° 11' 01,5''S	48° 38' 22,4''W
DF15	15° 57' 09,1''S	48° 44' 53,2''W
DF16	15° 54' 54,8''S	48° 46' 24,5''W
DF17	15° 50' 20,5''S	48° 54' 49,4''W
DF18	15° 49' 52,5''S	48° 54' 37,0''W



**Figura 4.** Sintomas de doenças em genótipos silvestres de mandioca. Mancha-parda em *M. anomala* (A e B), *M. glaziovii* (C), *M. peruviana* (D e E) e híbrido interespecífico (F). Antracnose em *M. peruviana* (G e H) e em híbridos (I e J). Ferrugem em *M. flabellifolia* (K e L) e em híbridos (M e N). Queima-das-folhas em *M. peruviana* (O) e híbrido (P). Mancha-branca em *M. peruviana* (Q) e híbrido (R).

Em todas as regiões, cultivares de *M. esculenta* foram plantadas como padrão de comparação e fonte de inóculo. Nas regiões subúmidas da Bahia, foi registrada a incidência de mancha-parda (*Cercosporidium henningsii*), de mancha-branca (*Phaeoramularia manihotis*), de queimadas-folhas (*Cercospora vicosae*), de antracnose (*Colletotrichum gloesporioides* f. sp. *manihotis*) e de ferrugem (*Uromyces* spp.), tanto nas espécies silvestres como nos híbridos; e todos os patógenos identificados nos genótipos silvestres também são comuns na espécie cultivada, mas os sintomas podem diferir entre genótipos (Figura 4). Por sua vez, na região do Semiárido, em Petrolina, PE, foram registradas apenas lesões esporádicas de mancha-parda.

A mancha parda foi a doença com maior grau de incidência e severidade nas espécies silvestres, sendo mais intensa em SMM, TN e CA, respectivamente. Enquanto nos híbridos, a antracnose, a mancha-parda e a ferrugem (nesta ordem), foram as doenças mais severas na Bahia. Em ambas populações (espécies e híbridos), foram observadas diferenças no grau de severidade das doenças, tanto entre espécies (ou entre famílias) como dentro de espécies (ou de famílias) (Figura 5).



**Figura 5.** Severidade (notas de 1 a 5) da mancha-parda (*Cercosporidium henningsii*) em diferentes acessos de cinco espécies silvestres de mandioca, em São Miguel da Mata, BA, Brasil.

**ATENÇÃO! AONDE ESTÃO AS NOTAS DE 1 A 5 NA FIGURA? FALTA LEGENDA REFERENTE ÀS CORES.**

Independentemente das regiões, acessos de *M. glaziovii* foram mais suscetíveis e os de *M. flabellifolia* mais resistentes. Nos híbridos, genótipos com altos níveis de resistência à antracnose e na mancha-parda foram encontrados em famílias envolvendo *M. tristis*. Para ferrugem, a maioria dos híbridos resistentes tinham a *M. flabellifolia* como parental (DITA et al., 2008a, 2008c).

Para todas as doenças avaliadas, genótipos (de espécies silvestres e de híbridos) com alto nível de resistência foram identificados. Esses acessos podem ser utilizados tanto como fontes de resistência para melhoramento de mandioca, como para estudos que visam o melhor entendimento da base molecular e genética da resistência à doença em mandioca.

Os genótipos promissores serão multiplicados para que se avalie, com precisão, a resistência a doenças e as características agrônômicas. A caracterização para resistência a outras doenças, como a bacteriose, podridões radiculares e vírus-do-mosaico-das-nervuras será realizada em condições de casa-de-vegetação.

## Avaliação de híbridos interespecíficos de mandioca para resistência a pragas em condições semiáridas

Visando a identificação de genes exóticos relacionados à resistência às principais pragas que ocorrem na região do Semiárido Brasileiro, uma população de 140 híbridos interespecíficos de mandioca, envolvendo as espécies *M. flabellifolia* (90), *M. tristis* (43) e *M. peruviana* (7), foram avaliadas em condições de campo, em Petrolina, PE, região representativa do Semiárido, onde a precipitação pluvial anual em média é 560 mm. As pragas avaliadas foram:

- Mosca-branca (*Aleurothrixus aepimo*).
- Percevejo-de-renda (*Vatiga iludens*).
- Cochonilha (*Phenacoccus manihotie*).
- Ácaro-verde (*Mononychellus tanajoa*).

