

**ALUÍZIO BORÉM**

Engenheiro-Agrônomo, M. S., Ph. D.

EDITOR

Universidade Federal de Viçosa

*Reitor* Luiz Cláudio Costa

*Vice-Reitora* Nilda de Fátima Ferreira Soares

*Pró-Reitor de Extensão e Cultura* Gumercindo Souza Lima

*Diretor da Editora UFV* José Gouveia da Silva

*Conselho Editorial* Paulo Henrique Alves da Silva  
(Presidente), Eduardo Antônio  
Gomes Marques, Eduardo Seiti  
Gomide Mizubuti, José Gouveia da  
Silva, Kétia Soares Moreira, Pedro  
Crescêncio Souza Carneiro,  
Ricardo Junqueira Del Carlo,  
Ronan Eustáquio Borges e Rosimar  
de Fátima Oliveira

# HIBRIDAÇÃO ARTIFICIAL DE PLANTAS

2ª edição, atualizada e ampliada

A Editora UFV é filiada à



Associação Brasileira das Editoras  
Universitárias



Asociación de Editoriales Universitarias  
de América Latina y el Caribe



Universidade Federal de Viçosa  
2009

© 1999 by Aluizio Borém

1ª edição: 1999

2ª edição: 2009

Direitos de edição reservados à Editora UFV.

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, apropriada e estocada, por qualquer forma ou meio, sem autorização do detentor dos seus direitos de edição.

Impresso no Brasil

Ficha Catalográfica preparada pela Seção de Catalogação da  
Biblioteca Central da UFV

H625 2009	Hibridação artificial de plantas / Aluizio Borém, editor. – 2. ed. atual. ampl. – Viçosa, MG : Ed. UFV, 2009.  625 p. : il. 22 cm. Inclui bibliografia.  ISBN: 978-85-7269-358-5  1. Hibridação vegetal. 2. Plantas – Cultivo. I. Borém, Aluizio, 1959-.  CDD 22.ed. 631-53
--------------	--

Capa:

**Layout:** Aguinaldo Pacheco e José Roberto da Silva Lana

**Foto:** Dr. Reid Palmer - ISU, EUA

**Revisão:** Ana Maria de Gouvêia Almeida e Nelson Coeli

**Diagramação:** José Roberto da Silva Lana

**Impressão e acabamento:** Divisão Gráfica Universitária da UFV

### Editora UFV

Edifício Francisco São José, s/n  
Universidade Federal de Viçosa  
36570-000 Viçosa, MG, Brasil  
Caixa Postal 251  
Tels. (31) 3899-2220/3139  
E-mail: editora@ufv.br

### Pedidos

Tel. (31) 3899-2234  
Tel./Fax (31) 3899-3113  
E-mail: editoravendas@ufv.br  
editoraorcamento@ufv.br  
Livraria Virtual: www.editoraufv.com.br

*Andrei, Alexandre e Larissa,*

*este livro é para vocês.*

# Hibridação de Caju

*Levi de Moura Barros<sup>1</sup>*  
*José Jaime Vasconcelos Cavalcanti<sup>2</sup>*  
*João Rodrigues de Paiva<sup>1</sup>*  
*João Ribeiro Crisóstomo<sup>1</sup>*

## Introdução

O cajueiro, planta de origem brasileira, é encontrado em todo o mundo tropical e sua importância econômica deve-se ao aproveitamento da amêndoa, a ACC, encerrada em seu fruto, a castanha, uma das mais comercializadas no mercado mundial de nozes comestíveis. As atividades de cultivo, industrialização e comercialização geram emprego e renda em diversos países, a maioria dos quais com economia ainda muito dependente do negócio agrícola (BARROS, 2002). Atualmente são comercializadas 240.000 t/ano de ACC que resultaram, em 2006, em cerca de US\$ 2,8 bilhões para o mercado varejista. A distribuição de valores nos principais elos da cadeia agroindustrial da amêndoa mostra ainda que US\$ 820 milhões foram para a indústria e apenas US\$ 410 milhões para o segmento produtivo, sempre o elo mais fraco de qualquer cadeia agroindustrial. O valor da ACC, que é

consumida na forma de aperitivo, poderá aumentar se confirmados os estudos recentes que mostram que ela é rica em ácidos graxos insaturados, predominando o oléico (60,3%) e o linoléico (21,5%), ou seja, contém altos teores de ômega 9 e ômega 6, que são essenciais em todo o ciclo vital humano (MARQUES, 2006).

Na safra 2005, a área colhida e a produção nos principais países produtores foram estimadas em, respectivamente, 3.050.000 ha e 2.310.268 t de castanhas (FAO, 2007), sendo Vietnã, Índia, Brasil, Indonésia, Nigéria, Tanzânia, Costa do Marfim e Guiné-Bissau os principais produtores de castanha de caju (Tabela 1). É importante enfatizar que a liderança do Vietnã deve-se a um programa de incentivo ao plantio do cajueiro-anão-precoce (FIGUEIRÊDO JUNIOR, 2006), originário do Brasil. Na safra 2006/2007, cerca de 195 mil produtores brasileiros colheram, 680 mil ha, 334 mil t de castanhas, que resultaram em exportações de 41.569 t de ACC, ou 17% das exportações mundiais, que valeram US\$ 187,5 milhões (Tabela 2) em divisas para o país. A cadeia agroindustrial da ACC gera, aproximadamente, 40 mil empregos no campo e de 15 a 20 mil na indústria (LEITE; PAULA PESSOA, 2002), além de inúmeras oportunidades nos serviços associados, principalmente transporte e manuseio da castanha e da ACC, em todas as etapas da produção até a chegada ao consumidor final.

Os plantios concentram-se no Nordeste, onde se encontra cerca de 94% da produção e toda a industrialização da castanha produzida. Os plantios localizam-se principalmente na faixa litorânea e transiões com outros ecossistemas dos estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte, áreas afetadas por seca periódica. Este potencial adaptativo da espécie a diversos ecossistemas tem despertado interesse em outras regiões, na busca por alternativas de agronegócios mais lucrativos. Além disso, no Nordeste há expectativa com relação ao sucesso do cajueiro

<sup>1</sup> Eng.-Agrônomo, M.S., Ph.P. Pesquisador da Embrapa - Agroindústria Tropical, Cx. Postal 3761, 60511-110 Fortaleza, CE. E-mail: levi@caju.cnpat.embrapa.br

<sup>2</sup> Eng.-Agrônomo, M.S., Pesquisador da Embrapa - Agroindústria Tropical, Cx. Postal 3761, 60511-110 Fortaleza, CE. E-mail: Jaime@cnpat.embrapa.br

no semiárido, ecossistema que constitui mais da metade da área física da região e onde são mais graves os problemas sociais, pela escassez de opções econômicas para a população. O sucesso da cajucultura em qualquer agroecossistema depende da adoção de tecnologia que inclua, fundamentalmente, genótipos adaptados às condições edafoclimáticas de cada ambiente, razão por que cabe ao melhoramento genético importante papel na viabilização econômica da cultura, independentemente do ambiente de exploração.

Além da ACC, produto de maior interesse pela aceitação em mercados diversos, o cajueiro possibilita a obtenção de dois interessantes subprodutos: o líquido da casca da castanha (LCC), com grande potencial de aproveitamento na indústria química, mas de baixo valor econômico efetivo, decorrente de limitações tecnológicas e comerciais, não tendo sido objeto de interesse momentâneo para o melhoramento; e, o falso fruto ou pedúnculo, na verdade um pedicelo, cujo potencial de aproveitamento é dos mais expressivos pelo leque de opções que possibilita, sendo os principais produtos os sucos concentrado e pronto para beber, que estão entre os mais consumidos no país, doces e refrigerantes, dentre outros, numa gama de 30 a 40 possibilidades industriais com tecnologia já disponível. Além destes, o consumo como fruta de mesa, em franco crescimento nos principais mercados do país, tem motivado o cultivo da planta na maioria dos estados brasileiros.

O aumento da lucratividade da cajucultura depende da maximização do aproveitamento do pedúnculo, que constitui, em média, 90% do peso do conjunto formado por fruto e falso fruto. Para isso, é necessária a disponibilidade de clones com características específicas para cada um dos diferentes usos, o que constitui desafio para o melhoramento genético, porque os méritos de produtividade e melhoria de qualidade dos produtos podem ser obtidos por meio de alterações no ambiente ou nas plantas. Alterações no

ambiente envolvem variáveis diversas, como elementos tóxicos, acidez e baixa fertilidade do solo, pragas, doenças, plantas invasoras, adversidades climáticas e efeito da ação humana nas atividades de manejo do pomar, colheita, armazenamento e transporte, que demandam insumos e tecnologia, que, além de nem sempre estarem disponíveis, acarretam elevação de custos.

