



DAVI HENRIQUE LIMA TEIXEIRA

**SELEÇÃO EM PROGÊNIES DE MEIOS-
IRMÃOS DE AÇAIZEIRO COM BASE EM
MÚLTIPLOS CARACTERES PARA
PRODUÇÃO DE FRUTOS**

LAVRAS – MG

2011

DAVI HENRIQUE LIMA TEIXEIRA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

**SELEÇÃO EM PROGÊNIES DE MEIOS-IRMÃOS DE AÇAIZEIRO
COM BASE EM MÚLTIPLOS CARACTERES PARA PRODUÇÃO
DE FRUTOS**

Orientadora

Dra. Flavia Maria Avelar Gonçalves

LAVRAS – MG

2011

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Teixeira, Davi Henrique Lima.

Seleção em progênies de meios-irmãos de açaizeiro com base em múltiplos caracteres para produção de frutos / Davi Henrique Lima Teixeira. – Lavras : UFLA, 2011.

89 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.

Orientador: Flávia Maria Avelar Gonçalves.

Bibliografia.

1. Açaí. 2. Correlações genéticas. 3. Efeitos diretos e indiretos. 4. Seleção multicausal. 5. Resposta correlacionada. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.53

DAVI HENRIQUE LIMA TEIXEIRA

**SELEÇÃO EM PROGÊNIES DE MEIOS-IRMÃOS DE AÇAIZEIRO
COM BASE EM MÚLTIPLOS CARACTERES PARA PRODUÇÃO
DE FRUTOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 16 de Fevereiro de 2011

Dra. Flávia Maria Avelar Gonçalves	UFLA
Dr. José Airton Rodrigues Nunes	UFLA
Dra. Maria do Socorro Padilha de Oliveira	EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL

Dra. Flavia Maria Avelar Gonçalves
Orientadora

LAVRAS – MG

2011

A Deus, luz do meu caminho, pela presença marcante em minha vida.

Aos meu pais, Djalma e Tercimar, e a minhas irmãs Ana Cecília e Ana Cláudia, que me deram força e incentivo para a conclusão desta etapa da minha vida.

A meus familiares, tios, primos e avós pelo apoio e confiança. Nunca vou esquecer a disposição em me ajudar quando precisei mudar para Lavras.

A todos os membros da igreja batista Luz do Evangelho, pela ajuda incondicional e amor fraterno.

Aos colegas de curso, pela amizade, convívio e apoio, em especial, para Geovana Entringer, Mariana Junqueira, Rafael Diniz, Renato Carvalho, Eva Maria, Cleiton Lourenço, Natália Padilha e Juliana Sawada.

Aos meus amigos Maykom Ferreira Inocêncio, Danilo Henrique de Jesus Teixeira, Basílio Godinho e Paulo Renato Rezende pelo convívio, apoio e amizade.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas da Universidade Federal de Lavras pelo apoio na realização do Mestrado.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) pela concessão da bolsa de mestrado.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (EMBRAPA Amazônia Oriental) por ceder os dados para realização do mestrado e pelo apoio na graduação.

À minha querida orientadora de mestrado, Flávia Maria Avelar Gonçalves, pelo ensinamento, atenção, preocupação, disponibilidade e amizade.

À minha querida orientadora de graduação e coorientadora de mestrado, Maria do Socorro Padilha de Oliveira, pelo crescimento profissional e por acreditar em mim.

Ao meu querido coorientador, José Airton Rodrigues Nunes, pelo ensinamento, disponibilidade, atenção e grande contribuição prestada a este trabalho.

Aos funcionários de campo do laboratório de fitomelhoramento da EMBRAPA Amazônia Oriental, Antônio Teixeira Costa, Raimundo Costa Souza, Euclides da Rosa Ribeiro e Joel Pinheiro da Silva, pela amizade e valiosa ajuda na colheita dos cachos.

Aos membros da banca, Dr. José Airton Rodrigues Nunes (UFLA), Dra. Maria do Socorro Padilha de Oliveira (EMBRAPA Amazônia Oriental)

e Dra. Flávia Maria Avelar Gonçalves (UFLA) pelas valiosas sugestões para o aprimoramento desta dissertação.

Aos professores, pelos ensinamentos transmitidos, amizade, atenção e convívio.

Ao meu professor de inglês, Ivan Crespo, pela ajuda na elaboração do abstract.

A todos os funcionários do Departamento de Biologia da UFLA, em especial, à Heloíza que foi uma grande amiga e que sempre me ajudou quando precisei. Também, à Ironдина e Sebastiana (Du) pelo carinho e amizade.

À equipe de melhoramento de plantas perenes Bráulio Moraes, Paulo Prado, Alex Teixeira, Kaio Olímpio, Luiz Gustavo, Vinicius Andrade e Gustavo Martins pela amizade, companheirismo, convívio, aprendizado e trabalhos efetuados.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

Os programas de melhoramento genético do açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart) com vista à produção de frutos utilizam vários caracteres na sua avaliação, o que de certa forma dificulta o processo de seleção de plantas promissoras. O conhecimento dos efeitos diretos e indiretos de caracteres agronômicos sobre a produção de frutos é de grande importância, pois, ajuda a traçar estratégias seletivas efetivas, principalmente, quando a produção de frutos apresenta baixa herdabilidade. A seleção com base em um único caráter seja direta ou indireta, nem sempre é vantajosa, e a estratégia mais eficiente envolve a seleção simultânea de todos os caracteres que contribuem no caráter principal. Diante do exposto, os objetivos deste trabalho foram desdobrar as correlações genéticas de caracteres relativos ao cacho e à produção em efeitos diretos e indiretos sobre a produção de frutos, e verificar a estratégia seletiva mais adequada para o incremento simultâneo de componentes da produção de frutos em progênies de meios-irmãos dessa palmeira. Para isto, foi implantado no município de Santa Izabel do Pará um experimento com 25 progênies de meios-irmãos, no delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições e parcela de cinco plantas. A análise de trilha foi realizada com base nas correlações genéticas no nível de indivíduo, obtidas de nove caracteres, coletados durante os anos de 2005, 2006 e 2007. Verificou-se que o número total de cachos emitidos e o peso de frutos por cacho são os principais determinantes na produção de frutos do açaizeiro. Além disso, o número de ráquias do cacho possui efeito direto no peso de frutos por cacho. Para a estratégia seletiva, as estimativas de parâmetros e os índices de seleção foram obtidos na média de progênies. Foram empregados os índices de Smith e Hazel, Williams e Mulamba e Mock em três estratégias seletivas, e atribuídos como peso os coeficientes de variação genéticos, a herdabilidade e a razão do autovetor associado ao caráter original pela raiz quadrada do autovalor da primeira variável canônica, que contém o máximo de informação fornecida pelo conjunto dos caracteres estudados. Verificou-se que o índice de Williams, ponderado pela herdabilidade dos caracteres, apresentou os melhores ganhos preditos nas principais características com a seleção aplicada no número total de cachos emitidos, na produção de frutos por cacho e no peso de frutos por cacho.

Palavras-chave: Correlações genéticas, efeitos diretos e indiretos, seleção multicaracterística, resposta correlacionada.

ABSTRACT

The breeding programs of assai palm (*Euterpe oleracea* Mart) for fruit production uses many traits in its evaluation, which difficult in somewhat the selection process of promissory plants. Knowledge of direct and indirect effects of agronomic traits on the fruit production is important, because it helps to delimit effective and selective strategies, mainly when the yield has a low heritability. Selection based in a single trait whether direct or indirect, not always is advantageous and the most efficient strategy is the simultaneous selection of all traits that contribute to the main trait. Given the above, the aims of this work were to unfold the genetic correlations between traits on the bunch and fruit production and verify the most appropriate selective strategy to simultaneous increase of production fruit components in half-sib progenies of this palm. Doing this, it was implanted in Santa Izabel do Pará an experiment with 25 half-sib progenies in the design of randomized blocks with four replications and plots of five plants. The path analyses was performed based on the genetic correlations in the level of individuals obtained from nine traits collected over the years 2005, 2006 and 2007. It was found that the total numbers of issued bunch and fruit weight per bunch are the main determinants in the assai palm's fruit production. Moreover, the number rachilles bunch has a direct effect on fruit weight per bunch. For the selective strategy, the genetics parameter estimated and index selections were obtained on average progenies. Were applied the index of Smith and Hazel, Williams and Mulamba and Mock in three selective strategy and assigned as weights the genetic variation coefficient, the heritability and the ratio of the eigenvector associated with the original trait by the square root of eigenvalue of the first canonical variable, which contains the maximum information provided by all the characters evaluated. It was founded Williams's index weighted by the traits heritability had the greats predicted gains in the main traits, with the selection applied to total number of bunch emitted, fruits productions per bunch and fruit weight per bunch.

Keywords: Genetic correlations, direct and indirect effects, trait selection, correlated response.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Aspectos botânicos e econômicos do açaizeiro	14
2.2	Melhoramento genético do açaizeiro	17
2.3	Resposta correlacionada pela seleção de múltiplos caracteres	19
2.3.1	Análise de trilha (“Path Analysis”)	22
2.3.2	Índices de seleção	27
	REFERÊNCIAS	30
	CAPÍTULO 1: CORRELAÇÕES GENÉTICAS E ANÁLISE DE TRILHA NO MELHORAMENTO GENÉTICO DO AÇAIZEIRO PARA PRODUÇÃO DE FRUTOS	36
1	INTRODUÇÃO	39
2	MATERIAL E MÉTODOS	40
2.1	Descrição do experimento	40
2.1	Caracteres avaliados	41
2.3	Análises estatística e genética dos dados	42
2.4	Análise de trilha	44
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4	CONCLUSÕES	59
	REFERÊNCIAS	61
	CAPÍTULO 2	64
	EFICIÊNCIA DE ÍNDICES DE SELEÇÃO EM PROGÊNIES DE MEIOS-IRMÃOS DE AÇAIZEIRO PARA PRODUÇÃO DE FRUTOS	64
1	INTRODUÇÃO	67
2	MATERIAL E MÉTODOS	68
2.1	Caracteres avaliados	69
2.2	Análises estatística e genética dos dados	70
2.3	Estratégias seletivas e índices de seleção	71
2.4	Respostas diretas e indiretas à seleção	73
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
4	CONCLUSÕES	87
	REFERÊNCIAS	88

1 INTRODUÇÃO GERAL

Com a notável expansão do mercado de frutos, a exploração do açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart) deixou de ser predominantemente extrativista para obtenção de frutos de açazais manejados e de cultivos realizados em áreas de terra firme, em sistemas solteiros e consorciados (NOGUEIRA; HOMMA, 1998). Essa mudança passou a requerer inovações tecnológicas, como as advindas do melhoramento genético, uma vez que as populações dessa palmeira ficam sujeitas aos riscos de uma monocultura (SANTANA; CARVALHO; TEIXEIRA, 2008).

O melhoramento genético dessa fruteira da Amazônia, para a produção de frutos, teve início no final da década de 80 do século XX pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária da Amazônia Oriental – Embrapa Amazônia Oriental. Mas, somente em 2004, a primeira e única cultivar dessa espécie foi lançada (OLIVEIRA; FARIAS NETO, 2004). Os programas de melhoramento atualmente existentes para essa finalidade têm focado na estimação de parâmetros genéticos, divergência genética entre acessos e a seleção para o caráter produção de frutos (FARIAS NETO et al., 2007, 2008; OLIVEIRA; FARIAS NETO, 2006; OLIVEIRA; SILVA, 2008).

No açazeiro, além de genótipos com alta produção de frutos, são também almejados aqueles de porte baixo, frutificação precoce, frutos de cor violácea e com alta e contínua emissão de cachos ao longo do ano. Esses caracteres de importância econômica, em geral, são controlados por vários genes, com correlações genéticas entre si, resultantes de ligações gênicas ou efeitos pleiotrópicos diversos. Essas interações podem desencadear uma série de alterações, principalmente, quando a seleção é aplicada em apenas um caráter, o que pode ser favorável ou não ao processo de melhoramento de uma espécie (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

Os ganhos genéticos de um caráter podem ser incrementados pela seleção simultânea dos caracteres que o influenciam. Neste sentido, as técnicas multivariadas mostram-se como importantes procedimentos de análise, pois levam em consideração as estruturas de correlações existentes entre os caracteres, o que permite evidenciar a importância dos caracteres avaliados (FERREIRA, 2008). Nesse contexto, as correlações existentes entre um conjunto de caracteres podem ser desdobradas em efeitos diretos e indiretos desses sobre uma variável principal pela análise de trilha (“path analysis”) (CRUZ; CARNEIRO, 2006). Em açaizeiro esta metodologia permitiu verificar que o número de cachos emitidos e o peso de frutos por cacho são responsáveis por cerca de 92% da produção de frutos (OLIVEIRA, 2000a). Contudo, é necessário investigar outros caracteres que possam contribuir para este caráter.

A importância dos caracteres avaliados em programas de melhoramento, também, pode ser avaliada pelas variáveis canônicas. Esta metodologia multivariada permite reter o máximo da variação genética originalmente disponível em n variáveis em um conjunto menor de novas variáveis. Em geral, esta técnica tem sido empregada no melhoramento de plantas para estimar a diversidade genética de populações com base em caracteres quantitativos. Contudo, embora raro, o uso para fins de seleção é possível, pois, essa técnica possibilita o agrupamento de indivíduos promissores (CRUZ, 1990).

A seleção simultânea de caracteres que contribuem positivamente para um caráter alvo a ser melhorado é comumente realizada por índices de seleção. Com esta metodologia se obtém ganhos conjuntos mesmo em caracteres não correlacionados. Esse procedimento multicaráter ou multivariado é uma função linear dos diferentes caracteres que formam um caráter adicional, no qual os genótipos são selecionados. O primeiro índice foi proposto por Hazel (1943) e Smith (1936). Desde então, outros índices foram propostos (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004). Tais estudos, apesar de importantes, ainda não foram

relatados em açazeiro.

Diante do exposto, o presente trabalho foi desenvolvido com os seguintes objetivos: i) desdobrar as correlações genéticas de caracteres relativos ao cacho e a produção de frutos de progênies de meios-irmãos de açazeiro em efeitos diretos e indiretos sobre a produção total de frutos, a fim de verificar a melhor estratégia de seleção para obtenção de progênies mais produtivas; ii) verificar a estratégia seletiva mais adequada para o incremento simultâneo de componentes da produção de frutos nesse tipo de progênie.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos botânicos e econômicos do açazeiro

Euterpe oleracea (Mart) é o nome científico da palmeira conhecida como açazeiro. Na classificação botânica encontra-se na divisão Magnoliophyta (=Angiospermae), classe Liliopsida (=Monocotyledoneae), subclasse Arecidae (=Espadiciflorae), super-ordem Arecanae, ordem Arecales (=Principes), família Arecaceae (=Palmae), subfamília Ceroxylineae, gênero *Euterpe* (HENDERSON; GALEANO, 1996).

Naturalmente, o açazeiro é encontrado às margens dos rios da Amazônia. Trata-se de uma espécie frutífera e produtora de palmito, que tem como centro de origem e de diversidade o Estado do Pará, principal produtor e consumidor, no qual se encontram densas e diversificadas populações naturais (CAVALCANTE, 1996). Esta espécie semidomesticada, ou em fase de domesticação, encontra-se também dispersa nos estados do Amazonas, Maranhão e Amapá (CLEMENT, 1992; MOURÃO; GROSSMAN, 2004).

O açazeiro é uma espécie predominantemente alógama, a qual é propagada principalmente por sementes. Quando usadas sementes de frutos recém-colhidos e despolidos, a germinação atinge porcentagem superior a 90% (JARDIM, 1991; OLIVEIRA; CARVALHO; NASCIMENTO, 2000). Os frutos são do tipo drupa globosa achatada, de 1,0 a 1,5 cm de diâmetro, predominantemente de cor violácea ou quase negros quando maduros (CALZAVARA, 1972).

A principal característica desta espécie é a formação de touceiras, agrupamento de estipes que podem atingir até 25 metros de comprimento e 15 a 25 centímetros de circunferência, os quais advêm de uma única semente. Os

estipes de uma touceira são indivíduos geneticamente idênticos, o que possibilita a propagação assexuada por perfilhamento. Contudo, este método demanda muita mão de obra e resulta em baixo vingamento. Estudos realizados para viabilizar a propagação vegetativa de indivíduos superiores por vários métodos “*in vitro*” ainda não apresentaram protocolos conclusivos (LÊDO et al., 2001).