Para avaliar os danos causados pelas pragas, foram auferidas notas que variaram de 1 (sem dano) a 6 (dano máximo). Já os dados sobre mosca-branca e percevejo-de-renda não foram relevantes no ano agrícola em questão (2006–2007). Assim, só os dados sobre cochonilha e ácaro-verde foram considerados para análise (FARIAS et al., 2007)..

Quanto à cochonilha, o pico de incidência e o dano ocorreram 9 meses após o plantio (MAP), quando os genótipos apresentavam brotos com aspecto de repolho, sendo-lhe auferida nota 4. Nessa avaliação, foram destacados 41 híbridos como promissores, com fonte de resistência à cochonilha, aos quais foram auferidas notas 1 e 2. Grande parte desses híbridos promissores (num total de 33) foi obtida do cruzamento de *M. flabellifolia* com *M. esculenta*.

No caso do ácaro-verde, houve uma incidência elevada em todos os meses, com pico populacional 8 após o plantio, quando 88 genótipos receberam nota 5, por apresentarem severa deformação nas folhas do broto e desfolhamento das folhas superiores. Quando a infestação atingiu seu pico máximo, só num híbrido não foi constatada a incidência do ácaro, pelo que lhe foi dada nota 1. Esse híbrido tem a *M. flabellifolia* como parental feminino.

Além desse híbrido, 23 outros se comportaram também como promissores, com nota 2. Desses 23, a maioria (num total de 19) possui a *M. flabellifolia* como parental feminino, indicando o grande potencial dessa espécie como fonte de resistência a ácaros.

## Espécies silvestres de *Manihot* como fontes de resistência ao ácaro-verde-da-mandioca

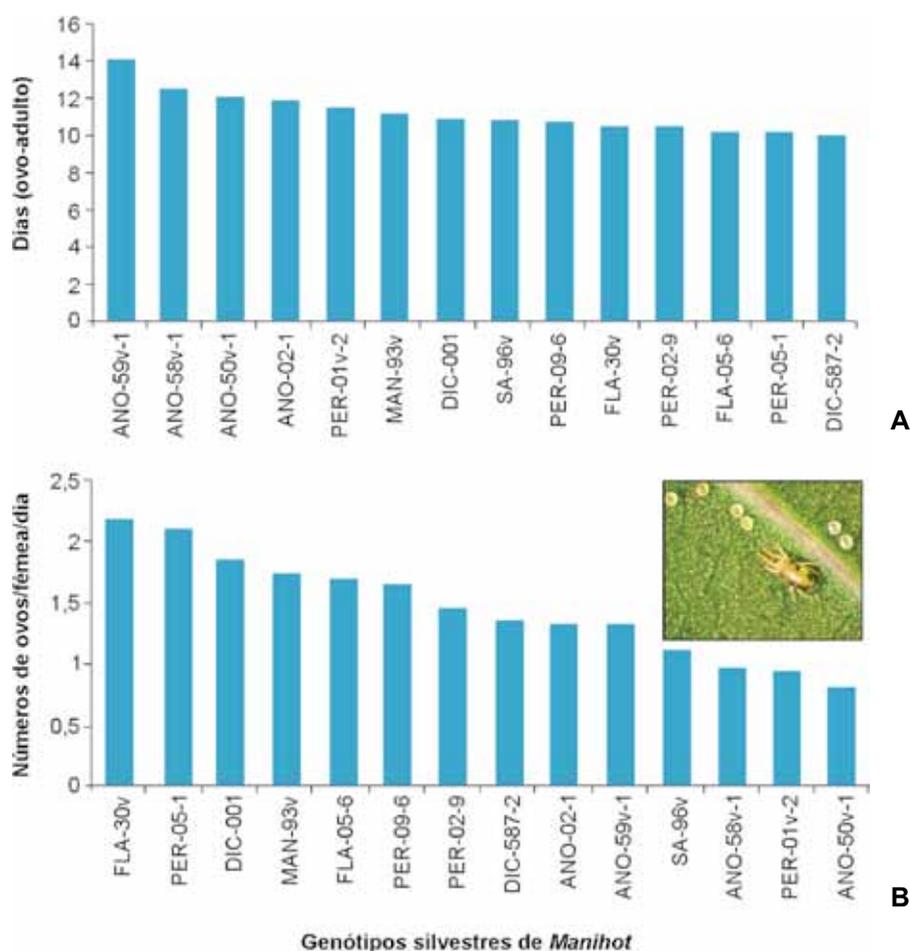
O ácaro-verde-da-mandioca (*Mononychellus tanajoa*) é um dos principais fatores bióticos que afetam a mandioca, sobretudo nas regiões semiáridas. Catorze acessos de seis espécies silvestres de *Manihot* foram avaliados com relação aos aspectos biológicos do ácaro (NORONHA et al., 2008). Veja, a seguir:

- *Manihot anomala* (4).

- *Manihot peruviana* (4).
- *Manihot flabellifolia* (2).
- *Manihot dichotoma* (2).
- Maniçoba (1).
- Mandioca-sete-anos (1).

O estudo foi conduzido em laboratório, a  $25\pm 1$  °C,  $70\pm 10\%$  de UR e 12h de fotoperíodo. Foras feitas observações diárias sobre o desenvolvimento e a reprodução de *M. tanajoa*, com 50 repetições por genótipo. O período ovo para adulto variou de 10,1 a 14,0 dias, com discriminação de cinco agrupamentos.

Os dois agrupamentos com maiores períodos de ovo para adulto foram constituídos pelos quatro acessos de *M. anomala* (Figura 6a). A taxa de oviposição variou de 0,8 a 2,2 ovos/fêmea/



**Figura 6** – Agrupamentos de acessos de espécies silvestres de mandioca com base no ciclo de vida (número de dias do ovo para adulto) (A) e na taxa de oviposição (B) do ácaro-verde (*Mononychellus tanajoa*). ANO = *anomala*; DIC = *dichotoma*; FLA = *flabellifolia*; MAN = maniçoba; PER = *peruviana*; SA = mandioca-sete-anos.

dia, com formação de 4 agrupamentos, e 1 acesso de *M. anomala* apresentou a menor taxa de oviposição (Figura 6b).

Os genótipos silvestres proporcionaram menor fecundidade de *M. tanaioa* em relação a genótipos de *M. esculenta*, selecionados como promissores para resistência às condições semiáridas do Nordeste, o que sugere a existência de fontes de resistência em níveis mais elevados desses genótipos.

## Compatibilidade de cruzamentos interespecíficos entre mandioca e espécies silvestres de *Manihot*

Embora espécies silvestres de mandioca sejam importantes fontes de genes úteis que podem ser usados em programas de melhoramento para resistência a estresses bióticos e abióticos, poucos estudos de compatibilidade de cruzamentos entre espécies de *Manihot* têm sido relatados.

Pare avaliar parâmetros relacionados com a compatibilidade de cruzamentos entre *M. esculenta* e espécies silvestres de mandioca, foram feitos cruzamentos controlados, envolvendo cultivares de *M. esculenta* e acessos de 13 espécies silvestres:

- *Manihot anomala*.
- *Manihot flabellifolia*.
- *Manihot jacobinensis*.
- *Manihot peruviana*.
- *Manihot tomentosa*.
- 'Pornuncia'.
- *Manihot caerulescens*.
- *Manihot cecropiaefolia*.
- *Manihot dichotoma*.
- *Manihot glaziovii*.
- *Manihot irwinii*.
- 'Maniçoba'
- Mandioca-sete-anos.

As seis primeiras espécies silvestres foram usadas em cruzamentos recíprocos e as demais cruzadas apenas como mãe (ALVES et al., 2008b).

A compatibilidade foi altamente dependente do genótipo. Das 13 espécies silvestres, apenas 3 produziram sementes:

- *Manihot anomala*.
- *Manihot flabellifolia*.
- *Manihot jacobinensis*.