As alterações feitas com o objetivo de aumentar a produtividade e melhorar a qualidade do produto são mais duradouras, logo mais importantes para o produtor. O trabalho pode ser direcionado tanto para a produção como para outros caracteres, como tolerância ao estresse hídrico, adaptações a elementos tóxicos do solo, resistência a doenças, tolerância a pragas ou alterações em características como porte, duração do ciclo produtivo, constituição física e química do fruto e pseudofruto, de modo que o resultado final seja a maior satisfação do consumidor e, em decorrência, maior lucro do investidor. Os conhecimentos, métodos e técnicas desenvolvidos ou aperfeiçoados para o melhoramento genético tem propiciado avanços espetaculares na modificação das plantas, tanto nas espécies de ciclo curto como nas perenes. Particularmente, com o cajueiro, a carência de informações decorre do reduzido número de melhoristas envolvidos com a cultura, do pouco tempo de atividades diretamente ligadas ao melhoramento da planta e do conseqüente reduzido número de resultados alcançados.

## Citogenética

Os intercruzamentos, nos diferentes níveis organizacionais, como indivíduo, população, forma, subespécie e espécie, são valiosos recursos para a obtenção de combinações gênicas específicas de interesse econômico. No caso do cajueiro e demais espécies do gênero *Anacardium*, são poucas as informações disponíveis sobre número,

estrutura e morfologia dos cromossomos, significando que pouca ou nenhuma importância tem sido dada à citogenética do cajueiro, o que afeta muito atividades que possam utilizar essas informações.

Entre os estudos realizados para determinar o número de cromossomos do cajueiro, relaciona-se o de Machado (1944), que utilizou fragmentos de raízes de plantas recém-germinadas, nos quais foram encontrados  $2n = 30$  cromossomos em células metafásicas. Esse número contrasta com os  $2n = 42$  cromossomos encontrados por Janaki-Ammal (DARLINGTON, 1945), com método não especificado e com os  $2n = 40$  relatados por Simmonds (1954), utilizando pontas de raízes de plantas recém-germinadas. Mais contrastante ainda foi o número obtido por Khosla et al. (1973),  $n = 12$  (ou  $2n = 24$ ), determinação em que foram utilizadas plantas provenientes das florestas do Himalaia. Eles justificaram o resultado, assegurando que esse tipo de polimorfismo é comum nas plantas domesticadas. Fica claro, no entanto, que há necessidade de novos estudos sobre o número básico de cromossomos do cajueiro cultivado, bem como das demais espécies do gênero.

Por outro lado, a poliploidia é um dos processos citogenéticos mais difundidos e que mais afetam a evolução das plantas superiores, de 30% a 35% delas com essa característica, ou seja, número de cromossomos múltiplo do número diploide básico do gênero (STEBBINS, 1971). Considerando os valores encontrados, nas poucas referências disponíveis, de número de cromossomos do cajueiro e comparando-os com os padrões evolutivos das espécies diploides e poliploides, pode-se especular sobre um possível complexo poliploide associado à espécie *Anacardium occidentale* L. Isto porque essa espécie é a de maior dispersão geográfica do gênero *Anacardium* (MITCHELL; MORI, 1987), e as espécies poliploides caracterizam-se por ocupar grande amplitude ecológica, em decorrência do aumento dos seus complexos gênicos, que possibilitam maior dispersão,

por invasão de áreas geográficas das espécies diploides, das quais incorporam alguns genes (STEBBINS, 1971).

A carência de informações sobre o número de cromossomos das demais espécies do gênero *Anacardium* dificulta o entendimento dos padrões de evolução da espécie cultivada e das especulações sobre as possíveis correlações entre a amplitude da dispersão geográfica e o nível de ploidia. Entretanto, como a amplitude ecológica que as espécies poliploides podem alcançar possibilitam alto grau de tamponamento contra as variações ambientais, seus padrões evolucionários são diferentes dos apresentados pelas espécies diploides, que, progressivamente, ocupam áreas mais restritas, até a extinção (STEBBINS, 1971). Nesse contexto, a espécie *Anacardium occidentale*, pela amplitude da dispersão geográfica, consolida as características de espécie poliploide, ao passo que as demais espécies do gênero, pela restrição das áreas ocupadas, poderiam apresentar níveis de ploidia inferiores, sendo possível até a diploidia em espécies de distribuição geográfica limitada, como *A. corymbosum*, cuja ocorrência é registrada apenas numa área restrita do Estado de Mato Grosso. O número de cromossomos de *Anacardium occidentale* deve ser, então, mais alto do que o das demais espécies do gênero.

Contra essas especulações, pode-se argumentar com o desconhecimento da história evolutiva das espécies não cultivadas de *Anacardium*, bem como com o fato de ser a dispersão natural da espécie *A. occidentale* confundida com a dispersão de cultivo, dificultando o entendimento do padrão de diversificação geográfica natural e, conseqüentemente, a história evolucionária das plantas. Além disso, no gênero *Mangifera*, da mesma família *Anacardiaceae*, as espécies *M. indica* (cultivada), *M. sylvatica*, *M. caloneura*, *M. zeylanica*, *M. caesia*, *M. foetida* e *M. odorata* apresentam o mesmo número,  $2n = 40$  cromossomos (MUKHERJEE et al., 1968). Entretanto, como as diferenças cromossômicas refletem diferenças na fonte de variação genética (STEBBINS, 1971),

é possível que os processos envolvidos na diversificação evolucionária sejam consequência de variação quantitativa do DNA cromossômico pela poliploidia.

Tabela 1 - Produção mundial de castanhas de caju e valor da produção, em 2005

Posição	País	Valor da Produção (\$1,000.00)	Produção <sup>1</sup> (1000 t)
1	Vietnam	543,364	827.000
2	Índia	302,234	460.000
3	Brasil	165,091	251.268 <sup>2</sup>
4	Nigéria	139,947	213.000
5	Indonésia	80,158	122.000
6	Tanzânia	65,703	100.000
7	Costa do Marfim	59,133	90.000
8	Guiné-bissau	53,219	81.000
9	Moçambique	38,108	58.000
10	Benin	26,281	40.000
11	Tailândia	15,769	24.000
12	Malásia	8,541	13.000
13	Quênia	6,570	10.000
14	Gana	4,928	7.500
15	Filipinas	4,599	7.000
16	Madagascar	4,271	6.500
Total			2.310.268

Fonte: FAO (2007).

<sup>1</sup> Valor estimado.

<sup>2</sup> Castanhas beneficiadas pelas grandes indústrias. O valor mais próximo da realidade é 278.000 t.

## Histórico da Cultura

Apesar de ser o berço natural do cajueiro, tendo as missões colonizadoras verificado que o indígena brasileiro utilizava a planta e seus produtos para diversos fins (BARROS; CRISÓSTOMO, 1995), a exploração do cajueiro com finalidade econômica somente teve início, no Brasil, em meados deste século. Até o início da década de 50, a produção de castanha era essencialmente extrativa, restringindo-se seu uso ao consumo local, nas zonas produtoras de alguns estados do Nordeste, ou seja, não tinha destaque na economia nordestina, nem mesmo na economia cearense como principal produtora antes das quatro primeiras décadas do século XX (LEITE, 1994).

Exemplos isolados das primeiras tentativas para estabelecimento de plantios sistematizados de cajueiro com fins comerciais no município de Pacajus, CE, na primeira metade da década de 50, são encontrados na literatura. Foi nesse município que, em 1956, o Governo Federal estabeleceu uma coleção de matrizes de cajueiro, que seria objeto de investigação agrônoma na Estação Experimental de Pacajus, pertencente ao Ministério da Agricultura, razão por que se pode considerar que o melhoramento genético do cajueiro teve seu marco histórico na introdução de plantas do tipo anão precoce nessa estação, originárias de uma população natural no município cearense de Maranguape.

Por meio de incentivos fiscais, gerenciados pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), na segunda metade da década de 60, foi instalado o parque industrial processador de castanha, concentrado no estado do Ceará e com algumas unidades no Rio Grande do Norte e no Piauí. Como resultado da demanda de matéria-prima, ocorreu rápido crescimento da área plantada, possibilitando a elevação da produção. Assim, a agroindústria do caju passou a ter importante papel econômico e social, pois, além de empregar grande

contingente de mão-de-obra, vem participando de forma expressiva na geração de divisas externas (LEITE; PAULA PESSOA, 2002), atualmente mais de 200 milhões de dólares por ano.

Os estudos de cajueiro, particularmente os direcionados para a obtenção de material melhorado, foram dinamizados, resultando nas primeiras plantas fornecedoras de sementes para plantio comercial. No início, os cajueirais eram formados por sementes que não passavam por processo de seleção, a não ser peso e, algumas vezes, densidade e sanidade das sementes. Nenhum desses processos foi eficiente para assegurar a qualidade do material genético utilizado.