Nas condições de cultivo, a floração se inicia por volta de 2,5 anos após o plantio. Os primeiros cachos são colhidos entre 3,0 e 3,5 anos. A partir deste período, a produção ocorre anualmente por mais de quinze anos (OLIVEIRA; CARVALHO; NASCIMENTO, 2000).

Os produtos obtidos desta palmeira, até pouco tempo, eram altamente dependentes do extrativismo. Como exemplo, tem-se a extração do palmito que por muito tempo foi o principal produto comercializado. Entretanto, pesquisas com vista à domesticação desta espécie têm sido incentivadas pelo forte crescimento do mercado de frutos, o qual passou a ser comercializado nacionalmente e internacionalmente. Até a década de 90 do século XX sua importância era apenas regional, utilizada como alimento básico pela população amazônica (ROGEZ, 2000).

O açaí como produto primário de mercado, até 1995, era classificado como bem inferior, por apresentar uma elasticidade-renda negativa, assim, ao passo que a renda do consumidor aumentava, o consumo tendia a reduzir (LOPES, 2001). Este fenômeno é típico de economias pobres cuja sobrevivência alimentar da população depende fortemente do consumo de um produto. Tal característica perdurou até final do século passado, período no qual o açaí começou a ser fortemente comercializado nas demais regiões do país (SANTANA; CARVALHO; TEIXEIRA, 2008).

A partir de então, a demanda do produto aumentou significativamente e a produção extrativa não conseguiu aumentar em igual proporção. Em consequência, os preços aumentaram de tal modo que os ribeirinhos deixaram de

cortar a palmeira, para extrair o palmito, e passaram a comercializar os frutos. Em seguida, por contínua e forte pressão externa da demanda da polpa processada de açaí, a cadeia produtiva ganhou conformação com o processamento industrial em escala completamente diferente daquelas realizadas nos pontos de vendas tradicionais (SANTANA; CARVALHO; TEIXEIRA, 2008).

Pode-se considerar o açaizeiro uma das mais importantes fruteiras de origem amazônica, pois, vem impulsionando o mercado externo de frutas nativas da região Norte do Brasil. Contudo, o aumento das exportações tem ocasionado a escassez do produto para o consumidor local, o que causa sérios problemas socioeconômicos, em especial no período da entressafra que ocorre entre os meses de janeiro a julho. Tais problemas são gerados pela oscilação no preço, pois na safra, a rasa (medida de comercialização que contém 28 kg de frutos) é vendida, em média, a R\$ 35,18 e a R\$ 74,44 na entressafra (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2009; SIQUEIRA et al., 1998). Nos demais estados, especialmente no Rio de Janeiro, São Paulo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Goiás, o volume comercializado é crescente desde 1992, com maior consumo principalmente no verão (ROGEZ, 2000).

Atualmente, o palmito é o segundo produto de maior importância econômica dessa palmeira. Com a proibição da extração de palmito do palmito (*Euterpe edulis* Mart) por volta de 1970, iniciou-se a produção de palmito pelo açaizeiro (*E. oleracea*). O palmito desta espécie teve boa aceitação em decorrência do sabor, textura e coloração semelhantes ao do palmito e, também, pela possibilidade de extração de vários palmitos de uma única touceira (CALZAVARA, 1972). No cenário atual, grande parte da produção nacional de palmito advém do extrativismo do açaizeiro, em que o Estado do Pará responde por mais de 91% da produção (IBGE, 2009; ROGEZ, 2000). Aliada a essa produção, tem-se a produção de celulose, extraída do grande volume de folhas e

parte do estipe para fabricação de papel com diversos fins (CABRAL, 2010; MOURÃO; GROSSMAN, 2004; ROGEZ, 2000).

2.2 Melhoramento genético do açazeiro

A cultura do açazeiro está em processo de mudança de base produtiva extrativa para uma base produtiva de cultivo. Esta transição de base traz consigo a imediata necessidade de melhorias tecnológicas de cultivo do açazeiro e, dentre outros aspectos, inovações no que concerne ao melhoramento genético pelo desenvolvimento de cultivares ou populações adaptadas a esse novo sistema de exploração e que associem elevada produtividade e qualidade dos produtos (SANTANA; CARVALHO; TEIXEIRA, 2008).

Os programas de melhoramento genético do açazeiro são recentes. Esforços têm sido empregados na obtenção de cultivares para frutos e também para palmito. O melhoramento desta espécie para a produção de frutos teve por base os acessos da coleção de germoplasma da Embrapa Amazônia Oriental. Esta coleção é constituída por 134 acessos, da qual grande parte foi obtida de coletas realizadas no período de 1984 a 1988, em áreas de distribuição natural do açazeiro, as quais envolviam populações naturais, pomares caseiros e propriedades rurais (LIMA; COSTA, 1991).

No ano de 2004, foi lançada pela Embrapa Amazônia Oriental a primeira cultivar de açazeiro para produção de frutos, BRS Pará. Até hoje nenhuma outra foi recomendada. Esta cultivar foi desenvolvida com base em três ciclos de seleção massal. O primeiro ciclo foi realizado durante as coletas de germoplasma que deram origem a citada coleção, nas quais foram colhidos frutos de plantas que apresentavam baixa altura da primeira emissão de cacho, pequena distância de entrenós e destacada espessura de mesocarpo. No segundo

ciclo, praticado nessa coleção durante os anos de 1996, 1997 e 1998, foram selecionadas as 25 plantas que apresentaram mais de 16 cachos/planta/ano, 25 kg de frutos/planta/ano e frutos violáceos. Seus frutos foram colhidos e misturados equitativamente para a formação de duas áreas de produção de semente (APS): uma em Santa Izabel do Pará e outra em Belém do Pará; ambas em condições de terra firme e isoladas pelo menos 300 m de outros açazais. Antes do florescimento nessas APS's foi realizado o terceiro ciclo seletivo, com a eliminação de indivíduos que apresentavam caracteres vegetativos indesejáveis, como estipe único e frutos de coloração verde (OLIVEIRA, 2000b; OLIVEIRA; FARIAS NETO, 2004).

Nos programas de melhoramento de espécies do gênero *Euterpe*, as etapas de caracterização têm se realizado nas coleções de germoplasma. Por exemplo, no germoplasma do Instituto Agrônomo de Campinas – IAC, o objetivo principal é o melhoramento para produção de palmito. Neste instituto foram realizados estudos morfológicos, bioquímicos e moleculares de ecotipos, com e sem perfilhamento (BALLVÉ, 1988; SAWAZAKI et al., 1998). Na coleção pertencente à Embrapa Amazônia Oriental, as informações contemplam a produção de frutos e palmito pela caracterização morfológica, agronômica (OLIVEIRA, 1995, 1998) e molecular (COSTA; OLIVEIRA; MOURA, 2001; OLIVEIRA, 2005; OLIVEIRA et al., 2010). Inicialmente, a caracterização morfo-agronômica para frutos foi realizada em apenas 20 acessos e envolveu análises estatísticas de alguns caracteres (OLIVEIRA, 1995, 1998) e a molecular foi realizada com uso de marcadores RAPD (COSTA; OLIVEIRA; MOURA, 2001).

A mais completa caracterização molecular e morfo-agronômica de germoplasma desta espécie foi realizada por Oliveira (2005). Neste estudo, verificou-se ampla variabilidade genética com o uso de marcadores moleculares RAPD e SSR na coleção de germoplasma da Embrapa Amazônia Oriental. Os

resultados evidenciam a viabilidade de ganhos genéticos com futuros programas de seleção recorrente com a população base desta instituição.

Outros estudos com populações de açazeiro, também, têm evidenciado grande variabilidade genética, o que reforçam as possibilidades de sucesso no melhoramento genético dessa palmeira (OLIVEIRA, 2010; YOKOMIZO et al., 2010). Farias Neto et al. (2008) estimaram parâmetros genéticos e estatísticos para caracteres relativos à produção de frutos em 50 progênies de polinização livre sob sistema de irrigação, e encontraram excelente potencial seletivo na população e variabilidade genética suficiente para o melhoramento genético a curto e longo prazos. O ganho genético estimado foi de 45,33% para o caráter produção total de frutos com a seleção dos 20 melhores indivíduos.

2.3 Resposta correlacionada pela seleção de múltiplos caracteres.

Nas unidades experimentais, normalmente são avaliados diversos caracteres simultaneamente. Estes caracteres podem apresentar dependências lineares ou correlações. A análise dessas variáveis isoladamente poderá ser insuficiente para praticar a seleção, em função da perda de informações valiosas ao desconsiderar as correlações existentes entre as variáveis envolvidas. Ao se explorar essas correlações, as inferências tornam-se mais informativas e acuradas (JOHNSON; WICHERN, 2007).

A correlação entre caracteres pode contornar as dificuldades no melhoramento genético de caracteres que apresentam problemas na mensuração, que sofrem pronunciado efeito do ambiente e apresentam baixa herdabilidade; ao se selecionar caracteres correlacionados a eles e que não apresentem estes problemas (KUREK et al., 2001). Para isso, é necessário que ocorra correlação genética entre esses caracteres, em especial causada por efeitos pleiotrópicos,

nos quais os genes influenciam dois ou mais caracteres. Assim, a correlação é mais estável e não se dissipa com os repetidos ciclos de meiose, como na correlação genética por genes ligados (BERNARDO, 2002).

O parâmetro correlação é importante e tem sido aplicado com frequência em programas de melhoramento de plantas por permitir o conhecimento das alterações de um caráter X, em intensidade e sentido, pela seleção praticada no caráter Y (RAMALHO; SANTOS; ZIMMERMANN, 1993). Contudo, o progresso genético por esse método pode ser inexpressivo se as diferenças observadas forem ocasionadas principalmente pelo ambiente, o que diminui a participação do componente genético na correlação (OLIVEIRA et al., 2010).

Segundo Bernardo (2002), a resposta correlacionada obtida no caráter X pela seleção em Y pode ser superior à seleção direta de X, com a mesma intensidade de seleção praticada, se o produto entre as estimativas de herdabilidade de Y e de correlação genética entre esses caracteres for superior à estimativa de herdabilidade de X. O autor afirma, ainda, que em caso do caráter principal possuir herdabilidade inferior a 10%, a resposta correlacionada pode mostrar-se eficiente, mesmo com estimativas moderadas de correlação e de herdabilidade do caráter secundário. Todavia, o uso da seleção indireta não é justificável somente quando são esperadas boas respostas correlacionadas, mas, também, quando o caráter secundário é de avaliação mais rápida, fácil e menos dispendiosa.

Em estudo com feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) foi verificado que a seleção pela nota geral de adaptação foi eficiente para aumentar a produtividade de grãos. Esta alternativa de seleção mostra-se uma interessante estratégia de melhoramento genético, pois, dispensa a mensuração de caracteres como contagem do número de vagens por planta e sementes por vagem, além de também considerar a arquitetura das plantas e ocorrência de sintomas de doenças nas vagens. Deste modo, a produtividade de grãos do feijoeiro pode ser

incrementada de maneira mais fácil pela seleção de plantas com notas de adaptação favoráveis (RIBEIRO et al., 2010).

Apesar de promissora, a seleção indireta nem sempre apresenta bons resultados, pois, correlações altas entre caracteres primários e secundários não são tão comuns. Além disso, problemas de amostragem ou de experimentação podem resultar em estimativas de correlações inconsistentes. A resposta correlacionada é uma alternativa à seleção direta, mas para Falconer e Mackay (1996), o método mais eficiente para obter ganhos genéticos é a combinação das duas, pois, ao se selecionar simultaneamente os caracteres que contribuem positivamente para o caráter almejado, o uso da correlação entre caracteres é mais efetivo.

Neste contexto, as análises multivariadas podem auxiliar na seleção de genótipos para múltiplos caracteres de interesse. Dentre os métodos de seleção cita-se o emprego dos índices de seleção, que configuram como um caráter adicional formado a partir da combinação de dois ou mais caracteres mensurados (BERNARDO, 2002). Além disto, as metodologias multivariadas permitem estudos de divergência genética entre populações/indivíduos. Para isto, tem-se uma grande variedade de métodos multivariados, como as técnicas de agrupamento, componentes principais e variáveis canônicas. Por meio dessas técnicas é também possível, dentre outras aplicações, verificar a importância dos caracteres empregados na avaliação de genótipos e descartar aqueles que contribuem pouco para a diversidade genética (ARNHOLD; SILVA, 2009; CAMARANO et al., 2010). Em açaizeiro, por exemplo, o uso da técnica de componentes principais permitiu o descarte de seis de um total de 28 caracteres avaliados (OLIVEIRA, 2005).

2.3.1 Análise de trilha (“Path Analysis”)

Em estudos de genética e melhoramento de plantas é comum o uso do coeficiente de correlação simples para quantificar a magnitude e a direção da influência de um caráter sobre outro. Porém, essa quantificação é restrita a comparações entre caracteres dois a dois e, deste modo, não se observa a influência direta de um caráter sobre outro e indiretas dos demais caracteres avaliados. Além disso, esses coeficientes podem gerar enganos no monitoramento da seleção, pois, entre duas variáveis uma associação alta pode ser resultante de uma terceira ou até mesmo de um grupo de variáveis sobre as duas outras consideradas (CRUZ; CARNEIRO, 2006).

Para possibilitar o estudo da influência de um conjunto de caracteres sobre um caráter principal, Wright (1923) propôs o método da análise dos coeficientes de caminamento, também, denominado de análise de trilha. Por esses coeficientes são verificados os efeitos diretos e indiretos de um grupo de caracteres sobre uma variável básica ou principal. Para isso, inicialmente, é necessário estabelecer um modelo de relacionamento de causa e efeito, ou diagrama causal, entre as variáveis. Estabelecido o diagrama causal, as correlações observadas são decompostas em um conjunto de termos denominados de coeficientes de trilha, os quais apresentam os caminamentos simples e complexos (JOHNSON; WICHERN, 2007).

O sucesso do método da análise de trilha está diretamente ligado à composição dos diagramas causais, que deverá ser formado com o conhecimento das verdadeiras relações entre as variáveis explicativas com a variável básica. O esquema deve pressupor as causas pelas observações do melhorista sobre quais variáveis são mais importantes na expressão da variável principal. As estimativas de correlação podem auxiliar na montagem do diagrama causal. Contudo, o diagrama não pode ser montado com os resultados dos coeficientes

de trilha, já que esta metodologia não é utilizada para deduzir a causa das correlações entre as variáveis relacionadas (CARVALHO, 1995).

Os coeficientes de trilha são estimados pelo método dos quadrados mínimos, a partir de modelos ou equações de regressão. Quando considerado um único modelo causal, o coeficiente de trilha é simplesmente uma análise de regressão entre variáveis previamente padronizadas. Quando envolvidas várias inter-relações complexas, ou vários diagramas causais, a análise de trilha se constitui em uma expansão da regressão múltipla. Em estudos de melhoramento é comum envolver a produção de grãos ou frutos com componentes primários e secundários da produção (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

A análise de trilha pressupõe aditividade na relação entre as variáveis explicativas e a variável básica. Quando essa relação aditiva não é observada Cruz, Regazzi e Carneiro (2004) sugerem a transformação dos dados em escala logarítmica para que ocorra linearidade. Wright (1934) ressalta que a análise de trilha é direcional e seus coeficientes podem assumir valores acima da unidade, com sinal positivo ou negativo. Seus resultados podem ser comparados entre variáveis que possuem escalas diferentes, pois, na sua estimação as variáveis são previamente padronizadas.

Os resultados dos coeficientes de caminhamento podem auxiliar na tomada de decisão da estratégia de seleção mais adequada nas seguintes situações: i) quando o coeficiente de caminhamento entre um caráter causal e o principal for semelhante, em grandeza e sinal, com a correlação observada, a seleção indireta do caráter causal pode ser eficiente, pois, nesse caso, a correlação expressa a real associação existente entre esses caracteres; ii) em caso de estimativas de correlação significativas e positivas, mas com pequeno efeito direto do caráter causal, o melhorista deve dar mais atenção para os efeitos indiretos dos demais caracteres; iii) na ocorrência de uma correlação negativa, porém, com efeito direto, positivo e elevado, um esquema seletivo restrito, no

qual incrementa-se um caráter, mas, por restrição, outros caracteres não sofrem alteração, é recomendável para eliminação dos efeitos indiretos rejeitáveis e, simultaneamente, viabilizar o aproveitamento do efeito direto existente (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

A confiabilidade dos coeficientes de caminhamento pode ser afetada pelos efeitos de multicolinearidade existente entre os caracteres que compõem o diagrama causal. Segundo Carvalho e Cruz (1996), o termo multicolinearidade é utilizado quando há correlações elevadas entre variáveis que constituem o diagrama causal de uma análise de trilha. Esses autores também argumentam que na presença de multicolinearidade os coeficientes de trilha podem atingir valores pouco confiáveis, em razão das elevadas variâncias associadas aos seus estimadores.