- *Manihot peruviana*.
- *Manihot tomentosa*.
- *Manihot irwinii*.
- Mandioca sete anos.

A taxa média de flores fertilizadas, frutos estabelecidos e sementes produzidas foram diferentes significativamente entre espécies, e dependentes de ambos os doadores e receptores de grãos de pólen.

Nos 6 cruzamentos recíprocos, apenas 2 espécies silvestres produziram sementes em ambos sentidos, seja como pai ou mãe: *M. flabellifolia* e *M. tomentosa* (Tabela 3). O período de deiscência do fruto polinizado variou de 48 a 97 dias e 182 sementes híbridas foram produzidas de um total de 998 flores polinizadas.

**Tabela 3.** Parâmetros relacionados com a compatibilidade de cruzamentos recíprocos entre *M. esculenta* e seis espécies silvestres de *Manihot*.

Mãe (silvestre)	Pai (cultivada)	N. flores polinizadas	% flores fertilizadas	% frutos estabelecidos	% sementes produzidas	Deiscência (dias)
<i>Anomala</i>	Esculenta	92	43,5	2,2	1,4	66
<i>Flabellifolia</i>	Esculenta	318	23,3	10,4	8,5	68
<i>Jacobinensis</i>	Esculenta	43	20,9	9,3	6,2	48
<i>Peruviana</i>	Esculenta	80	35,0	11,3	6,7	79
<i>Tomentosa</i>	Esculenta	89	76,4	10,1	4,1	81
<i>Pornuncia</i>	Esculenta	16	18,8	6,3	0,0	82
<b>Total</b>		<b>638</b>	<b>34,8</b>	<b>9,1</b>	<b>6,3</b>	<b>71</b>
<b>(cultivada)</b>	<b>(silvestre)</b>					
Esculenta	<i>Anomala</i>	14	50,0	14,3	0,0	66
Esculenta	<i>Flabellifolia</i>	62	66,1	35,5	15,1	66
Esculenta	<i>Jacobinensis</i>	20	70,0	0,0	0,0	0
Esculenta	<i>Peruviana</i>	15	100,0	0,0	0,0	0
Esculenta	<i>Tomentosa</i>	23	30,4	13,0	2,9	77
Esculenta	<i>Pornuncia</i>	13	23,1	0,0	0,0	0
<b>Total</b>		<b>147</b>	<b>59,2</b>	<b>18,4</b>	<b>6,8</b>	<b>70</b>

## Considerações finais

Neste capítulo, os resultados e as experiências relatados foram obtidos, durante o desenvolvimento de dois projetos de pesquisa:

- *Desenvolvimento de tecnologias de baixo custo para piramidação de genes úteis de espécies silvestres de mandioca em progenitores-elits*, financiado pelo *Generation Challenge*

*Programe* (GCP), no período 2005–2008, envolvendo o Centro Internacional de Agricultura Tropical (Ciat) (instituição coordenadora) e a Embrapa Mandioca e Fruticultura (principal instituição colaboradora).

- *Potencial de utilização de espécies silvestres de mandioca como fonte de resistência a estresses bióticos e abióticos* (em andamento), financiado e liderado pela Embrapa Mandioca e Fruticultura, no período 2008–2010.

Os resultados aqui apresentados têm sido divulgados em eventos técnico-científicos, principalmente nas reuniões técnicas anuais, promovidas pelo GCP<sup>1</sup>.