O desconhecimento da qualidade tanto das plantas matrizes como das polinizadoras para a obtenção de sementes para o plantio acarretou a formação de pomares desuniformes, tanto nos aspectos morfológicos quanto fisiológicos, com grande variação na produção. Os valores médios de produção obtidos sempre ficaram muito abaixo do esperado, considerando o potencial produtivo da espécie. A desuniformidade manifestou-se também no peso da castanha, afetando a indústria de processamento, em termos de rendimento industrial e de cotação de preço no mercado internacional.

## Taxonomia

### Gênero *Anacardium*

O cajueiro, denominado *Anacardium occidentale* por Lineu, pertence à família *Anacardiaceae*, a qual compreende de 60 a 74 gêneros e de 400 a 600 espécies (RENDLE, 1938; BAILEY, 1964; KHOSLA et al., 1973; BRIZICKY, 1962; MITCHELL; MORI, 1987) de árvores e arbustos (raramente subarbustos e trepadeiras), principalmente tropicais e

subtropicais, com poucos representantes de clima temperado. A principal característica das anacardiáceas é a presença de condutos resinosos no córtex e no lenho, com consequente produção de resina nessas partes, embora haja exsudação também nas folhas, flores e frutos (FAWCET; RENDLE, 1926; BRIZICKY, 1962; BAILEY, 1964; CRONQUIST, 1968; PURSEGLOVE, 1974).

A posição sistemática do gênero *Anacardium*, de acordo com Bailey (1942), é:

Família *Anacardiaceae*

Gênero *Anacardium*

Outras anacardiáceas são exploradas economicamente, destacando-se a manga (*Mangifera indica*) e a pistácia (*Pistacia vera*), árvore nativa do oriente médio e oeste asiático e explorada em áreas do Mediterrâneo, principalmente Turquia e oeste asiático (SMITH, 1976) e sul da Califórnia, para extração da amêndoa, uma das mais importantes no mercado internacional de nozes comestíveis. Também são conhecidas e apreciadas na América tropical, pelo sabor de seus frutos, as espécies do gênero *Spondia*, entre os quais o umbu (*S. tuberosa*), é oriundo do semiárido do nordeste brasileiro; o cajá (*S. mombim*), muito utilizado na indústria sorveteira do nordeste brasileiro; a seriguela (*S. purpurea*) e o cajá-manga (*S. cytherea*).

Com relação ao gênero *Anacardium*, das 21 espécies descritas pela taxonomia tipológica (Tabela 2), apenas três não ocorrem no Brasil: *A. excelsum* (Bert. e Balb.) Skeels, explorada como madeireira e amplamente distribuída no norte da América do Sul e na América Central, até a Costa Rica (SATANDER; ALBERTIN, 1980), *A. rhinocarpus* DC, encontrada na Colômbia, Venezuela e Panamá, e *A. encardium* Noronha, identificada como oriunda da Malásia. As demais espécies são encontradas no Brasil, dispersas na Amazônia e no Planalto Central. Com base na taxonomia numérica, as espécies foram reduzidas a nove, tendo sido descrita, ainda, uma nova espécie, *A. fruticosum*, totalizando

dez espécies de *Anacardium* (Tabela 3), todas de ocorrência no Brasil (MITCHELL; MORI, 1987).

Tabela 2 - Espécies de *Anacardium* descritas pela sistemática tipológica

Espécies	Local de ocorrência
<i>Anacardium brasiliense</i> Barb. Rodr.	Brasil
<i>A. curatellaefolium</i> St. Hil	Brasil
<i>A. encardium</i> Noronha	Malásia
<i>A. giganteum</i> Hancock ex. Engl.	Brasil
<i>A. humile</i> St. Hil	Brasil
<i>A. mediterranneum</i> Vell. Fl. Flum	Brasil
<i>A. nanum</i> St. Hil	Brasil
<i>A. occidentale</i> Linn.	Brasil
<i>A. rhinocarpus</i> D. C. Prod.	Venezuela, Colômbia e Panamá
<i>A. spruceanum</i> Benth Ex. Engl.	Brasil
<i>A. microsepalum</i> Loesn	Amazônia
<i>A. corymbosum</i> Barb. Rodr.	Brasil
<i>A. excelsum</i> Skeels	norte da América do Sul até a Costa Rica
<i>A. parvifolium</i> Ducke	Amazônia
<i>A. amilcarianum</i> Machado	Brasil
<i>A. kuhlmannianum</i> Machado	Brasil
<i>A. negrense</i> Pires e Froes	Brasil
<i>A. rondonianum</i> Machado	Brasil
<i>A. tenuifolium</i> Ducke.	Brasil
<i>A. microcarpum</i> Ducke.	Amazônia
<i>A. othonianum</i> Rizz.	Brasil <sup>1</sup>

Fontes: Index Kewensis e <sup>1</sup>Johnson (1973).

Tabela 3 - Espécies de *Anacardium* descritas pela taxonomia numérica

Espécie <sup>1</sup>	Espécies agrupadas
<i>A. excelsum</i>	<i>A. excelsum</i>
	<i>A. rhinocarpus</i>
<i>A. spruceanum</i>	<i>A. spruceanum</i>
	<i>A. brasiliense</i>
<i>A. occidentale</i>	<i>A. occidentale</i>
	<i>A. mediterraneum</i>
	<i>A. curatellaefolium</i>
	<i>A. microcarpum</i>
	<i>A. rondonianum</i>
	<i>A. amilcarianum</i>
	<i>A. kuhlmannianum</i>
	<i>A. othonianum</i>
	<i>A. subcordatum</i>
<i>A. humile</i>	<i>A. humile</i>
	<i>A. humilis</i>
	<i>A. subterraneum</i>
	<i>A. pumilum</i>
<i>A. nanum</i>	<i>A. nanum</i>
	<i>A. pumila</i>
<i>A. corymbosum</i>	<i>A. corymbosum</i>
<i>A. parvifolium</i>	<i>A. parvifolium</i>
	<i>A. teninfolium</i>
<i>A. fruticosum</i> *	<i>A. fenticosum</i>
	<i>A. parvifolium</i>
<i>A. giganteum</i>	<i>A. giganteum</i>
<i>A. microsepalum</i>	<i>A. negrense</i>

<sup>1</sup> Fonte: Mitchell e Mori (1987).

## Distribuição Geográfica

Embora encontrado em praticamente todo o mundo tropical, do sul da Flórida até a África do Sul, a distribuição natural e maior diversidade do cajueiro ocorrem no Brasil, onde é encontrado, naturalmente ou introduzido, em quase todo o extenso território. Mas foi na Região Nordeste que a espécie se adaptou melhor, principalmente nas regiões costeiras, fazendo parte da vegetação das praias e das dunas, além das formações de restinga (LIMA, 1986).

## Morfologia

### Descrição da Planta

O cajueiro é uma planta perene, de ramificação baixa e porte médio. A copa atinge altura média de 5-8 m e diâmetro médio (envergadura) entre 12 m e 14 m. Excepcionalmente, atinge até 15 m de altura, com diâmetro superior a 20 m. As folhas são simples, inteiras, alternas, de aspecto subcoriáceo, glabras e curto-pecioladas, medindo de 10 a 20 cm de comprimento por 6-12 cm de largura.

O sistema radicular de uma planta adulta é constituído de uma raiz pivotante, muitas vezes bifurcada, profunda, e de diversas raízes laterais, cuja maior concentração (91%) verifica-se na profundidade de 15 cm a 32 cm da superfície (FROTA et al., 1991). Em plantas com até seis anos de idade, Tsakiris e Northwood (1967) encontraram valores que sugeriram um modelo de dois para um na relação raízes laterais/envergadura da copa, ou seja, o sistema lateral chega, em plantas jovens, a duas vezes a projeção da copa. Em plantas adultas, Frota et al. (1991), verificaram que as raízes laterais chegam a quase 20 metros do caule e que a partir delas ocorrem lançamentos de raízes verticais.

Com relação à atividade, Wanid et al. (1989) verificaram que na profundidade de 15 cm e distância de 2 m do caule as raízes são mais efetivas, 54% e 71,6%. Essas informações são importantes para o manejo da cultura, em termos de irrigação e do local e profundidade de aplicação de fertilizantes, além da utilização de equipamentos para controlar ervas daninhas nas entrelinhas do plantio.