Na análise da matriz de correlação, altas correlações indicam presença de multicolinearidade, mas a ausência de altas correlações não necessariamente indica ausência de multicolinearidade. Na literatura são descritos diversos métodos para diagnosticar a presença de multicolinearidade (CARVALHO; CRUZ, 1996). No método com base no determinante da matriz de correlação, verifica-se que quanto mais seu valor se aproxima de zero mais intensa é a multicolinearidade. Pela análise dos autovalores associados à matriz de correlação, proposta por Montgomery e Peck (1981), o diagnóstico da multicolinearidade se dá pelo número de condições (NC), que é a razão do maior pelo menor autovalor. Quando $NC < 100$ a multicolinearidade não é um problema sério. Carvalho e Cruz (1996) compararam vários métodos para diagnosticar a multicolinearidade. Os autores recomendaram a combinação dos métodos com base nos fatores de inflação (VIF) e sua decomposição. Estas duas metodologias permitem não só quantificar a intensidade da manifestação da multicolinearidade, mas, também, identificar quais variáveis estão envolvidas. Os VIF são os elementos da diagonal da matriz $X'X^{-1}$, considerada na forma

de correlação quando empregada em análises de trilhas e na construção de alguns índices de seleção. Se houver nessa matriz pelo menos um VIF com valor superior a dez, possivelmente os coeficientes de regressão estão sendo afetados pela multicolinearidade, pois, este fator aumenta a variância do vetor de parâmetros desconhecidos a ser estimado na análise de regressão ($\hat{\beta}$) (NETER; WASSERMAN; KUTNER, 1983). A decomposição dos VIF é feita em função dos elementos de cada coluna da matriz, que são proporções das variâncias de cada $\hat{\beta}_k$. Altas proporções da decomposição da variância de $\hat{\beta}$ associadas a baixos valores singulares de $X'X^{-1}$ constituem indicativo de inflação das variâncias de $\hat{\beta}$ (BELSLEY; KUH; WELSCH, 1980).

Para contornar os efeitos adversos da multicolinearidade, pode-se realizar a eliminação de variáveis do modelo de regressão. Shrivastava e Sharma (1976), em estudo com arroz, verificaram que com a eliminação do comprimento da panícula na análise, todas as outras contribuíram positivamente para a produção de grãos. Tais autores propuseram que se faça uma seleção cuidadosa das variáveis para o estudo, e que se tenha cautela no uso dessa técnica. Também visando reduzir os efeitos da multicolinearidade, Carvalho e Cruz (1996) sugeriram outra metodologia, na qual, admiti-se que, na presença de multicolinearidade, o estimador de mínimos quadrados ordinários, obtido do sistema de equações normais $X'X\hat{\beta} = X'Y$, pode estar associado a uma variância muito alta. Procura-se, então, atenuar esses efeitos adversos, modificando ligeiramente o sistema pela introdução de uma constante k na diagonal da matriz $X'X$, à semelhança do método de regressão em crista. Carvalho et al. (1999), em trabalho com análise de trilha sob multicolinearidade em pimentão, concluíram que esta última metodologia proposta foi eficiente para reduzir a variância dos coeficientes de trilha.

Uma das principais utilidades da análise de trilha no melhoramento de plantas é possibilitar o conhecimento da influência de um caráter qualquer sobre o caráter principal e, assim, estabelecer a melhor estratégia de seleção para incrementar o melhoramento genético. Neste sentido, Oliveira et al. (2010), por meio de análise de trilha, constataram que a seleção simultânea para os caracteres altura da planta, número de flores por pedúnculo e largura de folhas pode ser uma boa estratégia de seleção para aumentar a produção de frutos de mamoeiro, por se tratarem de características de fácil mensuração e que se manifestam antes da produção. Em estudos com tomateiro do tipo salada, constatou-se que a seleção simultânea para o comprimento da folha e diâmetro do entrenó pode gerar ganhos satisfatórios na produção de frutos, uma vez que essas características são de mais fácil mensuração e apresentam efeitos diretos positivos relevantes (RODRIGUES et al., 2010).

Em açaizeiro, Oliveira (2000a) avaliou o coeficiente de caminhamento para seis caracteres de produção e de cacho sobre a produção de frutos e verificaram que os caracteres peso de frutos por cacho e número de cachos explicaram em 92,42% a produção de frutos. Logo, estes caracteres devem ser considerados como características principais na seleção de açaizeiros para produção de frutos. Uma análise de efeitos diretos e indiretos de outros caracteres, tais como vegetativos e de cacho sobre a produção de frutos, o número de cachos e o peso de frutos por cacho é interessante e pode contribuir para avaliações em diferentes estágios de desenvolvimento das progênies. Além disto, o conhecimento de causa e efeito entre diversos caracteres facilita a aplicação de outras metodologias multivariadas para seleção simultânea de múltiplos caracteres, como índice de seleção, por ajudar nas atribuições de pesos para as características, que é uma tarefa de grande importância, porém, de difícil tomada de decisão.

2.3.2 Índices de seleção

Os atuais programas de melhoramento têm indicado cultivares melhoradas para mais de uma característica, visto que a indicação com base em apenas um caráter não é interessante. Além do produto de maior interesse, existem vários outros fatores que tornam as cultivares potencialmente comerciais, pois, agradam tanto as exigências do consumidor quanto as do produtor. Contudo, a seleção para mais de uma característica não é fácil, uma vez que os melhoristas comumente se deparam com correlações negativas entre os caracteres de interesse em que o aumento ou a redução em ambos é desejado. Com isto, o incremento em um reduz o desempenho da população para o outro caráter. Para contornar problemas como estes, existem metodologias de seleção multicaracterística que permitem estimar ganhos em sentido desejado para os caracteres negativamente correlacionados (FREITAS JÚNIOR et al., 2009).

Os métodos de seleção em tandem e por níveis independentes de eliminação configuram entre as mais simples e antigas metodologias de seleção em múltiplos caracteres. A primeira consiste em melhorar um caráter até um nível desejado, para que se possa melhorar outro nas gerações seguintes. Todavia, essa metodologia é restrita a programas de seleção recorrente e pode acontecer do melhoramento de um caráter reduzir os ganhos já obtidos em outro. Já os níveis independentes de eliminação podem também ser aplicados em programas de obtenção de linhagens e híbridos. Consiste no descarte de indivíduos que não atingem um padrão mínimo desejado para vários caracteres. Sua principal desvantagem é deixar de selecionar indivíduos que apresentam baixo desempenho em um ou dois caracteres, mas são excepcionais em diversos outros (BERNARDO, 2002).

Outra metodologia é o índice de seleção que, embora de maior complexidade, é mais eficiente que os métodos citados (FALCONER;

MACKAY, 1996). Nesse sistema, os caracteres em que se deseja praticar a seleção são ponderados em um índice, que passa a ser um caráter adicional no qual é aplicada a seleção. Sua superioridade é decorrente da seleção de todos os caracteres ao mesmo tempo. Além disso, de acordo com o índice utilizado, são consideradas informações de correlação e covariância genética, importância econômica dos caracteres, herdabilidade, entre outras informações importantes que maximizam a relação entre o índice de seleção e o agregado genotípico (CRUZ; CARNEIRO, 2006).

Existem diversos índices propostos na literatura, e cada um difere na maneira em que são obtidos. O primeiro foi o índice clássico, proposto por Smith (1936) no melhoramento de plantas e adaptado ao melhoramento genético animal por Hazel (1943). Neste índice são necessárias as matrizes de correlação e covariância entre os caracteres que dele participam, e, ainda, o vetor com os pesos econômicos atribuídos a cada caráter. A dificuldade na construção deste índice é atribuir os pesos econômicos para alguns caracteres. Além disso, os grandes erros amostrais associados às variâncias e covariância são fatores que podem torná-lo menos efetivo que alguns índices (BERNARDO, 2002).

Com o objetivo de evitar os erros associados às matrizes de variâncias e covariâncias fenotípicas e genotípicas, Williams (1962) propôs o índice-base de seleção. Neste índice, a combinação linear dos caracteres em seleção é feita com a ponderação direta dos valores fenotípicos pelos respectivos pesos econômicos. Por sua construção mais simples, este índice tem grande aceitação entre os melhoristas (CRUZ; CARNEIRO, 2006). Em estudos com milho pipoca, Arnhold e Silva (2009) verificaram superioridade do índice de Williams (1968) em relação ao de Hazel (1943) e Smith (1936). Já Granate, Cruz e Pacheco (2002) estimaram maiores ganhos com o índice de Hazel (1943) e Smith (1936).

O índice da soma de postos ou *ranks* proposto por Mulamba e Mock (1978) tem a vantagem de não necessitar de pesos econômicos nem de

parâmetros genéticos. É obtido após o ordenamento dos genótipos para cada caráter e posterior somatório das classificações ou postos dos genótipos. Aqueles com menores índices são selecionados. Sua desvantagem é o uso de médias fenotípicas que, em algumas situações, como em caracteres de baixa herdabilidade, ocorrência de desbalanceamento pronunciado e o parentesco existente entre os genótipos podem não estimar adequadamente os valores genotípicos (HENDERSON, 1975).

Em estudos de *Coffea canephora* realizados por Ferreira et al. (2005), o índice clássico foi comparativamente mais eficiente que o índice dos ganhos desejados (PESEK; BAKER, 1969) na obtenção de ganhos simultâneos para produtividade e complexo fatoriais que englobam caracteres relativos a grãos, ciclo e rendimento. Em populações segregantes de soja, o índice de soma de postos obteve maiores ganhos para caracteres produtivos e vegetativos em comparação aos outros índices (COSTA et al., 2004). Em 166 compostos de milho pipoca, Granate, Cruz e Pacheco (2002) verificaram que a seleção simultânea da produção e capacidade de expansão foi mais efetiva com o uso do índice de Smith-Hazel em relação aos índices de ganhos desejados (PESEK; BAKER, 1969), base (WILLIAMS, 1962) e multiplicativo (SUBANDI; COMPTON; EMPIG, 1973).

REFERÊNCIAS

- ARNHOLD, E.; SILVA, R. G. Eficiências relativas de índices de seleção considerando espécies vegetais e pesos econômicos iguais entre caracteres. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 3, p. 76-82, maio/jun. 2009.
- BALLVÉ, R. M. L. **Isoenzimas como marcadores genéticos em palmitero (*Euterpe spp*)**. 1988. 95 f. Dissertação (Mestrado em Genética) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1988.
- BELSLEY, D. A.; KUH, E.; WELSCH, R. E. **Regression diagnostics: identifying influential data and sources of collinearity**. New York: Wiley, 1980. 292 p.
- BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. Woodbury: Stemma, 2002. 368 p.
- CABRAL, G. **Fibra do açaí vira papel**. Disponível em: <http://www.correiobrasiliense.com.br/app/noticia/ciencia-e-saude/2009/10/30/interna_ciencia_saude,151629/index.shtml>. Acesso em: 25 nov. 2010.
- CALZAVARA, B. B. G. **Possibilidades do açaizeiro no estuário amazônico**. Belém: FCAP, 1972. 103 p. (Boletim da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, 5).
- CAMARANO, L. F. et al. Estudo da divergência genotípica entre populações de girassol. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 1, p. 36-44, jan./mar. 2010.
- CARVALHO, C. G. P. et al. Análise de trilha sob multicolinearidade em pimentão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 4, p. 603-613, abr. 1999.
- CARVALHO, S. P. **Métodos alternativos de estimação de coeficientes de trilha e índices de seleção, sob multicolinearidade**. 1995. 163 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1995.
- CARVALHO, S. P.; CRUZ, C. D. Diagnosis of multicollinearity: assessment of the condition of correlation matrices used in genetic studies. **Brazilian Journal of Genetics**, Ribeirão Preto, v. 19, n. 3, p. 479-484, Sept. 1996.

- CAVALCANTE, P. B. **Frutas comestíveis da Amazônia**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 1996. 279 p.
- CLEMENTE, C. R. Domesticated palms. **Principes**, Lawrence, v. 36, n. 2, p. 70-78, Jan. 1992.
- COSTA, M. M. et al. Ganhos genéticos por diferentes critérios de seleção em populações segregantes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1095-1102, nov. 2004.
- COSTA, M. R.; OLIVEIRA, M. S. P.; MOURA, E. F. Variabilidade genética em açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.). **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, Brasília, v. 21, p. 46-50, jul./ago. 2001.
- CRUZ, C. D. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas**. 1990. 188 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiros", Piracicaba, 1990.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. v. 2, 585 p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 2004. 479 p.
- FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. London: Longman Malaysia, 1966. 463 p.
- FARIAS NETO, J. T. et al. Avaliação genética de progênies de polinização aberta de açaí (*Euterpe oleracea*) e estimativas de parâmetros genéticos. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 4, p. 376-383, out./dez. 2007.
- _____. Estimativas de parâmetros genéticos e ganhos de seleção em progênies de polinização aberta de açaizeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 1051-1056, dez. 2008.
- FERREIRA, A. et al. Seleção simultânea de *Coffea canephora* por meio da combinação de análise de fatores e índices de seleção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 12, p. 1189-1195, dez. 2005.

FERREIRA, D. F. **Estatística multivariada**. Lavras: UFLA, 2008. 662 p.

FREITAS JÚNIOR, S. P. et al. Predição de ganhos genéticos na população de milho pipoca UNB-2U sob seleção recorrente utilizando-se diferentes índices de seleção. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 4, p. 803-814, out./dez. 2009.

GRANATE, M. J.; CRUZ, C. D.; PACHECO, C. A. P. Predição de ganho genético com diferentes índices de seleção no milho pipoca CMS-43. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 7, p. 1001-1008, jul. 2002.

HAZEL, L. N. The genetics basics for constructing selections indexes. **Genetics**, Ames, v. 28, n. 6, p. 476-490, Nov. 1943.

HENDERSON, A.; GALEANO, G. **Euterpe, prestoea, and neonicholsonia (Palmae: Euterpeinae)**. New York: Flora Neotropica, 1996. 96 p.

HENDERSON, C. R. Best linear unbiased estimation and prediction under a selection model. **Biometrics**, Arlington, v. 31, n. 2, p. 423-447, June 1975.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pevs/2009/default.shtm>>. Acesso em: 17 dez. 2010.

JARDIM, M. A. G. **Aspectos da biologia reprodutiva de uma população natural de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) no Estuário Amazônico**. 1991. 90 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1991.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Multivariate distributions: applied multivariate statistical analysis**. New Jersey: Pearson, 2007. 488 p.

KUREK, A. J. et al. Análise de trilha como critério de seleção indireta para rendimentos de grãos em feijão. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 7, n. 1, p. 29-32, jan./abr. 2001.

LÊDO, A. S. et al. Cultura in vitro de embriões zigóticos de açaizeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 468-472, dez. 2001.

LIMA, R. R.; COSTA, J. P. C. **Registro de introduções de plantas de cultura pré-colombiana coletadas na Amazônia brasileira**. Belém: EMBRAPA CPATU, 1991. 191 p. (Documentos, 58).

LOPES, M. L. B. **Mercado e distribuição dos retornos sociais do manejo do açaí para produção de frutos**. 2001. 55 p. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade da Amazônia, Belém, 2001.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. New York: J. Wiley, 1981. 504 p.

MOURÃO, L.; GROSSMANN, M. **Açaí: possibilidades e limites para o desenvolvimento sustentável no estuário amazônico**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2004. 274 p.

MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco Maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egypt Journal of Genetic and Cytology**, Alexandria, v. 7, p. 40-51, Sept. 1978.

NETER, J.; WASSERMAN, W.; KUTNER, M. H. **Applied linear regression models**. New York: McGraw-Hill Professional, 1983. 485 p.

NOGUEIRA, O. L.; HOMMA, A. K. O. A importância do manejo de recursos extrativos em aumentar o carrying capacity: o caso do açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) no estuário amazônico. **Poematropic**, Belém, v. 2, p. 31-35, fev. 1998.

OLIVEIRA, E. J. Correlações genéticas e análise de trilha para número de frutos comerciais por planta em mamoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 8, p. 855-862, ago. 2010.

OLIVEIRA, M. S. P. **Avaliação do modo de reprodução e de caracteres quantitativos em 20 acessos de açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart. – *Areaceae*) em Belém, PA**. 1995. 145 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1995.