## Referências

- ALLEM, A. C. The origin of *Manihot esculenta* Crantz (Euphorbiaceae). **Genetic Resource and Crop Evolution**, Dordrecht, v. 41, p. 133-150, 1994.
- ALVES, A. A. C.; FARIAS, A. R. N.; DITA, M. A.; SILVA, A. F.; BELLOTTI, A. C.; FREGENE, M. A. Evaluation of cassava interspecific hybrids for resistance to pests and diseases in different environments of Brazil. In: ANNUAL RESEARCH MEETING OF THE GENERATION CHALLENGE PROGRAMME, 2007, Benoni. **Abstracts...** Benoni: Generation Challenge Programme, 2007. p. 67.
- ALVES, A.; MENDES, R.; SILVA, A.; CARVALHO, P. C.; COSTA, I. Current status of the Embrapa wild *Manihot* collection. In: SCIENTIFIC MEETING OF THE GLOBAL CASSAVA PARTNERSHIP (GCP-I), 1., 2008, Ghent. **Cassava: meeting the challenges of the millenium: abstracts**. Ghent: Institute of Plant Biotechnology for Developing Countries, 2008a. p. 81.
- ALVES, A.; TAVARES FILHO, L.; LEDO, C.; SARMENTO, C.; SANTOS, A. Crossing compatibility between wild relatives and cultivated cassava. In: SCIENTIFIC MEETING OF THE GLOBAL CASSAVA PARTNERSHIP (GCP-I), 1., 2008, Ghent. **Cassava: meeting the challenges of the millenium: abstracts**. Ghent: Institute of Plant Biotechnology for Developing Countries, 2008b. p.113.
- BLAIR, M. W.; IRIARTE, G.; BEEBE, S. QTL analysis of yield traits in an advanced backcross population derived from a cultivated Andean wild common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cross. **Theoretical and applied genetics**, Berlin, DE, v. 112, p. 1149–1163, 2006.
- BURBANO, M.; CARABALÍ, A.; MONTOYA, J.; BELLOTTI, A. C. Resistencia natural de especies silvestres de *Manihot* (Euphorbiaceae) a *Mononychellus tanajoa* (Acariformes), *Aleurotrachelus socialis* y *Phenacoccus herreni* (Homoptera). In: CONGRESO DE LA SOCIEDAD COLOMBIANA DE ENTOMOLOGÍA, 32., 2005, Ibagué. **Resúmenes...** Ibagué: Sociedad Colombiana de Entomología, 2005. p.102.
- CARVALHO, R.; GUERRA, M. Cytogenetics of *Manihot esculenta* Crantz (cassava) and eight related species. **Hereditas**, Lund, v. 136, p.159–168, 2002.
- CHAVARRIAGA, P.; PRIETO, S.; HERRERA, C. J.; LÓPEZ, D.; BELLOTTI, A.; TOHME, . Screening transgenics unveils apparent resistance to hornworm (*E. ello*) in the non-transgenic, African cassava clone 60444. In: INTERNATIONAL SCIENTIFIC MEETING OF THE CASSAVA BIOTECHNOLOGY NETWORK, 6., 2004, Cali. **Proceedings...** Cali: CBN: CIAT, 2004. p. 4.
- CHEE, P.; DRAYE, X.; JIANG, C. X.; DECANINI, L.; DELMONTE, T. A.; BREDHAUER, R.; SMITH, C. W.; PATERSON, A. H. Molecular dissection of interspecific variation between *Gossypium hirsutum* and *Gossypium barbadense* (cotton) by a backcross-self approach: I. Fiber elongation. **Theoretical and applied genetics**, Berlin, DE, v. 111, p. 757–763, 2005.
- CIAT. Centro Internacional de Agricultura Tropical. **Annual report project SB-2: assessing and utilizing agrobiodiversity through biotechnology**. Cali: CIAT, 2002.

<sup>1</sup> As publicações geradas por esses projetos podem ser encontradas e baixadas da página do GCP, disponível em: <<http://www.generationcp.org/research.php?da=0642451>>.