## Tipos Varietais

São identificados, naturalmente, dois tipos bem definidos de plantas, com relação ao porte, denominados cajueiro do tipo comum (Figura 1) e cajueiro do tipo anão-precoce (Figura 2). O cajueiro comum é o mais difundido naturalmente e caracteriza-se pelo porte mais elevado, com altura de 8-15 m e envergadura da copa que chega a atingir 20 m. Apresenta grande variação na distribuição de ramos e formato de copa, que vai desde erecta e compacta até espraçada (BARROS, 1988a). A capacidade produtiva individual do cajueiro comum é muito variável, com registro de plantas que produzem menos de um quilo até cerca de 100 kg de castanha por safra (informações não confirmadas sobre uma planta com 400 kg/safra foram obtidas diretamente de um produtor no município de Severiano Melo, RN), valor superior aos 230kg/ha registrados atualmente na cajucultura brasileira. Apresenta grande variabilidade em peso de fruto, que vai de 3-33 g, com peso do pedúnculo variável de 20 a 500g. A idade de estabilização da produção das plantas é superior a oito anos, sendo normal entre 12 e 14 anos. Na quase totalidade dos plantios comerciais foram utilizadas sementes de cajueiro do tipo comum.

O cajueiro tipo anão precoce, também conhecido por cajueiro-de-seis meses, caracteriza-se pelo porte baixo, copa homogênea, diâmetro de caule e envergadura inferiores aos do tipo comum. O florescimento tem início normalmente aos seis meses, estendendo-se por seis a oito meses, contra os

cinco a sete meses do tipo comum. O peso do fruto, nas populações naturais, varia de 3 a 10 g e o do pedúnculo de 20 a 160 g, o que significa que são características com menor variabilidade, em relação ao tipo comum. A capacidade produtiva individual também é menor, com produção máxima registrada de 63 kg de castanhas (BARROS, 1988b). As principais diferenças entre esse tipo varietal e o tipo comum são ilustradas na Tabela 4.



Figura 1 - Cajueiro de porte comum.



Figura 2 - Cajueiro de porte anão e precoce.

Tabela 4 - Principais diferenças entre o cajueiro tipo comum e o cajueiro anão precoce

Características	Comum	Anão
Origem	Amazônia e Região Nordeste	Provavelmente Amazônia
Porte (m)	alto (8 - 15)	baixo (< 4)
Tamanho da copa (m)	10 a 20	5 a 6,5
Primeira floração	3 a 5 anos	6 a 18 meses
Variação no peso da castanha (g)	3 a 33	3 a 13
Variação no peso do pedúnculo (g)	20 a 500	20 a 160
Produção: castanha/planta/safra (kg)	<1 a >100	até 43

## Modelo de Crescimento

O cajueiro alterna, normalmente, uma fase vegetativa e outra reprodutiva por ciclo. Essas fases de crescimento são reguladas tanto pelas características genéticas da planta como pelas condições ambientais, razão por que podem ser observadas alterações nesse padrão normal. Dasarathi, segundo Nambiar (1975), classificou as ramificações do cajueiro em intensivas e extensivas, que correspondem às fases de crescimento da planta. Na ramificação intensiva o ramo cresce de 25 a 30 cm e dá origem a uma panícula na extremidade, além de três a oito novos ramos laterais, que crescem de 10 cm a 15 cm da extremidade, ou seja, do ponto que deu origem a uma panícula terminal. Esses ramos laterais também resultam em panículas.

Nas ramificações extensivas o ramo cresce de 20 a 30 cm e repousa, não resultando em panícula. Desse ramo nasce outro, de 5-8 cm do ápice, com as mesmas características, ou seja, cresce e repousa. Somente de dois a três anos depois alguns desses ramos dão origem a uma panícula.

A quantidade e a distribuição dos dois tipos de ramificações influenciam o formato da copa e o potencial produtivo da planta. A predominância de ramificações do

tipo intensivo é desejável porque confere homogeneidade à copa, dando-lhe o formato característico de guarda-chuva. A predominância de ramificações do tipo extensivo faz com que a copa seja esgalhada e aberta, apresentando a planta menor quantidade de panículas por unidade de superfície da copa e, em decorrência, potencial produtivo menor do que o das plantas com maior quantidade de ramificações extensivas.

## Florescimento

Os procedimentos adotados na execução dos trabalhos de melhoramento genético do cajueiro, como em qualquer outra espécie, dependem, fundamentalmente, do seu modo de reprodução e do conhecimento da biologia floral, incluindo basicamente a morfologia floral, o tipo de reprodução e os aspectos relativos à polinização e fertilização. São importantes também as consequências das alterações induzidas artificialmente no modo natural de reprodução, nos cruzamentos dirigidos e nas autofecundações. Some-se a isso o fato de ser o fruto a parte mais importante da planta, do ponto de vista econômico, o que justifica a importância dada às flores, ao florescimento e à frutificação.

O período de florescimento do cajueiro varia conforme o genótipo e o ambiente. Na maior parte do nordeste setentrional do Brasil, no litoral e transições com outros agroecossistemas, em latitudes em torno de 6º Sul e altitudes que não ultrapassam 100m, onde tem sido obtida a maior quantidade de informações sobre a planta, o período de florescimento varia de cinco a sete meses no tipo comum (de julho/agosto a dezembro/janeiro) e de seis a oito meses (de junho/julho a janeiro/fevereiro) no tipo anão precoce (BARROS et al., 1984; BARROS, 1988b; FREITAS, 1994). Em alguns genótipos, em condições específicas de ambientes, o cajueiro pode florescer o ano inteiro. De modo geral, esse comportamento tem sido observado, com variações na época do ano, nas demais regiões do País.

A inflorescência é uma panícula terminal onde se encontram, ao mesmo tempo, flores masculinas (estaminadas) (Figura 3) e hermafroditas (perfeitas) (Figura 4), sendo o cajueiro, em decorrência, uma planta andromonóica. O número de panículas por planta e o número de flores por panícula, bem como a distribuição dos dois tipos de flores em cada panícula, são variáveis (RAO; HISSAN, 1957; PILLAI; PILLAI, 1975; DAMONDARAM et al., 1979).



Figura 3 - Flores masculinas (estaminadas).



Figura 4 - Flores hermafroditas (perfeitas).

A flor completa é constituída de cinco sépalas, cinco pétalas, um ovário simples – rudimentar nas estaminadas – e de sete a 15 estames, sendo mais comum a ocorrência de dez, com um grande e nove pequenos. Nas hermafroditas, o estigma fica normalmente acima de todos os estames, o que dificulta a autofecundação dentro da mesma flor e pode constituir mecanismo evolutivo de favorecimento à polinização cruzada. Entretanto, é possível a geitogamia – polinização entre flores diferentes de um mesmo genótipo – uma vez que a espécie não apresenta sistema de auto-incompatibilidade.

Nas flores masculinas, a abertura tem início por volta das seis horas. Continuam abertas por todo o dia, até aproximadamente as 16 h. A abertura das flores hermafroditas concentra-se entre as 10 e as 12 horas, com pouca variação. Normalmente, a viabilidade do pólen é alta e o estigma fica receptivo um dia antes da abertura das flores, o que se prolonga por dois dias. A flor tem odor proeminente, um atrativo para os insetos, sendo a abelha (*Apis mellifera*) a espécie mais importante na polinização do cajueiro. O pólen não apresenta características favoráveis para o transporte pelo vento (PAULINO, 1992; FREITAS, 1994; FREITAS; PAXT, 1996). Com relação à qualidade do pólen, Freitas e Paxt (1996) verificaram que apenas os oriundos dos estames maiores, tanto das flores hermafroditas como das estaminadas, são viáveis e participam do processo reprodutivo, sendo inviável o pólen oriundo dos estames menores, de ambos os tipos de flores.

## Desenvolvimento do Fruto

O fruto é um aquênio reniforme, que se prende ao pedúnculo hipertrofiado (Figura 5). O padrão de crescimento é o mesmo nos tipos comum e anão precoce, caracterizando-se por ser lento no início, até certa etapa do desenvolvimento, quando se torna acelerado, até atingir um ponto máximo

antes de completar a maturação. Por ocasião da maturação, o fruto apresenta uma visível redução de tamanho, em relação ao ponto máximo de crescimento (DAMODARAN et al., 1966; ALMEIDA et al., 1987). As diferenças registradas, tanto para o tempo necessário para que se complete cada etapa como para o percentual de redução do peso do fruto maduro, em relação ao peso máximo atingido no pico de crescimento, devem-se não só às diferenças genotípicas entre os indivíduos estudados, mas também a diferenças de efeitos ambientais. Isso acontece tanto entre anos como dentro de anos, nos diferentes locais e condições de cultivo das plantas e até de localização das panículas dentro da copa de um mesmo indivíduo. Assim, enquanto Almeida et al. (1987) registraram 52 dias para a completa maturação e 15% de redução no peso dos frutos maduros de cajueiro do tipo anão precoce, em relação ao peso máximo atingido na fase de crescimento, Bueno (1996) verificou, em frutos do clone CCP 76, que o crescimento é lento nos 15 dias iniciais, com um período de maior aceleração até os 30 dias, quando volta a cair a taxa de crescimento até os 36 dias. Nesse período, o crescimento máximo é atingido. Devido às reduções, o comprimento final do fruto foi de 72%, com largura de 76% e peso de 60% do máximo registrado.