_____. **Caracterização molecular e morfo-agronômica de germoplasma de açazeiro**. 2005. 171 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

OLIVEIRA, M. S. P. Coeficiente de caminhamento entre caracteres agronômicos e a produção de frutos em açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 6-10, abr. 2000a.

_____. **Descritores mínimos para o açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.)**. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1998. 3 p. (Documentos, 205).

_____. **Seleção fenotípica de açaizeiros para a produção de frutos**. Belém: EMBRAPA Amazônia Oriental, 2000b. 5 p. (Comunicado Técnico, 34).

OLIVEIRA, M. S. P.; CARVALHO, J. E. U.; NASCIMENTO, W. M. O. **Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.)**. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 52 p.

OLIVEIRA, M. S. P. et al. Variabilidade genética entre acessos de açaizeiro utilizando marcadores microssatélites. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 5, p. 1253-1260, set./out. 2010.

OLIVEIRA, M. S. P.; FARIAS NETO, J. T. **Cultivar BRS-Pará: açaizeiro para produção de frutos em terra firme**. Belém: EMBRAPA Amazônia Oriental, 2004. 3 p.

_____. Variação genética entre progênies de açaizeiro para caracteres de emergência. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n. 45, p. 283-290, jan./jun. 2006.

OLIVEIRA, M. S. P.; SILVA, K. J. D. Diferenciação genética entre procedências de açaizeiro por marcadores RAPD e SSR. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 438-443, jun. 2008.

PESEK, J.; BAKER, R. J. Desired improvement in relation to selected indices. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 49, p. 803-804, Aug. 1969.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro**. Goiânia: UFG, 1993. 271 p.

RIBEIRO, N. D. et al. Critério de seleção indireta para a produtividade de grãos em feijão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 4, p. 986-989, abr. 2010.

RODRIGUES, G. B. et al. Análise de trilha de componentes de produção primários e secundários em tomateiro do grupo Salada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 2, p. 155-162, fev. 2010.

ROGEZ, H. **Açaí**: preparo, composição e melhoramento da conservação. Belém: UFPA, 2000. 313 p.

SANTANA, A. C.; CARVALHO, D. F.; TEIXEIRA, F. A. **Análise sistêmica da fruticultura paraense**: organização, mercado e competitividade empresarias. Belém: Banco da Amazônia, 2008. 255 p.

SAWAZAKI, H. E. et al. Diversidade genética em palmeiras através de isoenzimas e RAPD. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos, v. 58, n. 4, p. 681-691, nov. 1998.

SHRIVASTAVA, M. N.; SHARMA, K. K. Analysis of path coefficients in rice. **Zeitschrift fuer Pflanzenzuechtung**, Berlin, v. 77, p. 174-177, Aug. 1976.

SIQUEIRA, G. C. L. et al. **Açaí**: produtos potenciais da Amazônia. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1998. 50 p.

SMITH, H. F. A discriminant function for plant selection. **Annual Eugenics**, Oxford, v. 7, p. 240-250, 1936.

SUBANDI, L.; COMPTON, W.; EMPIG, L. T. Comparison of the efficiencies of selection indices for three traits in two variety crosses of corn. **Crop Science**, Madison, v. 13, p. 184-186, Apr. 1973.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496 p.

WILLIAMS, J. S. The evaluation of a selection index. **Biometrics**, Arlington, v. 18, n. 3, p. 375-393, 1962.

WRIGHT, S. Method of path coefficients. **Statistics**, Beachwood, v. 5, n. 3, p. 161-215, Apr. 1934.

_____. Theory of path coefficients. **Genetics**, Ames, v. 8, p. 239-235, 1923.

YOKOMIZO, G. K. et al. Desempenho de progênies de açaizeiros avaliadas para caracteres agrônômicos no Estado do Amapá. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 367-376, set. 2010.

CAPÍTULO 1

**CORRELAÇÕES GENÉTICAS E ANÁLISE DE TRILHA NO
MELHORAMENTO GENÉTICO DO AÇAIZEIRO PARA PRODUÇÃO
DE FRUTOS**

RESUMO

Assim como a maioria dos programas de melhoramento, os voltados para produção de frutos do açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart) também avaliam um grande número de caracteres. O conhecimento de quais são determinantes na produção de frutos é necessário para facilitar o trabalho do melhorista. Embora de grande utilidade no melhoramento de plantas, a correlação genética simples não fornece a real importância relativa dos diversos caracteres sobre uma variável objetivo de melhoramento. Neste sentido, a análise de trilha é um importante procedimento de análise, pois, desdobra as correlações de um conjunto de variáveis em efeitos diretos e indiretos sobre uma variável básica, ou principal. Pelo exposto, objetivou-se desdobrar as correlações genéticas de caracteres relativos ao cacho e a produção de frutos de progênies de meios-irmãos de açaizeiro em efeitos diretos e indiretos sobre a produção total de frutos, a fim de verificar a melhor estratégia de seleção para obtenção de progênies mais produtivas. Para isto, foi instalado no município de Santa Izabel do Pará, um experimento com 25 progênies de meios-irmãos em blocos ao acaso com quatro repetições e parcela de cinco plantas. Os dados obtidos durante os anos de 2005, 2006 e 2007 foram analisados pelo enfoque de modelos mistos e as correlações genéticas submetidas à análise de trilha. Os caracteres comprimento da raque do cacho, número de ráquulas do cacho e peso de cem frutos apresentaram grandes possibilidades de progresso genético. A produção de frutos apresentou correlação genética com o número de meses em produção, número total de cacho, peso total do cacho e de fruto por cacho e com o número de ráquulas do cacho. Contudo, pela análise de trilha, verificou-se que o número de cachos e peso de frutos por cacho foram os principais determinantes na variação da produção de frutos de açaizeiro. Ademais, o caráter número de ráquulas do cacho apresentou elevado efeito direto no peso de frutos por cacho, o que demonstra que a seleção simultânea do número total de cachos, peso de frutos por cacho e número de ráquulas do cacho podem fornecer ganhos satisfatórios na produção de frutos do açaizeiro.

Palavras-chave: *Euterpe oleracea*, correlações genéticas, efeitos diretos e indiretos, estratégias de seleção.

ABSTRACT

Like the most of breeding programs, the oriented to fruit production of assai palm (*Euterpe oleracea* Mart) also evaluated many traits. Knowledge of the which ones are determinants in the fruit production is necessary to facilitate the work of the breeder. Although, it is very useful in plant breeding, simple genetic correlation does not provide the real relative importance of several traits on a variable aimed to breeding. In this sense, path analyses is an important procedure of analysis because unfolds the correlations from a set of variables in direct and in direct effects on a basic or principal variable. For the above, we aimed to unfold the genetic correlations of traits concerning bunch and yield of half-sib progenies in direct and indirect effects on total fruit production to identify the best selection strategy to obtain progenies more productive. Doing this, it was installed in Santa Izabel do Pará an experiment with 25 half-sib progenies in random blocks with four replicate and plots of five plants. The obtained over the years 2005, 2006 and 2007 was analyzed by models mixed model approach and genetic correlations were submitted to path analysis. The traits rachis length of bunch, rachilles number of bunch and weight of a hundred fruits showed great potential to genetic progress. The fruits production correlated genetically with the number of months in production, total number of bunch and fruit per bunch and the number rachilles bunch. However, by path analysis, it was found that the number of bunch and weight of fruit per bunch were the main determinants of variation in the yield of assai palm. Moreover, the trait number rachilles bunch had high direct effect on the weight of fruits per bunch, which shows that the simultaneous selection of the total number of bunches, fruit weight per bunch and number rachilles bunch can provide satisfactory gains in production fruit of assai palm.

Keywords: *Euterpe oleracea*. Genetic correlations. Direct and indirect effects. Selection strategies.

1 INTRODUÇÃO

O programa de melhoramento genético do açaizeiro visando à produção de frutos teve início no final da década de 80 do século XX pela Embrapa Amazônia Oriental (OLIVEIRA, 2005). Assim como a maioria dos programas de melhoramento, o do açaizeiro faz uso de grande número de caracteres. O entendimento da associação genética entre esses caracteres é de grande interesse, pois, pode fornecer indícios de estratégias de seleção mais adequadas e, assim, maximizar os ganhos com a seleção (SANTOS; VENCOVSKY, 1986).

As correlações genéticas são importantes no melhoramento de plantas, em especial quando se deseja selecionar mais de um caráter simultaneamente, ou quando o caráter desejado apresenta baixa herdabilidade e é de difícil avaliação. Por estes parâmetros, é possível alcançar melhores ganhos no caráter desejado com a seleção de outros caracteres, a ele correlacionado, mas que sejam de fácil avaliação e apresentem alta herdabilidade (CARVALHO et al., 1999).

A seleção indireta pode não resultar em ganhos expressivos se uma alta correlação não representar a verdadeira associação entre dois caracteres. Isso é possível quando uma alta correlação ocorre por influência de um terceiro ou um conjunto de caracteres (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004). Nesse sentido, a análise de trilha (“path analysis”), proposta por Wright (1921), permite, por meio de regressão das variáveis padronizadas, decompor as correlações genéticas para verificar se a relação entre as variáveis em estudo é de causa e efeito, ou se influenciada por outro caráter.

O sucesso da análise de trilha depende da elaboração de um diagrama que caracterize o relacionamento de causa e efeito dos caracteres. Para sua montagem, é essencial a experiência do pesquisador em supor quais variáveis são as principais determinantes na expressão do caráter desejado (CARVALHO,

1995). Esta metodologia recentemente foi utilizada em mamoeiro (OLIVEIRA et al., 2010), pinhão-manso (SPINELLI et al., 2010) e tomateiro (RODRIGUES et al., 2010). No açaizeiro ela permitiu verificar que o número total de cachos emitidos e o peso de frutos por cacho são os principais determinantes da produção (OLIVEIRA, 2000). Mas, há outros caracteres relacionados ao cacho e a produção de frutos que podem ter grande efeito direto ou indireto na produção total de frutos e necessitam ser investigados.

Pelo exposto, o presente trabalho teve por objetivo desdobrar as correlações genéticas de caracteres relativos ao cacho e a produção de frutos de progênies de meios-irmãos de açaizeiro em efeitos diretos e indiretos sobre a produção total de frutos, a fim de verificar a melhor estratégia de seleção para obtenção de progênies mais produtivas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição do experimento

No período de 2005 a 2007 foram avaliados caracteres agronômicos relativos à produção de frutos e de cacho de 25 progênies de meios-irmãos de açaizeiro, selecionadas como promissoras para produção de frutos na coleção de germoplasma da Embrapa Amazônia Oriental. Estas progênies foram instaladas em área de produtor rural do município de Santa Izabel do Pará, pertencente à mesorregião metropolitana de Belém em fevereiro de 2001. O clima é predominantemente equatorial quente e úmido, do tipo Af₁, segundo a classificação de Köeppen, com precipitação pluviométrica acima de 3000 mm anual, temperatura média de 25 °C e altitude de 24 metros. O solo é caracterizado como latossolo amarelo com textura média.

O delineamento experimental foi de blocos casualizados com 25 progênies, quatro repetições e parcelas lineares de cinco plantas. O espaçamento foi de seis metros entre linhas e quatro metros entre plantas. Para um melhor controle ambiental do experimento, foram utilizadas três fileiras de bordadura no início e final do experimento e duas fileiras de bordadura nas laterais e entre os blocos do experimento, constituída pela mistura das 25 progênies.

2.1 Caracteres avaliados

Os seguintes caracteres foram mensurados nos três anos de estudo, quando a população já estava em plena produção:

- número total de meses em produção (NMP): obtido pela contagem do número total de meses em que houve a coleta de cacho de cada ano, expresso em unidades;
- número total de cachos emitidos (NTC): obtido pela contagem do número total de cachos coletados em cada planta ao ano, expresso em unidades;
- produção total de frutos (PTF): obtido pela soma dos pesos dos frutos produzidos em cada planta ao ano, expresso em quilogramas;
- peso total do cacho (PTC): obtido pela média dos pesos dos frutos e da inflorescência, coletados de cada planta ao ano, expresso em quilogramas;
- peso de frutos por cacho (PFC): obtido pela média dos pesos dos frutos dos cachos coletados de cada planta ao ano, expresso em quilogramas;
- rendimento de frutos por cacho (RFC): obtido pela razão entre peso de frutos por cacho e peso total do cacho, multiplicado por 100, expresso em porcentagem;
- número de ráquias do cacho (NRC): obtido pela média da contagem manual das ráquias de cada cacho por planta ao ano, expresso em unidades;

- comprimento do raque do cacho (CRC): mensurado com fita métrica a partir da inserção da raque no pecíolo até o final da raque, expresso em centímetros;
- peso de cem frutos (PCF): obtidos pela média do peso de cem frutos, retirados aleatoriamente de cachos de cada planta ao ano, expresso em gramas.

2.3 Análises estatística e genética dos dados

As estimativas de parâmetros genéticos na análise conjunta dos dados de 2005, 2006 e 2007 foram obtidas pelo seguinte modelo linear misto na forma matricial:

$$y = Xm + Za + Wp + Qi + Ts + e \quad (1)$$

em que:

y : é o vetor de dados;

m : vetor dos efeitos fixos das combinações medição-repetição somados à média geral;

a : vetor dos efeitos aleatórios dos valores genéticos aditivos individuais, sendo $a \sim \text{NMV}(0, A\sigma_a^2)$. O σ_a^2 é o componente de variância genética aditiva e A é a matriz de relacionamento genético aditivo;

p : vetor dos efeitos aleatórios de parcela, sendo $p \sim \text{NMV}(0, I\sigma_p^2)$. O σ_p^2 é componente de variância ambiental entre parcelas;

i : vetor dos efeitos aleatórios da interação genótipos x anos aleatórios de parcela, sendo $i \sim \text{NMV}(0, I\sigma_i^2)$. O σ_i^2 é o componente de variância da interação genótipos x medições.

s : vetor dos efeitos aleatórios permanentes (ambiente permanente dentro de parcela + efeitos genéticos não aditivos) sendo $s \sim \text{NMV}(0, I\sigma_s^2)$. O σ_s^2 é o

componente de variância associado aos efeitos permanentes.

e : vetor de efeitos aleatórios dos erros ou resíduos, sendo $e \sim \text{NMV}(0, I \sigma_e^2)$. O

σ_e^2 é o componente de variância associado aos efeitos dos erros.

X, Z, W, Q e T : matrizes de incidência que associam os efeitos de m, a, p, i e s ao vetor de dados y .

A estimação dos efeitos fixos (melhor estimador linear não tendencioso - BLUE) e aleatórios (melhor predição linear não viciada - BLUP) do modelo (1) foi realizada via resolução de sistema de equações de Henderson (1975).

O método utilizado para a estimação dos componentes de variância (σ_a^2 , σ_p^2 , σ_i^2 , σ_s^2 e σ_e^2) foi o da máxima verossimilhança residual ou restrita (REML) via algoritmo EM (Esperança – Maximização), conforme descrito em Resende (2002).

A partir das estimativas dos componentes de variância e predições dos valores genéticos foram obtidas as estimativas das correlações genéticas entre os caracteres estudados. Para cada caráter foram estimadas as herdabilidades individuais e os ganhos com a seleção. As herdabilidades na média de progênie foram estimadas pela expressão (RESENDE, 2002):

$$h_{mp}^2 = \frac{[1 + (n-1)\rho_a]h_{ri}^2}{1 + (n-1)(\rho_a h_{ri}^2)}$$

em que:

n : número total de indivíduos por progênie, no qual foi adotado um total de 20 indivíduos no presente trabalho;

ρ_a : correlação genética entre os indivíduos do tipo de família considerada ($\rho_a = 1/4$; para meios-irmãos);

h_{ir}^2 : herdabilidade individual no sentido restrito.

A precisão experimental para cada característica foi avaliada pela acurácia seletiva ($\hat{r}_{\hat{g}g}$). Segundo Resende e Duarte (2007), a acurácia seletiva classifica a qualidade dos experimentos quanto à precisão em: muito alta ($\hat{r}_{\hat{g}g} \geq 0,90$), alta ($0,70 \leq \hat{r}_{\hat{g}g} \leq 0,89$), moderada ($0,50 \leq \hat{r}_{\hat{g}g} \leq 0,69$) e baixa ($\hat{r}_{\hat{g}g} \leq 0,49$). A acurácia nas classes dos estimadores/preditores não viciados é estimada por:

$$\hat{r}_{\hat{g}g} = \left(\frac{1 - PEV}{\tilde{\sigma}_a^2} \right)^{1/2}$$

em que:

PEV : variância do erro de predição;

$\tilde{\sigma}_a^2$: estimador de máxima verossimilhança restrita da variância aditiva.