- CIAT. Centro Internacional de Agricultura Tropical **Annual report project SB-2: assessing and utilizing agrobiodiversity through biotechnology**. Cali: CIAT, 2003.
- CIAT. Centro Internacional de Agricultura Tropical. **Improved cassava for the developing world: annual report project IP3**. Cali: CIAT, 2006. p. 9-3.
- CIAT. Centro Internacional de Agricultura Tropical. **Improved cassava for the developing world: annual report project IP3**. Cali: CIAT, 2005. p. 12-27.
- DITA, M. A.; ALVES, A. A. C. Incidência e severidade de doenças em espécies silvestres de mandioca. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 32, p. S148, 2007.
- DITA, M. A.; DE JESUS, J. A.; ALVES, A. A. C.; BELLOTTI, A.; FREGENE, M. Evaluation of cassava interespecific hybrids for disease resistance. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, DF, v. 33, p. S199, 2008a.
- DITA, M.; ALVES, A.; SILVA, A.; BELLOTTI, A.; FREGENE, M. Cassava wild species: diseases evaluation in different regions of Brazil. In: SCIENTIFIC MEETING OF THE GLOBAL CASSAVA PARTNERSHIP (GCP-I), 1., 2008, Ghent. **Cassava: meeting the challenges of the millenium: abstracts**. Ghent: Institute of Plant Biotechnology for Developing Countries, 2008b. p.147.
- DITA, M.; ALVES, A.; SILVA, A.; BELLOTTI, A.; FREGENE, M. Evaluation of cassava interspecific hybrids for disease resistance. In: SCIENTIFIC MEETING OF THE GLOBAL CASSAVA PARTNERSHIP (GCP-I), 1., 2008, Ghent. **Cassava: meeting the challenges of the millenium: abstracts**. Ghent: Institute of Plant Biotechnology for Developing Countries, 2008c. p.146.
- FARIAS, A. R. N.; BELLOTTI, A. C.; FREGENE, M.; SILVA, A. F.; ALVES, A. A. C. Avaliação de híbridos interespecíficos de mandioca para resistência a artrópodes-praga em condições semi-áridas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 12., 2007, Paranavaí. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, Botucatu, v. 3, 2007.
- GULICK, R.; HERSHEY, C. H.; ALCAZAR, J. E. **Genetic resources of cassava and wild relatives**. Roma, IT: IBPGR, 1983. 56 p.
- JIANG, C.; CHEE, P.; DRAYE, X.; MORRELL, P.; SMITH, C.; PATERSON, A. Multi-locus interactions restrict gene flow in advanced-generation interspecific populations of polyploid *Gossypium* (Cotton). **Evolution**, New York, v. 54, p. 798–814, 2000.
- NASSAR, N. M. A.; NASSAR, H. N. M.; VIEIRA, C.; SARAIVA, S. L. Cytogenetic behaviour of the interspecific hybrid of *Manihot neusana* Nassar and cassava, *Manihot esculenta* Crantz, and its backcross progeny. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, CA, v. 75, p. 675–678, 1995.
- NORONHA, A.; BOAVENTURA, V.; CAVALCANTE, A.; CALDAS, R.; ALVES, A. *Manihot* wild species as source of resistance to cassava green mites. In: SCIENTIFIC MEETING OF THE GLOBAL CASSAVA PARTNERSHIP (GCP-I), 1., 2008, Ghent. **Cassava: meeting the challenges of the millenium: abstracts**. Ghent: Institute of Plant Biotechnology for Developing Countries (IPBO), 2008a. p. 110.
- PATERSON, A. H.; SARANGA, Y.; MENZ, M.; JIANG, C.; WRIGHT, R. J. QTL analysis of genotype-environmental interactions affecting cotton fiber quality. **Theoretical And Applied Genetics**, Berlin, DE, v. 106, p. 384–396, 2003.
- RENVOIZE, B. S. The area of origin of *Manihot esculenta* as a crop plant: a review of the evidence. **Economic Botany**, New York, v. 26, p. 352-360, 1972.
- ROGERS, D. J.; APPAN, S. G. *Manihot* and *Manihotoides* (Euphorbiaceae). A computer-assisted study. **Flora Neotropica**, New York, n. 13, 272 p. 1973.
- TANKSLEY, S. D.; MCCOUCH, S. Seed banks and molecular maps: unlocking genetic potential from the wild. **Science**, Washington, DC, v. 277, p. 1063-1066, 1997.
- TANKSLEY, S. D.; NELSON, J. C. Advanced backcross QTL analysis: a method for the simultaneous discovery and transfer of valuable QTLs from unadapted germplasm into elite breeding lines. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, DE, v. 92, p. 191-203, 1996.
- YOUNG, N. D.; TANKSLEY, S. D. RFLP analysis of the size of chromosomal segments retained around the *Tm-2* locus of tomato during backcross breeding. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, DE, v. 77, p. 353–359, 1989.