Figura 5 - Fruto do cajueiro.

O crescimento do pedúnculo também é caracterizado por uma etapa inicial mais lenta, seguida por uma fase de taxa mais acelerada, a partir de determinado período. Entretanto, diferentemente do fruto, o pedúnculo não sofre redução de crescimento após atingido o ponto máximo, que coincide com a maturação e queda. O início da aceleração do crescimento do pedúnculo ocorre concomitante com o ponto de crescimento máximo e início da redução do crescimento do fruto.

Com relação às transformações, Bueno (1996) verificou que, no cajueiro do tipo anão precoce, oito horas após a polinização são visíveis alterações no tamanho e cor do ovário, ocorrendo o mesmo com o tamanho e coloração (de verde para arroxeadas) da extremidade do pedicelo e da base das sépalas. Em ambas as estruturas essas alterações se completam 24 horas após a polinização.

No cajueiro, a frutificação ocorre na periferia da copa, sendo ele, portanto, uma planta com características das espécies heliófilas. Em estudos realizados, por cinco anos, na Estação Experimental de Pacajus, CE, utilizando como referência as partes das plantas delimitadas pelos pontos cardeais, 30,9% da produção foram obtidas do lado oeste (SW/NW) e 29,3% do lado norte (NW/NE), contra 20,7% e 19,1% dos lados leste (NE/SE) e sul (SW/SE), respectivamente (CRISÓSTOMO et al., 1992). Este comportamento já havia sido observado na Estação Experimental de Pacajus, da Embrapa, em dez plantas de cajueiro comum e seis fileiras do clone de cajueiro anão precoce CCP 76. Estas observações permitiam as seguintes conclusões: a) as maiores produções de todas as plantas foram obtidas no lado poente (69,7%); b) a maior exposição das partes reprodutivas do cajueiro aos raios solares induziu maior atividade produtiva; c) portanto, a orientação do plantio de um pomar deve obedecer a uma disposição que favoreça a maior exposição das panículas à radiação solar, sobretudo no período da tarde. Esse comportamento deve-se

ao efeito da intensidade de luz fotossinteticamente ativa no lado poente, conforme discutido por Subbaiah (1983). Estudos sobre poda do cajueiro, portanto, deverão considerar esses aspectos para serem eficientes.

## Hibridação

Todas as espécies hoje cultivadas foram virtualmente domesticadas na Antiguidade; entretanto não há informações seguras para deduções sobre a origem e o desenvolvimento dessas plantas e, quando podem ser obtidas, ocorrem de forma fragmentada ou indireta; assim mesmo, com muito custo. Para Anderson (1961), a introgressão foi responsável por inúmeras e valiosas contribuições para as formas cultivadas. Entre essas formas, algumas são de frutíferas de importância econômica. Há, portanto, aumento da variação genética em gerações segregantes de cruzamentos de genitores pertencentes a espécies diferentes, embora os híbridos desses cruzamentos sejam normalmente inviáveis para o cultivo em decorrência da grande quantidade de caracteres indesejáveis do genitor silvestre.

O cruzamento de clones de cajueiro resulta em progêneses segregantes, pelo fato de ser cada indivíduo, em essência, um híbrido. Em decorrência, os indivíduos obtidos formam um conjunto semelhante a uma geração  $F_2$ , onde a segregação é mais intensa e deve ser iniciada a seleção para fixação dos melhores indivíduos. O que deve ser cuidadosamente observado é a intensidade de seleção praticada nessa geração, para que não ocorram eliminações drásticas, fruto da tentação natural do melhorista de reduzir substancialmente o número de indivíduos já nas primeiras gerações.

Outro aspecto de importância no programa de cruzamento do cajueiro é a seleção de plantas que apresentem características favoráveis nas gerações segregantes, em razão da possibilidade de fixação imediata

dessas combinações genéticas, diferentemente do que ocorre em plantas que se propagam por sementes. Nestas, o melhorista tem a vantagem de poder avaliar número elevado de cruzamentos, já se dispondo até de métodos para predição da capacidade geral e da capacidade específica de combinação, o que não ocorre com o cajueiro, em que, além de limitação na quantidade de indivíduos avaliados, há o problema do tempo para que um ciclo de seleção seja completado, com necessidade de técnicas auxiliares para que avanços ocorram em menor espaço de tempo.

A eficiência de 1.999 hibridações artificiais de plantas matrizes de cajueiro anão precoce, dessas plantas com o cajueiro comum, realizadas na Estação Experimental de Pacajus, foi de 16,55% de frutificação, com variação de 8,9% a 28,9% (Tabela 5). A média dos cruzamentos dos genótipos de cajueiro anão (17,4%) foi ligeiramente superior à dos cruzamentos de anão com comum (15%), que pode ter sido ocasional.

### Técnica de Polinização Controlada

A técnica utilizada para a polinização no cajueiro consiste dos seguintes passos: a) emasculação das flores masculinas e órgãos masculinos das flores hermafroditas nas inflorescências que servirão como genitor feminino (Figura 6); b) coleta das flores masculinas nas inflorescências do genitor masculino, nas primeiras horas da manhã, acondicionando-as em placa de Petri com algodão umedecido; c) no horário das 10 às 12 horas, quando ocorre a antese das flores hermafroditas e o período é favorável à deiscência das anteras, é efetuada a polinização manual, balançando a flor coletada sobre o estigma da flor receptora, de forma que os grãos se soltem e fiquem aderidos à sua superfície (Figura 7); d) após uma semana, verifica-se o "pegamento" (Figura 8).

Resultados recentes, analisados por Paiva et al. (1998), de aproveitamento da polinização controlada dos

clones de cajueiro CCP 76 e CCP 1001 encontram-se no Tabela 6. O percentual de aproveitamento da polinização manteve-se relativamente alto, acima de 60%, para o grupo de plantas autofecundadas e para o híbrido CCP 76 x CCP 1001. Por outro lado, o cruzamento recíproco atingiu índice inferior a 40%, evidenciando a influência da herança citoplasmática na eficiência da polinização, quando o clone CCP 1001 funciona como genitor feminino.

Tabela 5 - Eficiência da hibridação artificial do cajueiro na Estação Experimental de Pacajus, CE

Cruzamentos	Flores polinizadas	Frutos colhidos	Frutificação (%)
<b>ANÃO x ANÃO</b>			
CCP 09 x CCP 06	114	33	28,9
CCP 09 x CCP 76	170	23	13,5
CCP 09 x CCP 1101	112	19	17,0
CCP 09 x C1P 3	97	21	21,6
CCP 09 x 399	192	28	14,6
CCP 1001 x CCP 06	167	31	18,6
CCP 1001 x 399	149	20	13,4
Subtotal	1220	212	17,4
<b>ANÃO x COMUM</b>			
CCP 09 x Matriz 07	228	25	11,0
CCP 09 x Matriz 12	172	29	16,9
CCP 09 x Matriz 77	126	18	14,3
CCP 09 x Matriz 96	112	10	8,9
CCO 09 x B. T.	141	35	24,8
Subtotal	779	117	15,0
<b>T o t a l</b>	<b>1999</b>	<b>329</b>	<b>16,5</b>

Fonte: Banco de dados da Embrapa Agroindústria Tropical.