As análises foram realizadas no software Selegen - REML/BLUP (RESENDE, 2007).

2.4 Análise de trilha

Antes do desenvolvimento dessa análise, a matriz de correlação genética entre os caracteres envolvidos foi avaliada quanto à multicolinearidade. O diagnóstico foi realizado pelo número de condição da matriz de correlação proposto por Montgomery e Peck (1981). Este método baseia-se no número de condições (NC) obtido pela razão do maior autovalor pelo menor autovetor da matriz de correlação genética. A multicolinearidade é considerada fraca quando NC é menor que 100. Em caso de multicolinearidade moderada ($100 < NC < 1000$) ou forte ($NC > 1000$), esta pode ser atenuada pela eliminação da variável

que mais contribui para a multicolinearidade e/ou pela aplicação de uma constante k na diagonal da matriz $X'X$, à semelhança do método de regressão em crista, como proposto por Carvalho (1995).

A análise foi realizada com um diagrama causal em duas cadeias (Figura 1). Na primeira cadeia, que tem por objetivo desdobrar as correlações em efeitos diretos e indiretos de variáveis consideradas como primárias sobre uma variável básica ou principal, considerou-se a produção total de frutos (PTF) como básica. Os seguintes caracteres primários foram escolhidos por sua relevância na produção: número total de cachos emitidos (NTC), número de meses em produção (NMP) e peso de frutos por cacho (PFC).

As estimativas dos coeficientes de trilhas da primeira cadeia foram obtidas pelo seguinte modelo (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004):

$$y = P_{01}x_1 + P_{02}x_2 + P_{03}x_3 + P_\varepsilon u \quad (2)$$

em que:

y : variável principal PTF padronizada;

x_i : variáveis primárias explicativas padronizadas (NTM, NTC e PFC);

P_{01} , P_{02} e P_{03} : razão do produto dos coeficientes de regressão linear entre as variáveis primárias 1, 2 e 3 com a principal, todas padronizadas, sobre o desvio padrão da variável principal padronizada.

P_ε : efeito da variável residual sobre a variável principal;

u = razão do efeito de ambiente pelo desvio padrão dos efeitos ambientais;

Detalhes sobre a padronização de variáveis e a estimação dos coeficientes de regressão linear entre variáveis padronizadas podem ser obtidos em Cruz, Regazzi e Carneiro (2004).

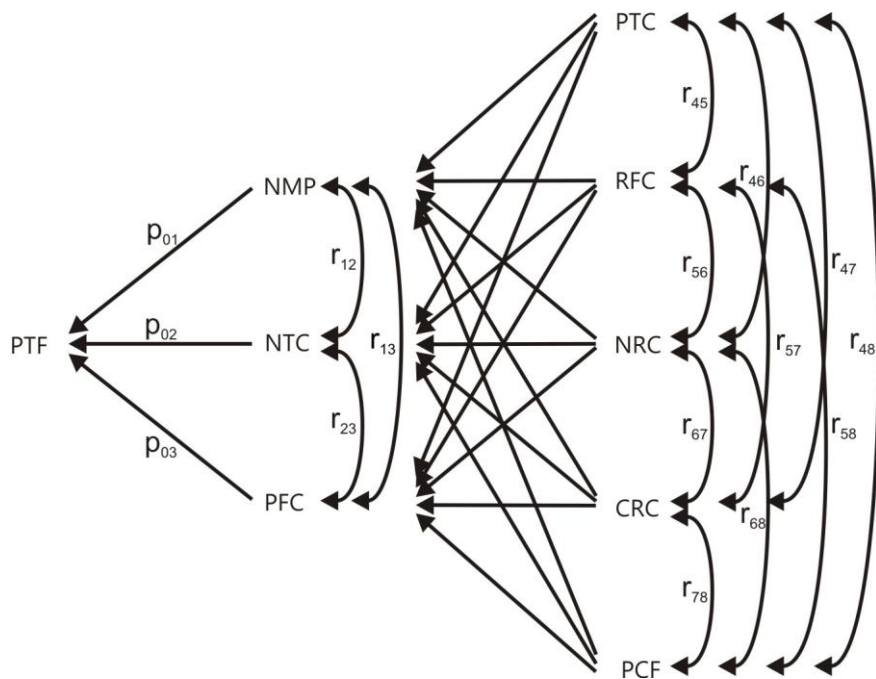


Figura 1 Diagrama causal em cadeias dos efeitos diretos e indiretos das variáveis secundárias PTC, RFC, NRC, CRC e PCF sobre as variáveis primárias NMP, NTC e PFC e a variável principal PTF.

No modelo (2), com as variáveis padronizadas, verifica-se que:

$$V(y) = V(x_i) = V(u) = 1$$

$$Cov(y, x_i) = r_{0i}$$

$$Cov(x_i, x_j) = r_{ij}$$

$$Cov(u, x_i) = 0$$

Tendo em vista o modelo (2), verificam-se as seguintes relações:

$$\hat{V}(y) = \hat{p}_{01}^2 + \hat{p}_{02}^2 + \hat{p}_{03}^2 + 2\hat{p}_{01}\hat{p}_{02}r_{12} + 2\hat{p}_{01}\hat{p}_{03}r_{13} + 2\hat{p}_{02}\hat{p}_{03}r_{23} + \hat{p}_{\varepsilon}^2 \quad (3)$$

$$\hat{Cov}(y, x_1) = r_{01} = \hat{p}_{01} + \hat{p}_{02}r_{12} + \hat{p}_{03}r_{13}$$

$$\hat{Cov}(y, x_2) = r_{02} = \hat{p}_{01}r_{12} + \hat{p}_{02} + \hat{p}_{03}r_{23} \quad (4)$$

$$\hat{Cov}(y, x_3) = r_{03} = \hat{p}_{01}r_{13} + \hat{p}_{02}r_{23} + \hat{p}_{03}$$

em que:

r_{12} , r_{13} e r_{23} : correlações genéticas entre as variáveis primárias 1, 2 e 3.

Em (4) é apresentada a decomposição da correlação entre a variável principal PTF e a variável primária (r_{0i}) em efeitos diretos de x_i sobre PTF, expresso por \hat{p}_{0i} , e o efeito indireto de x_i via x_j , expresso por $\hat{p}_{0i}r_{ij}$.

O coeficiente de determinação do modelo causal ($R_{0.123}^2$), que mede os efeitos das três variáveis primárias explicativas sobre a variável principal PTF foi estimado por:

$$R_{0.123}^2 = \hat{p}_{01}^2 + \hat{p}_{02}^2 + \hat{p}_{03}^2 + 2\hat{p}_{01}\hat{p}_{02}r_{12} + 2\hat{p}_{01}\hat{p}_{03}r_{13} + 2\hat{p}_{02}\hat{p}_{03}r_{23}$$

Em (3), estimou-se o efeito da variável residual sobre a variável principal, dado por:

$$\hat{p}_{\varepsilon} = \sqrt{1 - R_{0.123}^2}$$

A segunda cadeia teve por finalidade estimar os efeitos diretos e indiretos das variáveis secundárias sobre as primárias. No presente trabalho, os caracteres peso total do cacho (PTC), rendimento de frutos por cacho (RFC), comprimento da raque do cacho (CRC), número da ráquilas do cacho (NRC) e peso de cem frutos (PCF) foram considerados de menor importância na

produção e, portanto, secundários. Os efeitos diretos e indiretos dos caracteres secundários sobre cada caráter primário foram obtidos como descrito anteriormente. Contudo, deve-se adotar o modelo apropriado e o sistema de equações derivados a partir deste modelo. Como exemplo, os efeitos diretos e indiretos das variáveis secundárias 4, 5, 6, 7 e 8 sobre a variável primária 1 foram obtidos pelo seguinte modelo:

$$x_1 = p_{14}x_4 + p_{15}x_5 + p_{16}x_6 + p_{17}x_7 + p_{18}x_8 + p_{1\epsilon}\epsilon_1 \quad (5)$$

De (5) derivam as equações:

$$\begin{aligned} r_{14} &= \hat{p}_{14} + \hat{p}_{15}r_{45} + \hat{p}_{16}r_{46} + \hat{p}_{17}r_{47} + \hat{p}_{18}r_{48} \\ r_{15} &= \hat{p}_{14}r_{45} + \hat{p}_{15} + \hat{p}_{16}r_{56} + \hat{p}_{17}r_{57} + \hat{p}_{18}r_{58} \\ r_{16} &= \hat{p}_{14}r_{46} + \hat{p}_{15}r_{56} + \hat{p}_{16} + \hat{p}_{17}r_{67} + \hat{p}_{18}r_{68} \\ r_{17} &= \hat{p}_{14}r_{47} + \hat{p}_{15}r_{57} + \hat{p}_{16}r_{67} + \hat{p}_{17} + \hat{p}_{18}r_{78} \\ r_{18} &= \hat{p}_{14}r_{48} + \hat{p}_{15}r_{58} + \hat{p}_{16}r_{68} + \hat{p}_{17}r_{78} + \hat{p}_{18} \\ R_{1.45678}^2 &= \hat{p}_{14}r_{14} + \hat{p}_{15}r_{15} + \hat{p}_{16}r_{16} + \hat{p}_{17}r_{17} + \hat{p}_{18}r_{18} \\ \hat{p}_{1\epsilon} &= \sqrt{1 - R_{1.45678}^2} \end{aligned}$$

Por último, foram estimados os efeitos diretos e indiretos dos componentes secundários sobre a variável principal. Como exemplo, a seguir é apresentado o desdobramento da correlação entre a variável principal e o componente secundário x_4 :

$$r_{04} = \hat{p}_{01}r_{14} + \hat{p}_{02}r_{24} + \hat{p}_{03}r_{34}$$

$$\begin{aligned}
r_{04} = & \hat{p}_{01}(\hat{p}_{14} + \hat{p}_{15}r_{45} + \hat{p}_{16}r_{46} + \hat{p}_{17}r_{47} + \hat{p}_{18}r_{48} + \hat{p}_{18}r_{38}) \\
& + \hat{p}_{02}(\hat{p}_{24} + \hat{p}_{25}r_{45} + \hat{p}_{26}r_{46} + \hat{p}_{27}r_{47} + \hat{p}_{28}r_{48}) \\
& + \hat{p}_{03}(\hat{p}_{34} + \hat{p}_{35}r_{45} + \hat{p}_{36}r_{46} + \hat{p}_{37}r_{47} + \hat{p}_{38}r_{48})
\end{aligned} \tag{7}$$

Com base na equação (7) definem-se os seguintes efeitos:

Efeito direto do componente secundário x_4 , via componentes primários.

- x_1 : é dado por $\hat{p}_{01} \hat{p}_{14}$

- x_2 : é dado por $\hat{p}_{02} \hat{p}_{24}$

- x_3 : é dado por $\hat{p}_{03} \hat{p}_{34}$

Efeito indireto do componente secundário x_4 via outros componentes secundários e primários.

- via x_5 por x_1 : é dado por $r_{45} \hat{p}_{15} \hat{p}_{01}$

por x_2 : é dado por $r_{45} \hat{p}_{25} \hat{p}_{02}$

por x_3 : é dado por $r_{45} \hat{p}_{35} \hat{p}_{03}$

- via x_6 por x_1 : é dado por $r_{46} \hat{p}_{16} \hat{p}_{01}$

por x_2 : é dado por $r_{46} \hat{p}_{26} \hat{p}_{02}$

por x_3 : é dado por $r_{46} \hat{p}_{36} \hat{p}_{03}$

- via x_7 por x_1 : é dado por $r_{47} \hat{p}_{17} \hat{p}_{01}$

por x_2 : é dado por $r_{47} \hat{p}_{27} \hat{p}_{02}$

por x_3 : é dado por $r_{47} \hat{p}_{37} \hat{p}_{03}$

- via x_8 por x_1 : é dado por $r_{48} \hat{p}_{18} \hat{p}_{01}$

por x_2 : é dado por $r_{48} \hat{p}_{28} \hat{p}_{02}$

por x_3 : é dado por $r_{48} \hat{p}_{38} \hat{p}_{03}$

A análise de trilha foi processada no programa computacional GENES (CRUZ, 2006).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A precisão experimental foi avaliada pela acurácia. Na sua estimação é considerada a variância do erro de predição (PEV), que reúne em uma única estatística o coeficiente de variação experimental, o número de repetições, a variação genotípica entre os tratamentos, a variância residual e o coeficiente de variação genotípico. Além disso, este parâmetro não depende da magnitude da média, o que torna mais segura a utilização da expressão fenotípica como indicador da variação genotípica (RESENDE; DUARTE, 2007). Pela acurácia, verificou-se baixa precisão experimental para maioria dos caracteres avaliados. Mas, para o caráter comprimento da raque do cacho (CRC), a precisão foi moderada e alta para o número de ráquulas do cacho (NRC) e peso de cem frutos (PCF) (Tabela 1).

Nas análises de deviances conjuntas dos anos (Tabela 1), verifica-se pelo teste da razão da verossimilhança (LRT) que não houve diferença significativa entre as progênies para o caráter produção de frutos (PTF). A variância genética entre progênies contribuiu muito pouco para a variância fenotípica, o que resultou em baixas estimativas de herdabilidade no sentido restrito individual e na média de progênies. Isto indica que poucos ganhos genéticos são esperados pela seleção aplicada neste caráter, o que reforça a necessidade do conhecimento de caracteres de efeito na produção de frutos e que apresentem facilidades de melhoramento, para traçar estratégias de seleção mais eficientes que a seleção direta.

Tabela 1 Parâmetros genéticos e fenotípicos para os caracteres: produção total de frutos (PTF), em quilogramas; número de meses em produção (NMP); número total de cachos emitidos (NTC); peso total do cacho (PTC), em quilogramas; peso de frutos por cacho (PFC), em quilogramas; rendimento de frutos por cacho (RFC), em porcentagem; número de ráquias do cacho (NRC); comprimento da raque do cacho (CRC), em centímetros; e peso de cem frutos (PCF), em gramas; obtidos pelas análises conjuntas dos anos de 2005, 2006 e 2007 dos dados na média por planta das progênes de meios-irmãos de açazeiro avaliadas em cada ano. Santa Izabel, PA.

Componentes de variância	Caracteres								
	NMP	NTC	PTF	PTC	PFC	RFC	NRC	CRC	PCF
σ_g^2	0,0263 ^{ns}	0,1421 ^{ns}	0,0882 ^{ns}	0,0345 ^{ns}	0,0136 ^{ns}	1,4617 ^{ns}	31,8113 ^{**}	6,2845 ^{**}	163,0179 ^{**}
σ_i^2	0,0547 [*]	0,0724 ^{ns}	0,7815 [*]	0,0727 ^{**}	0,0390 ^{**}	1,0016 ^{ns}	4,2251 ^{**}	1,8656 ^{**}	14,4098 ^{**}
σ_e^2	1,5538	5,9958	23,8192	0,6241	0,4447	67,7359	79,9134	25,5680	317,0690
σ_f^2	1,8039	7,6214	33,8981	0,9097	0,6174	81,8100	167,1179	50,4796	699,6098
h_{ir}^2 (%)	1,46	1,86	0,26	3,79	2,21	1,79	19,04	12,45	23,30
h_{mr}^2 (%)	7,84	9,85	1,48	18,48	11,49	9,47	57,48	44,98	63,59
\hat{r}_{gg}	0,28	0,31	0,12	0,43	0,34	0,31	0,76	0,67	0,80
Média	8,75	2,63	4,97	2,49	1,77	68,70	89,22	47,47	148,80

^{**} e ^{*} Significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste de χ^2 (1% = 6,63; 5% = 3,84), respectivamente, verificado pelo teste da razão da verossimilhança, com distribuição com 1 grau de liberdade; σ_g^2 : variância genotípica entre as progênes; aditiva; σ_i^2 : variância da interação genótipo x ano; σ_e^2 : variância residual temporária; σ_f^2 : variância fenotípica individual; h_{ir}^2 : herdabilidade individual restrita entre progênes; h_{mr}^2 : herdabilidade no sentido restrito na média de progênes; \hat{r}_{gg} : Acurácia seletiva.

Os caracteres número de meses em produção (NMP), número total de cachos emitidos (NTC), peso total do cacho (PTC) e de frutos por cacho (PFC), o rendimento de frutos por cacho (RFC) e o comprimento da raque do cacho (CRC), também, apresentaram poucas chances de progresso genético com a seleção. Não foram verificadas diferenças significativas entre as progênes para estes caracteres e pouca proporção da variância fenotípica foi consequência de causas genéticas (Tabela 1). A variância genética entre progênes equivale a um quarto da variância genética aditiva, que é a parte herdável da variância fenotípica observada e a única aproveitada no processo seletivo (CRUZ; CARNEIRO, 2006). As baixas estimativas de herdabilidade, tanto individual quanto na média de progênes, indicam forte influência ambiental, também, nesses caracteres.

Os caracteres número de ráquias do cacho (NRC) e peso de cem frutos (PCF) foram os únicos que apresentaram boas possibilidades de progresso genético com a seleção. As estimativas de herdabilidade individuais foram de baixa magnitude, mas razoáveis na média de progênes (Tabela 1). Com isto, estes caracteres podem servir de estratégia seletiva, caso algum destes apresente alta correlação e elevado efeito direto sobre a produção de frutos. Vale ressaltar que estes caracteres apresentaram estimativas de acurácia seletiva acima de 70%, como almejado no melhoramento de espécies perenes. Estas estimativas refletem a correlação entre o real valor genético e o valor predito pelas informações das plantas presentes no experimento (RESENDE, 2007).

Para a fonte de variação da interação progênes x anos, os caracteres número total de cachos emitidos (NTC) e rendimento de frutos do cacho (RFC) não apresentaram diferenças significativas (Tabelas 1). Isto demonstra que as progênes se comportaram semelhantemente para estes caracteres nos três anos avaliados. Esse resultado facilita o processo seletivo. Contudo, houve interação progênes x anos nos demais caracteres, ou seja, o comportamento dos indivíduos não foi coincidente nos três anos para esses caracteres. Segundo Cruz e Carneiro (2006), as diferenças nas expressões em

cada ambiente, ano ou safra de avaliação decorrem em função de causas ambientais que influenciam na expressão dos genes que controlam o caráter. Para Fehr (1987) as interações do tipo genótipo x ano ou genótipo x safra ocorrem, principalmente, por variações do tipo imprevisível, como quantidade e distribuição de chuvas, variações na temperatura, dentre outras.

As estimativas de correlação genética entre os nove caracteres avaliados encontram-se na tabela 2. Verifica-se que a PTF apresentou correlação moderada e positiva com NTC, PTC, PFC, NMP e NRC. Este resultado era esperado, uma vez que a produção total das plantas foi estimada pela somatória do peso de frutos por cachos emitidos em cada ano. Além disso, os frutos encontram-se nas ráquias, logo era de se esperar que quanto maior fosse o número de ráquias maior seria a quantidade de frutos. Farias Neto et al. (2008) encontraram estimativas de correlações semelhantes entre a produção de frutos e o peso do cacho (0,51), também, entre a produção de frutos e o número de ráquias do cacho (0,49), mas verificaram maiores estimativas de correlação entre o número de cachos e a produção de frutos (0,89), ao avaliar um ano de produção em progênies de polinização aberta de açaizeiro, cultivadas em sistema irrigado.

Altas correlações genéticas foram encontradas entre PTC e PFC (0,96), NRC e PTC (0,83), NTC e NMP (0,80) e entre NRC e PFC (0,70). Estes resultados possibilitam obter ganhos em um caráter pela seleção do outro, pois, são favoravelmente correlacionados geneticamente (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004). Isto possibilita a formação de populações melhoradas para maior número de meses em produção, cachos mais pesados e maior número de ráquias. Vale lembrar que estes caracteres apresentaram correlação positiva com a produção de frutos. Sendo assim, a seleção simultânea desses caracteres pode fornecer ganhos na produção de frutos de forma mais eficiente, pois, ao selecionar os caracteres que contribuem positivamente para o caráter almejado faz-se o uso da correlação de forma mais efetiva (FALCONER; MACKAY, 1996).

Tabela 2 Estimativa de correlações genótípicas entre nove caracteres relativos à produção e ao cacho de progênies de meios-irmãos de açazeiro. Santa Izabel, PA, 2005, 2006 e 2007.

Variáveis [#]	NMP	NTC	PTF	PTC	PFC	RFC	NRC	CRC	PCF
NMP	1	0,80	0,46	-0,28	-0,23	0,25	-0,26	-0,26	0,00
NTC		1	0,56	-0,32	-0,29	0,08	-0,17	-0,26	-0,23
PTF			1	0,52	0,58	0,22	0,46	0,20	-0,01
PTC				1	0,96	-0,04	0,83	0,59	0,14
PFC					1	0,21	0,70	0,48	0,17
RFC						1	-0,41	-0,42	0,04
NRC							1	0,60	0,01
CRC								1	0,38
PCF									1

[#]NMP: número de meses em produção; NTC: número total de cachos emitidos; PTF: produção total de fruto; PTC: peso total do cacho; PFC: peso de frutos por cacho; RFC: rendimento de fruto do cacho; NRC: número da ráquias do cacho; CRC: comprimento da raque do cacho e PCF: peso de cem frutos.

Para maior confiabilidade nos resultados da análise de trilha, a matriz de correlação genética entre os caracteres foi testada quanto à multicolinearidade pelo número de condições proposto por Montgomery e Peck (1981). Para a primeira cadeia, que considera as variáveis primárias e a principal, o número de condições foi de 62,47, o que caracteriza multicolinearidade fraca ($NC < 100$). Pelo resultado, não há problemas quanto à análise de trilha da primeira cadeia. Contudo, a segunda cadeia, que contempla as variáveis primárias e secundárias, o número de condições foi de 1014,58, o que caracteriza multicolinearidade severa ($NC > 1000$). Nesta situação, as variâncias associadas aos estimadores dos coeficientes de trilha podem atingir valores elevados e os coeficientes de trilha podem não ter coerência com o fenômeno biológico estudado (CARVALHO; CRUZ, 1996). Portanto, foi retirado da matriz de correlação o caráter PTC, que, por ser altamente correlacionado com PFC, foi considerado como redundante. Com isso, o número de condições foi para 43,76, o que torna confiáveis os

resultados apresentados.

Os coeficientes de trilha das variáveis consideradas como primárias sobre a produção de frutos encontram-se na tabela 3. Verifica-se pelo coeficiente de determinação (R^2) que estas variáveis explicaram 91,56% da variação na produção de frutos. As variáveis NTC e PFC foram as mais influentes, com efeitos diretos semelhantes, e com estimativas superiores a correlação com a produção de frutos. Assim, pode-se dizer que essas duas variáveis são as principais determinantes na variação da PTF e devem ser consideradas simultaneamente no processo de seleção (CARVALHO et al., 1999). Também foram observados efeitos indiretos e negativos entre NTC e PFC, mas inferiores ao efeito residual, portanto, de baixa magnitude. Apesar disso, é possível que o incremento de um caráter reduza a média do outro. Farias Neto et al. (2008) verificaram correlação positiva entre esses caracteres, já Oliveira et al. (2000) não encontraram correlação significativa. Vale lembrar que estimativas de correlação variam de experimento para experimento, pois este parâmetro procura identificar uma eventual associação na variação das características em estudo (HOOGERHEIDE et al., 2007).

Apesar da razoável estimativa de correlação positiva, o NMP não apresentou efeito direto sobre a PTF. Verifica-se que essa correlação ocorreu por influência de NTC, que teve efeito indireto mais de duas vezes superior ao efeito residual (Tabela 3). O número de meses em produção é tão importante quanto à produção de frutos, haja vista que a entressafra, período entre janeiro a julho, é um dos principais entraves no mercado de frutos do açazeiro (SIQUEIRA et al., 1998). Pelos resultados, ganhos simultâneos na produção de frutos e no número de meses em produção são possíveis apenas quando se considera o número de cachos emitidos.

Tabela 3 Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis consideradas como primárias sobre a variável principal produção total de frutos (PTF), realizadas com os dados de média por planta de progênies de meios-irmãos de açaizeiro, Santa Izabel, PA, 2005, 2006 e 2007.

Variáveis Primárias [#]	Vias de associação	Coefficiente de trilha
NMP	Efeito direto sobre PTF	0,03
	Efeito indireto via NTC	0,62
	Efeito indireto via PFC	-0,19
	Total	0,46
NTC	Efeito direto sobre PTF	0,77
	Efeito indireto via NMP	0,02
	Efeito indireto via PFC	-0,23
	Total	0,56
PFC	Efeito direto sobre PTF	0,81
	Efeito indireto via NMP	0,01
	Efeito indireto via NTC	-0,22
	Total	0,58
R^2 (%)		91,56
Efeito residual		0,29

[#]NMF: número de meses em produção; NTC: número total de cachos emitidos; PFC: peso de frutos por cacho.

Segundo Rodrigues et al. (2010), existe também grande interesse em verificar os efeitos dos componentes considerados como secundários sobre os primários, principalmente, quando as variáveis secundárias apresentam maior herdabilidade e facilidade de avaliação. Pelo ajuste do modelo de causa e efeito, neste estudo, verificou-se que os caracteres secundários explicaram a variação do peso de frutos por cacho, com coeficiente de determinação de 83,78% (Tabela 4). O NRC apresentou forte efeito direto sobre PFC. Como NRC apresentou razoável estimativa de herdabilidade (57,48%) e de correlação com PFC (0,70), o seu uso em um processo seletivo simultâneo com PFC e NTC pode ser uma boa estratégia de seleção. Já o rendimento de frutos por cacho apresentou baixa correlação com PFC

(0,21), mas efeito direto positivo elevado (0,65). Este resultado demonstra como as estimativas de correlação simples podem induzir a erros. Constatou-se que sua baixa correlação ocorreu por influências contrárias de NRC e CRC (Tabela 4). Embora seja de efeito direto positivo sobre um caráter determinante na produção de frutos, a herdabilidade tanto individual como na média de progênes foram baixas. Com isto, a seleção individual de RFC, ou conjunta com outros caracteres, pode não ser importante na resposta correlacionada.

Os efeitos totais das variáveis secundárias sobre a produção de frutos encontram-se na tabela 5. Segundo Oliveira et al. (2010), o que se procura no melhoramento de plantas é encontrar variáveis correlacionadas e com alto efeito direto favorável sobre a variável principal. No presente trabalho, o caráter NRC foi o que apresentou maior correlação e efeito direto sobre a produção de frutos. Este resultado reforça a importância dessa variável no processo seletivo para incremento da PTF. Outro caráter de elevado efeito direto sobre PTF foi o RFC (Tabela 5). Verifica-se que sua baixa correlação com a variável principal ocorreu por influência negativa do NRC. Este resultado não era esperado, uma vez que tanto NRC quando RFC influenciaram positivamente no peso de frutos por cacho. De qualquer modo, pelos resultados, verifica-se que deve ser dada maior atenção para o caráter NRC, pois é mais herdável. Farias Neto et al. (2008), também, verificaram altas estimativas de herdabilidade para o caráter número de ráquias do cacho.

Embora o peso de cem frutos, que reflete o tamanho dos frutos, não tenha apresentado correlação, nem efeito sobre qualquer variável (Tabelas 4 e 5), este ainda é um resultado interessante. Isto porque este caráter apresenta uma importância econômica empírica. Comerciantes de frutos valorizam os de menor tamanho, pois, acreditam que rendem mais polpa. O resultado obtido indica que a seleção para este caráter provavelmente não provoca alterações nos demais caracteres. A alta herdabilidade estimada (97,96%) permite o uso de estratégias de seleção mais simples, como a

seleção massal (BORÉM; MIRANDA, 2005). Com isso, o melhorista pode selecionar os genótipos de maior produção, e dentre estes, os que possuem menor PCF, para obtenção de progênies mais produtivas e com frutos de menor tamanho.

Tabela 4 Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis secundárias sobre as primárias, realizadas com os dados de média por planta de progênies de meios-irmãos de açazeiro. Santa Izabel, PA, 2005, 2006 e 2007.

Variáveis secundárias [#]	Vias de associação	Variáveis primárias [#]		
		NMP	NTC	PFC
RFC	Efeito direto sobre	0,13	-0,01	0,65
	Efeito indireto via NRC	0,04	0,03	-0,34
	Efeito indireto via CRC	0,07	0,07	-0,10
	Efeito indireto via PCF	0,00	-0,01	0,00
	Total	0,25	0,09	0,21
NRC	Efeito direto sobre	-0,11	-0,08	0,82
	Efeito indireto via RFC	-0,05	0,00	-0,27
	Efeito indireto via CRC	-0,10	-0,10	0,15
	Efeito indireto via PCF	0,00	0,00	0,00
	Total	-0,26	-0,17	0,70
CRC	Efeito direto sobre	-0,16	-0,17	0,25
	Efeito indireto via RFC	-0,06	0,00	-0,27
	Efeito indireto via NRC	-0,06	-0,05	0,49
	Efeito indireto via PCF	0,02	-0,06	0,01
	Total	-0,26	-0,27	0,48
PCF	Efeito direto sobre	0,06	-0,17	0,03
	Efeito indireto via RFC	0,00	0,00	0,02
	Efeito indireto via NRC	0,00	0,00	0,00
	Efeito indireto via CRC	-0,06	-0,06	0,09
	Total	0,00	-0,23	0,15
	R^2 (%)	10,20	9,58	83,60
	Efeito residual	0,95	0,95	0,41

[#]NMP: número de meses em produção; NTC: número total de cachos emitidos; PTF: produção total de fruto; PTC: peso total do cacho; PFC: peso de frutos por cacho; RFC: rendimento de fruto do cacho; NRC: número da ráquulas do cacho; CRC: comprimento da raque do cacho e PCF: peso de cem frutos.

Tabela 5 Estimativas dos efeitos diretos e indiretos das variáveis secundárias sobre a variável principal, realizadas com os dados de média por planta de progênies de meios-irmãos de açazeiro. Santa Izabel, PA, 2005, 2006 e 2007.

Variáveis secundárias [#]	Vias de associação	Variáveis primárias [#]			Efeito residual	Efeito Total PTF [#]
		NMP	NTC	PFC		
RFC	Efeito direto	0,00	-0,01	0,52	-0,01	0,51
	Efeito indireto via NRC	0,00	0,02	-0,27	-0,01	-0,26
	Efeito indireto via CRC	0,00	0,05	-0,08	0,01	-0,02
	Efeito indireto via PCF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	0,01	0,07	0,17	-0,02	0,22
NRC	Efeito direto	0,00	-0,06	0,66	0,03	0,63
	Efeito indireto via RFC	0,00	0,00	-0,22	0,01	-0,21
	Efeito indireto via CRC	0,00	-0,08	0,12	-0,01	0,03
	Efeito indireto via PCF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Total	-0,01	-0,13	0,57	0,03	0,45
CRC	Efeito direto	0,00	-0,13	0,20	-0,02	0,05
	Efeito indireto via RFC	0,00	0,00	-0,22	0,01	-0,21
	Efeito indireto via NRC	0,00	-0,04	0,40	0,02	0,38
	Efeito indireto via PCF	0,00	-0,05	0,01	0,01	-0,02
	Total	-0,01	-0,21	0,39	0,02	0,19
PCF	Efeito direto	0,00	-0,13	0,03	0,04	-0,06
	Efeito indireto via RFC	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02
	Efeito indireto via NRC	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Efeito indireto via CRC	0,00	-0,05	0,07	-0,01	0,02
	Total	0,00	-0,18	0,12	0,03	-0,02

[#]NMP: número de meses em produção; NTC: número total de cachos emitidos; PTF: produção total de fruto; PTC: peso total do cacho; PFC: peso de frutos por cacho; RFC: rendimento de fruto do cacho; NRC: número da ráquulas do cacho; CRC: comprimento da raque do cacho e PCF: peso de cem frutos.

4 CONCLUSÕES

O número de cachos emitidos, o peso de frutos por cacho e o número

de ráquias do cacho são os caracteres de maior efeito direto sobre a produção de frutos. Assim, estes caracteres devem ser considerados no processo seletivo.

A seleção simultânea para o número total de cachos emitidos, o peso de frutos por cacho e o número de ráquias do cacho pode ser uma boa estratégia seletiva para respostas correlacionadas na produção de frutos.