Tabela 6 - Aproveitamento da polinização controlada do cajueiro

Clones	Nº flores polinizadas	Polinização (%)	“Pegamento” (%)	Germinação da semente (%)
<b>Polinização Controlada</b>				
<b>1. Autofecundação</b>				
CCP 76	808	63,1	4,7	84,0
CCP 1001	167	61,1	4,2	63,0
<b>2. Cruzamento</b>				
CCP 76 x CCP 1001	796	64,6	8,0	86,0
CCP 1001 x CCP 76	644	39,1	14,6	81,0
<b>Polinização Livre</b>				
CCP 76	-	-	-	94,0
CCP 1001	-	-	-	86,0

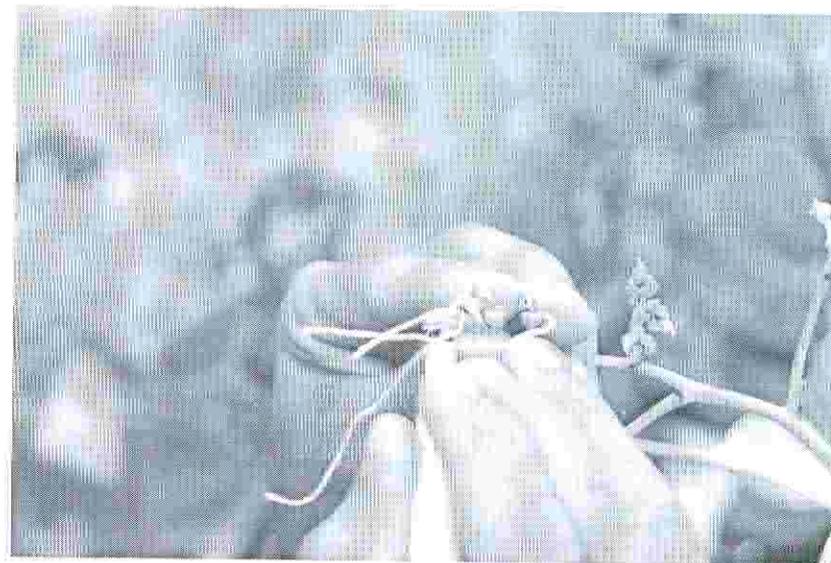


Figura 6 - Emasculação das flores que receberão o pólen.

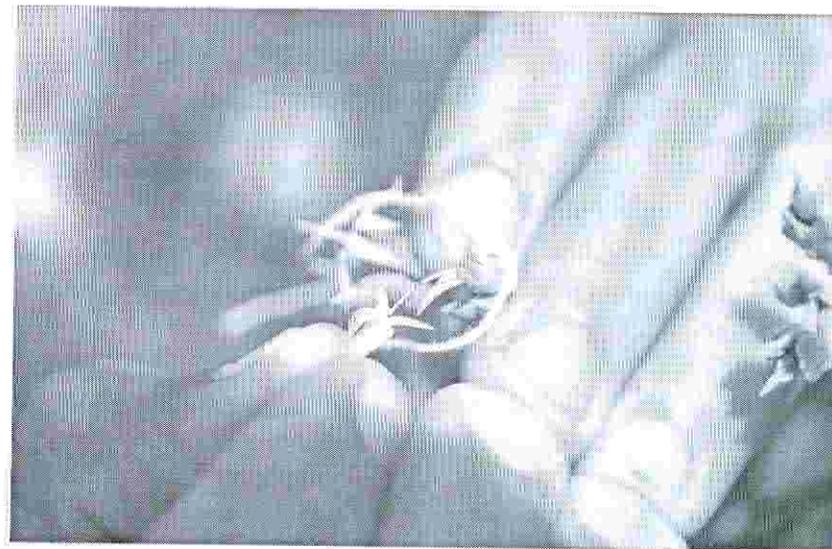


Figura 7 - Polinização.



Figura 8 - Frutos em início de desenvolvimento, uma semana após a hibridação.

Para o melhoramento genético de qualquer espécie são necessárias informações básicas, como modo de reprodução, taxa de fertilização cruzada ou de autofertilização, agentes polinizadores, facilidade de reprodução assexuada, fenologia e número de cromossomos.

No caso do cajueiro, uma série desses estudos vem sendo efetuada no Brasil, destacando-se as seguintes pesquisas: estudo do florescimento, frutificação e queda dos frutos nos cajueiros comum e anão-precoce.

Com esse objetivo avaliaram-se, durante dois anos, 10 plantas de cajueiro-comum e 10 de anão-precoce no Campo Experimental de Pacajus, CE. Em cada planta foram avaliadas doze panículas, três para cada ponto cardeal. Em cada uma foram mensurados duração, em dias, da emissão de flores, número de flores masculinas e hermafroditas, número de frutos jovens (recém-formados), os que atingiram a fase de colheita, e percentagem de frutos perdidos, isto é, frutos caídos ao chão ou que não completaram a maturação.

Os resultados obtidos constam na Tabela 7 e são resumidos a seguir:

a) a duração da emissão de flores por panícula nos cajueiros comum e anão-precoce foi de 97,9 e 102,3 dias, respectivamente;

b) o cajueiro-anão-precoce produziu 201,9 flores por panícula, das quais apenas 3,9% foram hermafroditas. A média de flores do cajueiro-comum foi de 173,8, sendo 7,9% hermafroditas;

c) nos dois tipos foi reduzida a frequência de flores hermafroditas (abaixo de 8%), o que precisa ser melhorado;

d) dos frutos formados no cajueiro-comum, apenas 9,9% atingiram a fase de colheita; o restante (90,1%) foi perdido durante o desenvolvimento. No tipo anão, a perda foi de 89,7%;

e) esses resultados mostraram que, além do baixo índice de flores hermafroditas, a perda de frutos foi muito elevada.

Tabela 7 - Duração da emissão de flores, número de flores e de frutos jovens, colhidos e perdidos por panícula, numa população de 10 plantas de cajueiro-comum e 10 de anão-precoce, avaliadas em Pacajus, CE

Característica	Tipos de cajueiro <sup>1</sup>			
	Comum	(%)	Anão	(%)
Emissão de flores / panículas (dias)	97,9	-	102,3	-
Total de flores	173,8	100,0	201,9	100,0
Masculinas	160,0	92,1	194,1	96,1
Hermafroditas	13,8	7,9	7,8	3,9
Frutos jovens	4,4	100,0	3,6	100,0
Perdidos	4,0	90,1	3,1	98,7
Formados (colhidos)	0,4	9,9	0,5	10,3

<sup>1</sup> Média de dois anos (1974-75).

Fonte: Crisóstomo et al. (1992).

Com o objetivo de avaliar a magnitude da segregação fenotípica no cajueiro precoce está sendo avaliado um campo de 5,3 ha, implantado em 1989, com sementes oriundas do clone CCP 76, no município de Icapuí, CE, onde foram estimadas as frequências dos tipos de plantas surgidos. Coletou-se também uma amostra de castanha, para comparação com outra, coletada num campo cultivado com mudas enxertadas do clone CCP 76. Os principais resultados são sumariados a seguir:

a) nos 5,3 ha referidos ocorreram 67% de plantas anãs e 33% que segregaram em seis tipos de copas diferentes. Dentre as plantas anãs, 56% floresceram entre seis e nove meses e apenas 17% frutificaram. Essas duas características também foram variáveis nos outros seis tipos segregantes;

b) na amostra de castanha proveniente do campo de sementes, encontraram-se as categorias cajuí (3%), miúda (16%), pequena (60%) e média (21%) contra 40% de pequena e 60% de média na amostra oriunda do campo formado pelo clone CCP 76;

c) quanto às amêndoas, além da ocorrência do menor número de classes, o clone proporcionou maior frequência dos tipos superiores.

Esses resultados evidenciam que a prática da propagação sexuada no cajueiro, ou seja, o plantio de sementes do clone CCP 76 provocará desuniformidade das plantas nos pomares e das características de importância econômica (castanha, amêndoa e pedúnculo), com implicações na rentabilidade do plantio. Apesar disso, muitos produtores ainda estão utilizando sementes de clones ou de matrizes de cajueiro-anão-precoce na formação de novos plantios.

Ao empregar sementes colhidas num campo de clone, o produtor está utilizando castanhas autofecundadas, que resultaram do cruzamento natural de flores de uma mesma planta ou de flores das demais plantas do pomar clonal, ou seja, do mesmo genótipo propagado assexuadamente. Se

ocorrer o fenômeno da depressão por endogamia (*inbreeding*), o produtor poderá ter novo campo com média de produção e de outras características inferiores à do campo do clone original.

Com o objetivo de investigar esse fenômeno, o EMBRAPA AGROINDÚSTRIA TROPICAL vem realizando, em Pacajus, CE, comparações de progênies autofecundadas (AF) e de polinização (PL) dos clones CCP 76 e CCP 1001. Inicialmente, foi observada perda de vigor na percentagem de germinação, no diâmetro do caule, na altura e no número de folhas de plantas autofecundadas com seis meses de idade (EMBRAPA/CNPCa, 1991).