REFERÊNCIAS

- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. Viçosa, MG: UFV, 2005. 525 p.
- CARVALHO, C. G. P. D. et al. Análise de trilha sob multicolinearidade em pimentão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 4, p. 603-613, abr. 1999.
- CARVALHO, S. P. **Métodos alternativos de estimação de coeficientes de trilha e índices de seleção, sob multicolinearidade**. 1995. 163 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1995.
- CARVALHO, S. P.; CRUZ, C. D. Diagnosis of multicollinearity: assessment of the condition of correlation matrices used in genetic studies. **Brazilian Journal of Genetics**, Ribeirão Preto, v. 19, n. 3, p. 479-484, Sept. 1996.
- CRUZ, C. D. **Programa GENES: biometria**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 382 p.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. v. 2, 585 p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 2004. 479 p.
- FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. London: Longman Malaysia, 1966. 463 p.
- FARIAS NETO, J. T. et al. Estimativas de parâmetros genéticos e ganhos de seleção em progênies de polinização aberta de açaizeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 1051-1056, dez. 2008.
- FEHR, W. R. **Principles of cultivar development**. New York: MacMillan, 1987. 525 p.
- HENDERSON, C. R. Best linear unbiased estimation and prediction under a selection model. **Biometrics**, Arlington, v. 31, n. 2, p. 423-447, June 1975.
- HOOGERHEIDE, E. S. S. et al. Correlações e análise de trilha de caracteres tecnológicos e a produtividade de fibra de algodão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 10, p. 1401-1405, out. 2007.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A. **Introduction to linear regression analysis**. New York: J. Wiley, 1981. 504 p.

OLIVEIRA, E. J. Correlações genéticas e análise de trilha para número de frutos comerciais por planta em mamoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 8, p. 855-862, ago. 2010.

OLIVEIRA, M. S. P. **Caracterização molecular e morfo-agronômica de germoplasma de açaizeiro**. 2005. 171 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

_____. Coeficiente de caminhamento entre caracteres agronômicos e a produção de frutos em açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 6-10, abr. 2000a.

OLIVEIRA, M. S. P. et al. Correlações fenotípicas entre caracteres vegetativos e de produção de frutos em açaizeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 1-5, jan./mar. 2000.

RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2002. 975 p.

_____. **Software SELEGEN-REML/BLUP: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos**. Curitiba: EMBRAPA Florestas, 2007. 359 p.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 182-194, set. 2007.

RODRIGUES, G. B. et al. Análise de trilha de componentes de produção primários e secundários em tomateiro do grupo salada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 2, p. 155-162, fev. 2010.

SANTOS, J.; VENCOSKY, R. Correlação fenotípica e genética entre alguns caracteres agronômicos do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Prática**, Lavras, v. 10, n. 3, p. 265-272, set./dez. 1986.

SIQUEIRA, G. C. L. et al. **Açaí: produtos potenciais da Amazônia**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1998. 50 p.

SPINELLI, V. M. et al. Componentes primários e secundários do rendimento de óleo de pinhão-manso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 8, p. 1752-1758, ago. 2010.

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 20, n. 7, p. 557-585, Jan. 1921.

CAPITULO 2

**EFICIÊNCIA DE ÍNDICES DE SELEÇÃO EM PROGÊNIES DE
MEIOS-IRMÃOS DE AÇAIZEIRO PARA PRODUÇÃO DE FRUTOS**

RESUMO

Em programas de melhoramento de espécies perenes, os ciclos de seleção são em geral demorados. Assim, ganhos genéticos satisfatórios com a seleção em mais de um caráter por ciclo são desejados. Os índices de seleção se constituem em métodos eficientes na seleção de múltiplos caracteres, pois consideram simultaneamente os caracteres alvo de melhoramento e suas estruturas de correlação genética. Pelo exposto, o presente trabalho teve como objetivo verificar a estratégia seletiva mais adequada para o incremento simultâneo de componentes da produção de frutos no açaizeiro. Para isto, foi implantado no município de Santa Izabel do Pará, um experimento com 25 progênies de meios-irmãos, no delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições e parcela de cinco plantas. As estimativas de parâmetros e os índices de seleção foram obtidos na média de progênies para nove caracteres, com a avaliação conjunta dos dados obtidos nos anos de 2005, 2006 e 2007. Foram empregados os índices de Smith e Hazel, Williams e Mulamba e Mock em três estratégias seletivas e atribuídos como peso os coeficientes de variação genéticos, a herdabilidade e a razão do autovetor associado ao caráter original pela raiz quadrada do autovalor da primeira variável canônica, que contém o máximo de informação fornecida pelo conjunto dos caracteres estudados. Verificou-se que existe boa possibilidade de progresso genético na população avaliada para a maioria dos caracteres. O número de meses em produção e o total de cachos emitidos apresentaram correlação genética com a produção total de frutos. Os índices de Mulamba e Mock e o de Williams foram superiores ao índice de Smith-Hazel, quando considerados como peso o coeficiente de variação genético e herdabilidade dos caracteres nos quais a seleção foi aplicada. O uso de variáveis canônicas como ponderação dos índices não foi efetivo na predição de ganhos em todos os caracteres avaliados. O índice-base, ponderado pela herdabilidade dos caracteres, apresentou os melhores ganhos preditos nas principais características, com a seleção aplicada no número total de cachos emitidos, no peso de frutos por cacho e na produção total de frutos.

Palavras-chave: *Euterpe oleracea* (Mart), Seleção multicaracterística, Resposta correlacionada, Estratégia de seleção.

ABSTRACT

In breeding programs for perennial species, the selection cycles are often lengthy. Thus, satisfactory genetic gains with selection in more than one character per cycle are desired. The indexes selections constitute an efficient method in the selection for multiple traits because consider simultaneously the characters aimed improvement and its genetic correlation structures. For the above, the present study aimed to determine the most appropriate strategy to increase simultaneously components of the açai tree fruit production. To this purpose, it was implemented in the municipality of Santa Isabel do Para, an experiment with 25 half-sib progenies in a randomized block design with four replications and five plants per plot. Parameters estimates and index selection were obtained in the progeny mean for nine traits, with the joint assessment of the data obtained during the years 2005, 2006 and 2007. Were applied the index selection of Smith and Hazel, Williams and Mulamba and Mock in three strategies selective and assigned as the weight coefficients of genetic variation, heritability and the ratio of the eigenvector associated with the original character by the square root of eigenvalue of the first canonical variable, which contains the maximum information provided by all the traits studied. It's been seen a great possibility of genetic improvement in the population assessed for most characters. The number of months in production and the total of bunch emitted showed genetic correlation with total fruit production. The index of Mulamba and Mock and Williams were superior to the Smith-Hazel index, when considered as weight the coefficient of genetic variation and heritability of the traits in which selection was applied. The use of canonical variables as weighted index was not effective in predict gains in all traits. The index basic, weighted by the heritability of the characters, had the best predicted gains in the main traits, with the selection applied in the total number of bunch emitted, the weight of fruits per bunch and total fruit production.

Keywords: *Euterpe oleracea* (Mart), Multitrait selection, Correlated response, Selection strategy.

1 INTRODUÇÃO

A seleção recorrente tem sido utilizada com sucesso em programas de melhoramento de plantas, por permitir o aumento progressivo da frequência de alelos favoráveis de uma população (BORÉM; MIRANDA, 2005). A dificuldade neste tipo de seleção está em agrupar alelos favoráveis para vários caracteres de interesse agrônômico em um único ciclo seletivo, especialmente em plantas perenes, como o açaizeiro, em que os primeiros frutos são colhidos cerca de três anos após o plantio (OLIVEIRA; CARVALHO; NASCIMENTO, 2000). Deste modo, os ganhos obtidos em mais de um caráter em cada ciclo devem ser expressivos para compensar a demora na obtenção das progênies.

Os programas de melhoramento genético do açaizeiro visam em especial à produção de frutos. Mas, a emissão regular de cachos ao longo dos anos, ou seja, menor entressafra, também, é algo de igual importância (OLIVEIRA; FARIAS NETO, 2004). Também é de interesse obter frutos de menor tamanho, pois são mais valorizados em pontos de venda, em decorrência dos comerciantes acreditarem que rendem mais polpa. Portanto, a seleção simultânea desses caracteres é importante, e para isso se faz necessário investigar qual metodologia fornece maiores ganhos.

Existem diferentes estratégias de seleção quando se deseja realizar a seleção simultânea de um conjunto de caracteres de interesse. O método de seleção em tandem permite obter ganhos em mais de um caráter, mas em diferentes ciclos de seleção, ou seja, um caráter de cada vez. Os níveis independentes de eliminação consideram todos os caracteres simultaneamente, mas não consideram os efeitos de correlação entre os caracteres. Com isso, os resultados podem ser insatisfatórios. Os índices de seleção consideram simultaneamente os caracteres e as estruturas de correlação existente entre os mesmos (BERNARDO, 2002). Diante disto, os índices figuram como melhor estratégia de seleção.

Segundo Cruz e Carneiro (2006) muitos índices de seleção estão

disponíveis na literatura. Portanto, o melhorista deve verificar quais apresentam melhores ganhos, em grandeza e sentido, para os caracteres selecionados. Vale ressaltar que os índices podem ser utilizados para incrementar os ganhos obtidos em um caráter desejado, pois, ao se considerar os caracteres que o influenciam positivamente, pratica-se o mais efetivo uso da correlação entre caracteres (FALCONER; MACKAY, 1996). Assim, pode ser que os índices que traduzam a importância relativa dos caracteres apresentem maiores ganhos. Nesse sentido, o uso de variáveis canônicas na construção de índices de seleção parece interessante, pois, resulta em combinações lineares que explicam o máximo de informação contida no conjunto de variáveis selecionadas (KUBRUSLY, 2001). Não há na literatura trabalhos com o uso de índices de seleção no açaizeiro.

Pelo exposto, o presente trabalho teve o objetivo de verificar a estratégia seletiva mais adequada para o incremento simultâneo de componentes da produção de frutos em progênies de meios-irmãos de açaizeiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Nos anos de 2005, 2006 e 2007 foram avaliados caracteres relativos à produção de frutos e de cacho de 25 progênies de meios-irmãos de açaizeiro, selecionadas como promissoras para produção de frutos na coleção de germoplasma da Embrapa Amazônia Oriental. Estas progênies foram instaladas em área de produtor rural do município de Santa Isabel do Pará, pertencente à mesorregião Metropolitana de Belém, em fevereiro de 2001. O clima é predominantemente equatorial quente e úmido, do tipo Af₁, segundo a classificação de Köppen, e representa a maior precipitação pluviométrica do Estado do Pará, acima de 3000 mm anual, temperatura média de 25 °C e altitude de 24 metros. O solo é caracterizado como latossolo amarelo com textura média.

O delineamento experimental foi de blocos casualizados com 25 progênies, quatro repetições e parcelas lineares de cinco plantas. O espaçamento foi de seis metros entre linhas e quatro metros entre plantas. Para um melhor controle ambiental do experimento, foram utilizadas três fileiras de bordadura no início e final do experimento, e duas fileiras de bordadura nas laterais e entre os blocos, constituída pela mistura das 25 progênies.

2.1 Caracteres avaliados

Os seguintes caracteres foram mensurados nos anos de 2005, 2006 e 2007, período no qual a população já estava em plena produção:

- número total de meses em produção (NMP): obtido pela contagem do número total de meses em que houve a coleta de cacho de cada planta ao ano, expresso em unidades;
- número total de cachos emitidos (NTC): obtido pela contagem do número total de cachos coletados em cada planta ao ano, expresso em unidades;
- produção total de frutos (PTF): obtido pela soma dos pesos dos frutos produzidos em cada planta ao ano, expresso em quilogramas;
- peso total do cacho (PTC): obtido pela média dos pesos dos cachos completos (frutos mais raque e ráquilas), coletados de cada planta ao ano, expresso em quilogramas;
- peso de frutos por cacho (PFC): obtido pela média dos pesos dos frutos dos cachos coletados de cada planta ao ano, expresso em quilogramas;
- rendimento de frutos por cacho (RFC): obtido pela razão entre peso de frutos por cacho e peso total do cacho, multiplicado por 100, expresso em porcentagem;
- número de ráquilas do cacho (NRC): obtido pela média da contagem manual das ráquilas de cada cacho por planta ao ano, expresso em unidades;
- comprimento da raque do cacho (CRC): mensurado com fita métrica a

partir da inserção da raque no pecíolo até o final da raque, expresso em centímetros;

- peso de cem frutos (PCF): obtidos pela média do peso de cem frutos, retirados aleatoriamente dos cachos de cada planta ao ano, expresso em gramas.

2.2 Análises estatística e genética dos dados

Os dados obtidos, durante o período de avaliação dos nove caracteres em estudo, foram submetidos à análise de variância conjunta, observado seus pressupostos, de acordo com o seguinte modelo estatístico (RAMALHO; FERREIRA; OLIVEIRA, 2005):

$$y_{ijq} = m + b_j + p_i + s_q + (bp)_{ij} + (ba)_{jq} + (pa)_{iq} + e_{ijq} \quad (1)$$

em que:

y_{ijq} : observação da progênie i no bloco j no ano q ;

m : constante associada às observações;

b_j : efeito aleatório do bloco j ($j = 1, 2, 3$ e 4), em que $b \sim N(0, \sigma_b^2)$. O σ_b^2 é a variância entre blocos;

p_i : efeito aleatório da progênie i ($i = 1, 2, \dots, 25$), em que $p \sim N(0, \sigma_p^2)$. O

σ_p^2 é a variância genética entre progênies.

a_q : efeito fixo do ano q ($q = 1, 2, 3$);

$(bp)_{ij}$: efeito aleatório da interação entre a progênie i e o bloco j , em que $bp \sim N(0, \sigma_{bp}^2)$. O σ_{bp}^2 é a variância da interação entre a progênie i e o bloco j ;

$(ba)_{jq}$: efeito aleatório da interação entre o bloco j e a colheita q , em que em

que $ba \sim N(0, \sigma_{ba}^2)$. O σ_{ba}^2 é a variância da interação entre o bloco j e o ano q ;

$(pa)_{iq}$: efeito aleatório da interação progênie i e o ano q ; em que $pa \sim N(0, \sigma_{pa}^2)$. O σ_{pa}^2 é a variância da interação progênie i e o ano q ;

e_{ijq} : efeito aleatório do erro experimental, em que $e \sim N(0; \sigma_e^2)$. O σ_e^2 é a variância do erro experimental.

A partir das esperanças dos quadrados médios foram estimados os componentes de variância associados aos efeitos aleatórios do modelo, bem como obtidas as estimativas das herdabilidades na média de progênies, coeficientes de variação genéticos, acurácia seletiva (RESENDE; DUARTE, 2007) e correlações genéticas entre caracteres com uso do software genético estatístico GENES (CRUZ, 2006).

2.3 Estratégias seletivas e índices de seleção

Para a construção dos índices de seleção foram consideradas três estratégias seletivas em função dos caracteres envolvidos: i) a primeira constou da seleção simultânea para NMP, NTC, PTF, PFC e NRC; ii) a segunda estratégia seletiva considerou os caracteres PTF, NMP, NTC e NRC; e iii) a terceira utilizada considerou apenas os caracteres PTF, NTC e PFC.

Os índices de seleção empregados neste estudo foram o clássico de Hazel (1943) e Smith (1936), o índice-base de Williams (1962) e o da soma de postos ou ranks de Mulamba e Mock (1978).

O índice clássico (HAZEL, 1943; SMITH, 1936), que em sua construção considera as covariâncias fenotípicas e genotípicas entre os caracteres, assim como o peso econômico para cada caráter; foi obtido pelo seguinte estimador (BERNARDO, 2002):

$$I_i = \sum_k w_k b_k \bar{y}_{ik}$$

em que:

I_i : índice calculado para cada progênie i ;

w_k : peso econômico atribuído ao caráter k ;

b_k : vetor $1 \times n$ dos coeficientes de ponderação do índice a ser estimado;

\bar{y}_{ik} : matriz de dimensão $n \times p$ de médias fenotípicas dos caracteres.

Os valores de b_k foram estimados por:

$$b_k = P^{-1}Ga,$$

em que:

P^{-1} : inversa da matriz $n \times n$ das covariâncias fenotípicas entre caracteres;

G : matriz $n \times n$ das variâncias e covariâncias genotípicas entre os caracteres e;

a : vetor $n \times 1$ dos pesos econômicos dos caracteres.

O índice-base de Willians é uma alternativa ao índice clássico de Hazel (1943) e Smith (1936). Neste índice, os pesos econômicos são usados como o vetor b do índice clássico, logo o estimador para este índice foi (BERNARDO, 2002):

$$I_i = \sum_k w_k \bar{y}_{ik}$$

O índice de soma de postos ou *ranks* proposto por Mulamba e Mock (1978) consiste em classificar as progênies para cada caráter na ordem favorável ao melhoramento. Obtidas as classificações ou postos, estas são somadas para cada caráter, obtendo-se um valor adicional tomado como índice de seleção. O índice é calculado pela seguinte expressão (CRUZ; REGAZZI, 1994):

$$I_i = \sum_k w_k r_{ik}$$

em que:

r_{ik} : posto da progênie i para o caráter k .