Na Tabela 8 são apresentados os resultados obtidos em 1991, que possibilitam os seguintes comentários:

a) a perda de vigor repetiu-se na altura da planta e ocorreu noutros caracteres;

b) a maior redução da média ocorreu na produção (acima de 37% nas duas matrizes) e no número de castanha por planta, evidenciando o maior efeito da endogamia nesses caracteres;

c) a redução no peso da castanha e da amêndoa foi mais acentuada no CCP 76, em torno de 10%;

d) apesar de preliminares, esses resultados evidenciam que o emprego de sementes desses dois clones ou das matrizes no plantio não é prática adequada

Paiva *et al.* (1998) apresentaram uma análise dos efeitos da depressão por endogamia sobre as características vegetativas e de produção, aos 12, 18 e 29 meses de idade das plantas, em progênies de clones de cajueiro-anão-precoce, originárias de autofecundações, polinizações livres e controladas. Entre os principais resultados destacam-se: a) o percentual de germinação de sementes foi alto em todos os grupos (81% - 94%), com exceção do percentual de sementes originárias de autofecundação do clone CCP 1001, que foi de 63%; b) os efeitos deletérios da endogamia foram mais pronunciados na

produção e no número de castanhas; c) a redução no caráter produção de castanha/planta foi de 37,6% no clone CCP 76, ao passo que no clone CCP 1001 foi de 48%. Outro caráter afetado pela endogamia foi o número de castanhas, com 25,3% e 43,3%, nos clones CCP 76 e CCP 1001, respectivamente. No cajueiro, efeitos endogâmicos se expressam na redução do percentual de germinação das sementes e, principalmente, na produção média de castanhas autofecundadas.

Por outro lado, Damodaran (1975) evidenciou ocorrência de vigor híbrido (heterose) no cajueiro para diversos caracteres com incrementos de 153% para produção de castanhas em plantas derivadas de cruzamentos. Este fenômeno também foi detectado por Manoj e George (1993) para os caracteres produção, peso de castanha e amêndoa. Mais recente, Cavalcanti *et al.* (2000) avaliou a heterose em plantas oriundas do cruzamento entre os tipos comum e anão-precoce e constataram efeitos de 20% para a altura da planta, 32% para diâmetro da copa, 121% para número de castanha por planta, 192% para produtividade, 15% para peso da castanha e 19% para peso da amêndoa. Avaliando genótipos obtidos de cruzamentos entre cajueiro-anão-precoce, Cavalcanti *et al.* (2003) identificaram incrementos médios de 12%, 19%, 98%, e 97%, para altura da planta, diâmetro da copa, número de castanha por planta, produtividade, respectivamente, indicando presença significativa da heterose nesta espécie.

Cavalcanti *et al.* (2007) determinaram as estimativas da herdabilidade genotípica ( $h^2g$ , herdabilidade no sentido amplo) e aditiva ( $h^2a$ , herdabilidade no sentido restrito) em dois anos de avaliação. Seus resultados mostraram altas magnitudes para os caracteres altura da planta (89,1% e 86,5%, 1º e 2º anos, respectivamente), diâmetro da copa (65,9% e 51,2%), peso da castanha (76,9% e 63,2%) e peso da amêndoa (74,3% e 58,8%). Por outro lado, número de castanhas por planta e produtividade tiveram baixas magnitudes, não ultrapassando 41,1% para  $h^2g$  e 21,2% para  $h^2a$ .

Tabela 8 - Depressão por endogamia em progênies autofecundadas (AF) em relação a progênies de polinização livre (PL) de duas matrizes de cajueiro-anão-precoce, avaliadas em 1991. Fortaleza, 1992

Caracteres	CCP 76 <sup>1</sup>		CCP 1001 <sup>2</sup>		Depressão (%)
	PL	AF	PL	AF	
Produção (g)	869,6	542,3	973,7	506,4	48,0
Nº de castanhas	121,4	89,4	173,3	96,7	44,2
Envergadura (m)					
N-S	4,0	3,5	3,7	3,1	16,2
L-O	4,1	3,5	3,6	3,2	11,1
Peso da castanha (g)	7,8	6,9	6,3	6,2	1,6
Peso da amêndoa (g)	2,0	1,8	1,7	1,5	11,8

<sup>1</sup> Média de 16 plantas.

<sup>2</sup> Média de sete plantas.

Fonte: EMBRAPA/CNPq (1992).

O programa de melhoramento genético do cajueiro tem alcançado excelentes resultados nas últimas décadas. No entanto, o emprego das técnicas convencionais de melhoramento em plantas perenes é dificultado por uma série de fatores, como por exemplo: longo período juvenil e tempo necessário para avaliações, alta heterozigosidade dos genótipos, efeitos ambientais, e necessidades de grandes áreas experimentais.

Marcadores moleculares estão sendo utilizados na construção de mapas de ligação do cajueiro (CAVALCANTI, 2004; CAVALCANTI; WILKINSON, 2007). Esses autores elaboraram dois mapas (um para o cajueiro-comum e outro para o cajueiro-não-precoce) que possuem 194 marcadores AFLP e 11 SSR. Cavalcanti (2004) ainda identificou três QTLs, um para o mofo-preto, doença de grande importância, um para a altura da planta e outro para o diâmetro da copa.

A identificação de um maior número dos marcadores moleculares, principalmente do tipo SSR, torna-se imprescindível ao melhoramento do cajueiro, uma vez que proporcionará um maior saturamento do mapa genético e aumentará o poder das análises de identificação e localização QTLs. Em consequência, o emprego desses resultados, através da seleção assistida por marcadores, provavelmente facilitará a obtenção de clones e populações mais produtivas, resistentes aos fatores bióticos e abióticos, como resistência a doenças e estresses hídricos, como também para outros caracteres de importância, como tamanho e qualidade da castanha e do pedúnculo, com maior eficiência, rapidez e menor custo.

## Referências

ALMEIDA, J.I.L.; BARROS, L.M.; LOPES, J.G.V.; ARAÚJO, F.E. Estudo sobre crescimento do fruto e pseudofruto do cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) do tipo anão. *Revista Brasileira de Fruticultura*, n. 9, v. 3, p. 21-30, 1987.

- ANDERSON, E. The analysis of variation in cultivated plants with special reference to introgression. *Euphytica*, v. 10, p. 78-86, 1961
- BAILEY, L.H. **Manual of cultivated plants**. 8ed. [S.l.,s.n.], 1964. 1116 p.
- BARROS, L.M. Biologia floral, colheita e rendimento. In: LIMA, V.P.M.S. **A cultura do cajueiro no Nordeste do Brasil**. Fortaleza: BNB/ETENE, 1988. p. 301-319. (BNB/ETENE. Estudos Econômicos e Sociais, 35).
- BARROS, L.M. Melhoramento. In: LIMA, V.P.M.S. **A cultura do cajueiro no Nordeste do Brasil**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil/ETENE. 1988b. p. 321-356. (BNB/ETENE. Estudos Econômicos e Sociais, 35).
- BARROS, L.M. **Caju. Produção: aspectos técnicos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. 148p. (Frutas do Brasil, 30).
- BARROS, L.M.; ARAÚJO, F.E.; ALMEIDA, J.I.L.; TEIXEIRA, L.M.S. **A cultura do cajueiro anão**. Fortaleza: EPACE, 1984. 67p.
- BARROS, L.M.; CRISÓSTOMO, J.R. Melhoramento genético do cajueiro. In: ARAÚJO, J.P.P.; SILVA, V.V. **Cajucultura: modernas técnicas de produção**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 1995. p. 73-93.
- BARROS, L.M.; CRISÓSTOMO, J.R.; ALMEIDA, J.I.L.; ARAÚJO, F.E. O policruzamento como método de melhoramento para o cajueiro anão precoce (*Anacardium occidentale* L.). In: ENCONTRO DE GENÉTICA DO NORDESTE, 9., 1993, Teresina. *Anais...* Teresina: Sociedade Brasileira de Genética, 1993. p. 100.
- BRIZICKY, G.K The genera of Anacardiaceae in the southeastern United States. *Journal of Arnold Arboretum*, v. 43, p. 359-65, 1962.
- BUENO, D.M. **Estudo da floração, frutificação, embriogênese final zigótica e anatomia do pericarpo do cajueiro anão precoce** (*Anacardium occidentale* L.). 1996. 95 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa.
- CAVALCANTI, J. J. V.; PINTO, C. A. B. P.; CRISÓSTOMO, J. R.; FERREIRA, D. F. 'Análise dialélica para avaliação de híbridos interpopulacionais de cajueiro'. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 35, p. 1567-1575, 2000.
- CAVALCANTI, J. J. V.; CRISÓSTOMO, J. R.; BARROS, L. M.; PAIVA, J. R. "Heterose em cajueiro anão precoce". *Ciência e Agrotecnologia*. v. 27, p. 565-570, 2003.
- CAVALCANTI, J. J. V. **Genetic mapping and QTL identification in cashew (*Anacardium occidentale* L.)**. 178 f. 2004. Thesis (PhD) – University of Reading, Reading.

- CAVALCANTI, J.J.V.; WILKINSON, M.J. The first genetic maps of cashew (*Anacardium occidentale* L.). **Euphytica**, Wageningen, v. 157, n. 1-2, p. 131-143.
- CRISÓSTOMO, J. R.; GADELHA, J. W. R.; ARAÚJO, J. P. P.; BARROS, L. de M. Segregação fenotípica decorrente do plantio de sementes de clones de cajueiro anão precoce (*A. occidentale* L.). In: ENCONTRO DE GENÉTICA DO NORDESTE, 8., São Luís, MA. **Livro de resumo**. São Luís: Sociedade Brasileira de Genética, p. 61. 1992.
- CRONQUIST, A. **The evolution and classification of flowering plants**. Bost: Hought Mifflin, 1968. 396 p.
- DAMODARAN, V.K.; ABRAHAM, J.; ALEXANDER, K.M. The morphology and the cashew flower. II anthesis, dehiscence, receptivity of stigma, pollination, fruit set and fruit development. **Agricultural Research Journal of Kerala**, v. 4. n. 2, p.78-84, 1966.
- DAMONDARAN, V. K. Hybrid vigour in cashew (*Anacardium occidentale* L. ). **Agric. Pes. Journal Kerala**, v. 13, p. 195-196, 1975.
- DAMODARAN, V.K.; VILASACHAN, Y.; VALSALAKUMARI, P.K. **Research on cashew in India**. Kerala: Agricul. Univ., 1979. p.10-35. (Tech. Bull.).
- DARLINGTON, C.D. **Chromosome atlas of cultivated plants**. London, 1945. 397 p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Caju. Seleção de matrizes e formação de jardins clonais de cajueiro para produção de sementes e mudas. **Relatório. Form. 13.**, Fortaleza, CNPcA, ano 1992. (Projeto de Pesquisa).
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Caju. **Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Caju. 1989-1990**. Fortaleza, 1991.
- FAWCETT, W.; RENDLE, A.B. **Flora of Jamaica - vol. V - Dicotyledons**. London: British Museum, 1926. 453 p.
- FIGUEIRÉDO JUNIOR, H. S. Desafios para a cajucultura no Brasil: o comportamento da oferta e da demanda de castanha de caju. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, n. 37, v. 4, p. 550-571, 2006.
- FREITAS, B.M. Beekeeping and cashew in northeastern Brazil: the balance of honey and nut production. **Bee World**, v. 75, p. 160-168, 1994
- FREITAS, B.M.; PAXT, R.J. The role of wind and insects in cashew (*Anacardium occidentale* L.) pollination in NE Brazil. **Journal of Agricultural Science**, v. 126, p. 319-326, 1996.
- FROTA, P.C.E.; BUENO, D.M.; RAMOS, A.D. Estudo exploratório do sistema radicular do cajueiro comum, cultivado sob as condições de solo e clima do litoral cearense – Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

- FRUTICULTURA, 11., 1991, Petrolina. **Programa e Resumo**. Cruz das Almas: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 1991.
- IBGE - Disponível em: <www.sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em: 17/04/2007.
- JOHNSON, D.V. The botany, origin and spread of cashew (*Anacardium occidentale* L.). **Journal of Plantation Crops**, Kasaragod, v. 1, n. 1, p. 1-7, 1973.
- KHOSLA, P.K.; SAREEN, T.S.; MEHRA, P.N. Cytological studies on himalayan *Anacardiaceae*. **The Nucleous**, New Delhi, n. 4, v. 3205-209, p. 1973.
- LEITE, L.A. de S. **A agroindústria do caju no Brasil: políticas públicas e transformações econômicas**. Fortaleza: Embrapa – Agroindústria Tropical, 1994. 195 p.
- LIMA, V.P.M.S. **Fruteiras: uma opção para o reflorestamento do nordeste**, Fortaleza: BNB/ETENE, 1986. 95p.
- MACHADO, O. Estudos novos sobre uma planta velha – o cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) **Rodriguesia**, Rio de Janeiro, v. 8, p. 19-48. 1944.
- MANOJ, P. S.; GEORGE, T. E. Heterosis in cashew (*Anacardium occidentale* L.). **Cashew**, v. 7, p. 7-9. 1993.
- CAVALCANTI, J.J.V.; PAIVA, J.R.; PINTO, C.B.P.; CRISÓSTOMO, J.R.; FERREIRA, D.F. Análise dialéctica para avaliação de híbridos interpopulacionais de cajueiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 8, p. 1567-1575, 2000.
- MITCHELL, J.D.; MORI, S.A. The cashew and its relatives (*Anacardium: Anacardiaceae*). **Memories on the New York Botanical Garden**, v.42, p.1-76, 1987.
- MORT, J.F. The cashew's brighter future. **Economic Botany**, New York, n. 15, v. 1, p. 57-78, 1961.
- MUKHERJEE, S.K.; SINGH, R.N; MAJUNDER, P.K.; SHARMA, P.K. Present position regarding breeding of mango (*Mangifera indica* L.) in India. **Euphytica**, v. 17, p. 462-467, 1968.
- NAMBIAR, M. C. Ecophysiology of cashew (*Anacardium occidentale* L) In: Alvim, P.T. **Ecophysiology of Tropical Crops**, Ilhéus-BA, CEPLAC, p 1-26, 1975.
- OHLEER, J.G. **Cashew**. Amsterdam. Kominklijk: Institut Voor de Tropen, 1979. 260p. (Communication, 71).
- PAIVA, J.R.; ALVES, R.E.; BARROS, L.M.; CAVALCANTI, J.J.V.; ALMEIDA, J.H.S.; MOURA, C.F.H. Produção e qualidade de pedúnculos de clones de cajueiro anão precoce sob cultivo irrigado. Fortaleza: Embrapa – Agroindústria Tropical, 1998. 5p. (Comunicado Técnico, 19).

PAIVA, J.R.; BARROS, L.M.; CRISÓSTOMO, J.R.; ARAÚJO, J.P.P.; ROSSETTI, A.G.; CAVALCANTI, J.J.V.; FELIPE, E.M. Depressão por endogamia em progênies de cajueiro anão precoce (*Anacardium occidentale* L.) var. nanum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 4, p. 425-431, 1998.

PAULA PESSOA, P. F. A.; SILVEIRA, S.S. **Cultivo do cajueiro anão precoce**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. 40p. (Embrapa – Agroindústria Tropical. Sistemas de Produção, 1).

PAULINO, F.D.S. **Polinização entomológica em cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) no litoral de Pacajus, CE**. 1992. 70. Dissertação (Mestrado) – ESALQ, Piracicaba.

PILLAY, P.K.T.; PILLAI, G.B. Note on the shedding of immature fruits in cashew. **Indian Journal of Agricultural Science**, v. 45, n. 5, p. 233-234, 1975.

PURSEGLOVE, J.W. **Tropical crops dicotyledons**. London: Longman, 1974. p. 18-23.

RAO, V.N.M.; HISSAN, M.V. Preliminary studies on the floral biology of cashew (*Anacardium occidentale* L.). **Indian Journal of Agricultural Science**, v.27, p.277-288, 1957.

RENDLE, A.B. **The classification of flowering plants. Vol II - Dicotyledons**. Cambridge: University Press. 1938. 640p.

SATANDER, C.; ALBERTIN, W. *Anacardium excelsum*, espécie forestal de los trópicos americanos. **Turrialba**, v. 30, n. 1, p. 17-23. 1980

SIMMONDS, N. W. **Principles of crop improvement**, New York: Longman Inc. 1979. 386 p.

STEBBINS, G.L. **Chromosome evolution on higher plantas**. London, 1971. 216p.

# Hibridação da Cana-de-Açúcar

Sizuo Matsuoka<sup>1</sup>

Antonio Augusto F. Garcia<sup>2</sup>

José Bressiani<sup>3</sup>

Walter Maccheroni<sup>4</sup>

## Introdução

Em 2008, a cana-de-açúcar foi cultivada no Brasil em cerca de sete milhões de hectares, quando há dez anos o era em menos de 4,5 milhões. O crescimento na produção de cana foi de 57% nesse período e vem crescendo em um ritmo superior a 10% ao ano nos últimos anos, graças ao etanol combustível, cuja produção nesta safra 08/09 deve ultrapassar 15 milhões de m<sup>3</sup>, com 80% dessa produção tendo o mercado interno como consumidor (ÚNICA, 2008). O modelo brasileiro de produção de combustível líquido

1 Eng.-Agrônomo, Dr. , Diretor de Pesquisa e Desenvolvimento, Canavialis S. A. Campinas-SP. E-mail: sizuo.matsuoka@canavialis.com.br

2 Eng.-Agrônomo, Prof. Dr. do Departamento de Genética da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ) da Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. E-mail: aafgarci@esalq.usp.br

3 Eng.-Agrônomo, M.S. e Dr., Gerente de Melhoramento, Canavialis S. A. Campinas-SP. E-mail: jose.bressiani@canavialis.com.br

4 Biólogo, M.S. e Dr., Gerente de Biotecnologia e Fitopatologia, Canavialis S. A. Campinas-SP. E-mail: walter.maccheroni@canavialis.com.br