Os pesos econômicos para os três índices foram o coeficiente de variação genético, a herdabilidade e a razão do autovetor associado ao caráter original pela raiz quadrada do autovalor da primeira variável canônica, que contém o máximo de informação fornecida pelo conjunto dos caracteres estudados. O último peso foi proposto por Kubrusly (2001). A análise de variáveis canônicas foi realizada conforme descrito em Cruz e Regazzi (1994).

Os índices e os pesos econômicos foram obtidos com uso do software genético estatístico GENES (CRUZ, 2006).

2.4 Respostas diretas e indiretas à seleção

Para cada caráter foi estimada a resposta direta à seleção com a seguinte equação:

$$GS_x = ds_x h_x^2$$

Em que: GS_x é o ganho com a seleção aplicada ao caráter x , ds é o diferencial de seleção, obtido pela diferença entre a média das progênies selecionadas e a média da população para o caráter x e h_x^2 é a estimativa de herdabilidade na média de progênies do caráter x .

As respostas indiretas, ou seja, a resposta do caráter x quando a seleção é praticada sobre uma variável y e, também, para os índices, foram obtidos pela equação:

$$GS_{y(x)} = h_y^2 ds_{y(x)}$$

Na qual $GS_{y(x)}$ é o ganho esperado no caráter y com a seleção da variável x e $ds_{y(x)}$ é o diferencial de seleção indireto, em que a média dos selecionados é obtida em relação às famílias que apresentaram superioridade para o caráter x ou índice I .

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A precisão experimental dos caracteres foi avaliada pela acurácia. Este é um parâmetro adequado para a experimentação em melhoramento genético, pois na sua estimação é considerado o F de Snedecor que reúne em uma única estatística o coeficiente de variação experimental, o número de repetições e o coeficiente de variação genotípico. Outra vantagem do uso deste parâmetro é que ele não depende da magnitude da média e, assim, a expressão fenotípica como indicador da variação genotípica é mais segura (RESENDE; DUARTE, 2007). Entre os caracteres em estudo, apenas PTF apresentou baixa precisão experimental. Os demais caracteres foram de moderada (RFC), alta (NMP, NTC, PTC e PFC) a muito alta (NRC, CRC e PCF) precisão experimental (Tabelas 1 e 2).

Pelas análises de variância conjunta dos anos (Tabelas 1 e 2), verifica-se pelo teste F que apenas o caráter produção total de frutos (PTF) não apresentou diferença significativa entre as progênies. Isto indica pouca variabilidade fenotípica entre as progênies estudadas, o que dificulta o progresso genético com a seleção para este caráter. Este resultado influenciou na estimativa de herdabilidade do mesmo. Apesar de se encontrar entre os limites superior e inferior, pode-se considerar esta estimativa nula, visto que o limite inferior foi negativo e alto. Logo, são esperados poucos ganhos com a seleção direta para este caráter. Embora o caráter RFC também tenha apresentado limite inferior negativo, este apresentou diferença significativa, o que indica que a herdabilidade do

caráter provavelmente não foi nula. As estimativas de herdabilidade foram de média magnitude para os caracteres NMP, NTC, PTC e PFC e de alta para NRC, CRC e PCF, com todos os caracteres entre os limites superior e inferior, em que o limite inferior foi positivo para estes caracteres (Tabelas 1 e 2). Deste modo, o fenótipo pode ser um indicador do valor reprodutivo, o que possibilita progresso genético com a seleção direta e, também, favorece a seleção indireta para PTF.

As estimativas de herdabilidade podem variar com a variabilidade genética da população em estudo e com o controle ambiental do experimento. Quanto à população em estudo, Ferreira et al. (2007) verificaram baixa similaridade genética entre 24 dos 25 genitores das progênes em estudo. Portanto, pode se inferir que a baixa estimativa de herdabilidade foi em decorrência do baixo controle experimental. Farias Neto et al. (2008) obtiveram estimativas de herdabilidade de 54,82% na média de progênes para PTF em experimento conduzido sob irrigação, o que possibilitou um melhor controle experimental. No presente estudo não houve irrigação, e no município de Santa Izabel verificou-se totais de precipitação de 1724,1 mm no de 2006 e de 1955,4 mm em 2007, com números de ocorrências de precipitação de 112 e 111 dias, respectivamente (AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA, 2010). Estes totais anuais são inferiores ao menor registro em um período de trinta anos (1973-2002) avaliados por Souza et al. (2006), que foi verificado no ano de 1981, no qual houve total anual de 1970,4 mm e número de ocorrência de precipitação de 204 dias. Este fato pode ter afetado o controle ambiental do experimento.

O efeito de anos foi significativo ($P < 0,05$) para a maioria dos caracteres, com exceção de PTC e PFC (Tabelas 1 e 2). Isto indica que houve a influência de fatores climáticos diferentes para cada ano de avaliação, o que deve ter influenciado na expressão desses caracteres. No caso do açazeiro, o período mais chuvoso do ano é muito influente na sua floração, no qual ocorre maior emissão de inflorescência. Enquanto a maior produção de frutos é verificada no período de menor pluviosidade, no qual

parte dos cachos emitidos no período chuvoso encontra-se maduro (OLIVEIRA; FARIAS NETO; PENA, 2007).

Tabela 1 Resumo das análises de variância conjunta dos anos de 2005, 2006 e 2007 e estimativas de parâmetros genéticos de progênies de meios-irmãos de açaizeiro para os caracteres número de meses em produção (NMP), número total de cachos emitidos (NTC), produção total de frutos (PTF), peso total do cacho (PTC) e peso de frutos por cacho (PFC). Santa Izabel, PA.

Fonte de variação	Quadrado Médio				
	NMP	NTC	PTF	PTC	PFC
Bloco (B)	4,3025	6,0283	17,2513	0,7164	0,3640
Progênie (P)	1,62909**	7,4318**	17,9748 ^{ns}	1,0331**	0,5627**
B x P	52,6672	238,1628	1017,597	25,9082	18,3693
Anos (A)	56,1541**	225,3885**	563,8549*	7,4986 ^{ns}	1,8767 ^{ns}
B x A	28,5532	106,2282	629,854	5,0743	3,8057
P x A	0,6777 ^{ns}	2,1226 ^{ns}	11,3788*	0,4995**	0,3045**
Erro	70,1061	226,4172	1035,747	30,6462	18,4479
Média	2,29	4,38	8,80	2,50	1,77
h^2 (%)	55,10	55,49	21,37	65,17	54,66
LI h^2 (%)	7,64	8,44	-61,74	28,35	6,73
LS h^2 (%)	75,61	75,82	57,28	81,08	75,37
CV_g	11,9543	13,3779	6,4293	9,4798	9,0225
\hat{r}_{gg}	0,74	0,75	0,46	0,81	0,74

h^2 : herdabilidade no sentido restrito no nível de progênies; CV_g : coeficiente de variação genético; \hat{r}_{gg} : acurácia seletiva.

Para a fonte de variação interação progênies x anos, os caracteres NMP, NTC e RFC foram não significativos (Tabelas 1 e 2), assim, para estes caracteres, as progênies tiveram comportamento semelhante nos três anos. Esse resultado facilita o processo seletivo. Contudo, houve interação progênies x ano nos demais caracteres, ou seja, o comportamento das

progênies não foi coincidente nos três anos. Segundo Cruz e Carneiro (2006), as diferentes expressões para cada ambiente, ano ou safra de avaliação são decorrentes de causas ambientais que influenciam na expressão dos genes que controlam o caráter. Para Fehr (1987) a interação genótipo x ano ou genótipo x safra ocorre principalmente, por variações do tipo imprevisível, como quantidade e distribuição de chuvas, variações na temperatura, dentre outras.

Tabela 2 Resumo das análises de variância conjunta dos anos de 2005, 2006 e 2007 e estimativas de parâmetros genéticos de progênies de meios-irmãos de açaizeiro para os caracteres rendimento de frutos do cacho (RFC), número de ráquias do cacho (NRC), comprimento da raque do cacho (CRC) e peso de cem frutos (PCF). Santa Izabel, PA.

Fonte de variação	Quadrado Médio			
	RFC	NRC	CRC	PCF
Bloco (B)	52,36706	458,3297	80,11449	567,3337
Progênie (P)	58,12985*	457,1506**	107,4629**	2291,519**
B x P	2352,136	4436,756	1481,674	20369,69
Ano (A)	1705,791**	2125,638**	1724,315**	5274,273**
B x A	467,0785	239,355	76,52284	523,2443
P x A	22,13565 ^{ns}	43,39574*	16,3682*	166,3215*
Erro	2677,656	3856,136	1563,188	16417,06
Média	68,68	89,48	40,61	148,77
h^2 (%)	43,80	86,52	80,85	87,65
LI h^2 (%)	-15,60	72,27	60,61	74,60
LS h^2 (%)	69,47	92,68	89,60	93,29
CV_g	2,1209	6,4162	5,6511	8,6963
\hat{r}_{gg}	0,66	0,93	0,90	0,94

h^2 : herdabilidade no sentido restrito no nível de progênies; CV_g : coeficiente de variação genético; \hat{r}_{gg} : acurácia seletiva.

As estimativas de correlações entre os nove caracteres avaliados estão presentes na tabela 3. Quanto à precisão das estimativas de correlações genéticas, Holland (2006) considera que a estimativa de correlação apresenta boa precisão experimental quando é cerca de 1,96 vezes maior que seu erro padrão. No presente estudo, das 36 estimativas, apenas dez apresentaram boa precisão experimental.

Quando o erro padrão é pelo menos 50% inferior à estimativa de correlação genética (estatística $t \cong 2$), considera-se a correlação significativamente não nula ($P < 0,05$) (STEEL; TORRIE; DICKEY, 1997). Para os caracteres avaliados, as seguintes correlações foram significativas: NMP e NTC, NMP e PTF, NTC e PTF, PTC e PFC, NRC e PTC, NRC e PFC, NRC e RFC, CRC e PTC, CRC e RFC; e entre CRC e NRC.

Pelas correlações, há possibilidade de progresso genético na produção de frutos pela seleção indireta do número de meses em produção e o total de cachos emitidos, mesmo com as moderadas estimativas de correlação com PTF e de herdabilidade desses caracteres (Tabela 3). Para Bernardo (2002), quando o caráter objetivo de melhoramento apresenta estimativa de herdabilidade inferior a 10%, a seleção indireta é efetiva mesmo com estimativas razoáveis de correlação entre o caráter principal e o caráter secundário e de herdabilidade do caráter secundário, ao qual foi aplicada a seleção. Além disto, segundo Falconer e Mackay (1996), a resposta correlacionada é vantajosa, quando o produto da correlação entre dois caracteres e a herdabilidade do caráter ao qual foi aplicada a seleção for maior que a herdabilidade do caráter no qual se deseja obter ganhos. Verificou-se que esta condição aconteceu para as correlações entre PTF e os caracteres NRC, NMP, NTC e PCF, deste modo, são esperados ganhos satisfatórios em PTF pela seleção de qualquer um destes caracteres.

Tabela 3 Estimativas de correlações genéticas e respectivos erros padrão entre nove caracteres relativos à produção e ao cacho em progênies de meios-irmãos de açazeiro, obtidas pela análise conjunta dos anos de 2005, 2006 e 2007 na média de parcela. Santa Izabel, PA, 2005, 2006 e 2007.

Caracteres	NMP	NTC	PTF	PTC	PFC	RFC	NRC	CRC	PCF
NMP	1	0,93 (0,06)	0,69 (0,31)	-0,58 (0,37)	-0,45 (0,41)	0,05 (0,36)	-0,29 (0,27)	-0,30 (0,30)	0,08 (0,07)
NTC		1	0,58 (0,27)	-0,61 (0,33)	-0,57 (0,36)	-0,01 (0,32)	-0,25 (0,25)	-0,41 (0,24)	-0,13 (0,25)
PTF			1	0,19 (0,48)	0,34 (0,36)	-0,07 (0,46)	0,46 (0,30)	-0,18 (0,41)	-0,29 (0,37)
PTC				1	0,93 (0,05)	-0,49 (0,43)	0,98 (0,11)	0,58 (0,21)	0,02 (0,30)
PFC					1	-0,13 (0,45)	0,82 (0,17)	0,41 (0,27)	0,01 (0,07)
RFC						1	-0,60 (0,22)	-0,71 (0,22)	-0,07 (0,27)
NRC							1	0,57 (0,16)	-0,06 (0,22)
CRC								1	0,35 (0,20)
PCF									1

#NMP: número de meses em produção; NTC: número total de cachos emitidos; PTF: produção total de frutos; PTC: peso total do cacho; PFC: peso de frutos por cacho; RFC: rendimento de frutos do cacho; NRC: número de ráquias do cacho; CRC: comprimento da raque do cacho e PCF: peso de cem frutos. () erro padrão da estimativa de correlação.

A correlação genética pode ser explicada por efeitos pleiotrópicos, ou seja, um gene influencia na expressão de dois ou mais caracteres e, neste caso, a correlação não se dissipa com os ciclos de seleção. Outra explicação é quando os genes são ligados. Nesta última, as correlações podem ser desfeitas com os ciclos seletivos em virtude da permuta gênica que ocorre na meiose celular (BERNARDO, 2002). Em açaizeiro, não há na literatura trabalhos científicos suficientes para comparar as estimativas de correlações genéticas entre esses caracteres. Portanto, nenhuma inferência sobre as causas das correlações genéticas entre esses caracteres pode ser feita.

Na tabela 4 são apresentados os ganhos diretos para cada caráter e indiretos pelas respostas correlacionadas. Verificou-se que a seleção direta para a produção de frutos não permite a estimação de ganhos neste caráter. Farias Neto et al. (2008) estimaram ganhos de 45,33% na produção de frutos de progênies de polinização livre de açaizeiro com a seleção dos 20 melhores indivíduos e quando selecionaram os 50 indivíduos mais produtivos o ganho esperado com a seleção foi de 28,09%. O resultado do presente estudo reforça a necessidade de seleção indireta para PTF pelo uso de índices de seleção.

As melhores respostas correlacionadas na PTF foram obtidas quando a seleção foi aplicada em PTC e PFC (Tabela 4). Contudo, verificaram-se ganhos negativos para NMP e NTC e positivos para PCF. A seleção aplicada em NRC apresentou ganhos positivos em PTF e expressivos em PTC e PFC. Também, esta estratégia seletiva permitiu previsão de redução em PCF, mas também houve redução em NMP. Cruz e Carneiro (2006) afirmam que a seleção aplicada em apenas uma característica proporciona populações superiores para o caráter selecionado, mas com desempenho indesejado, ou pouco expressivo, para outros caracteres de interesse. Os resultados obtidos no presente estudo corroboram com estes autores.

Tabela 4 Estimativa de ganhos percentuais com a seleção direta (GS) e magnitudes das respostas correlacionadas com a seleção para os caracteres: produção total de frutos (PTF), em quilogramas; número de meses em produção (NMP), número total de cachos emitidos (NTC), peso total do cacho (PTC), em quilogramas; peso de frutos por cacho (PFC), em quilogramas; rendimento de frutos do cacho (RFC), em porcentagem; comprimento da raque do cacho (CRC), em centímetros; número de ráquias do cacho (NRC) e peso de cem frutos (PCF), em gramas. Santa Izabel, PA, 2005, 2006 e 2007.

Caráter	Magnitude da resposta correlacionada com a seleção (%)								
	PTF	NMP	NTC	PTC	PFC	RFC	NRC	CRC	PCF
PTF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NMP	1,19	12,01	10,23	-5,01	-3,70	0,39	-2,72	-1,89	4,63
NTC	1,26	10,01	12,94	-5,73	-5,04	-0,12	-2,77	-0,91	-4,21
PTC	3,05	-0,35	-0,27	11,35	10,26	0,36	6,75	3,94	2,42
PFC	3,05	-0,35	-0,27	11,35	10,26	0,36	6,75	3,94	2,42
RFC	0,77	1,47	0,53	0,31	2,21	0,00	-3,14	-2,20	-0,11
NRC	2,64	-1,47	0,84	8,86	7,22	-0,06	8,48	3,81	-2,18
CRC	-0,65	-4,80	-7,32	5,05	2,97	-0,56	3,39	6,51	-0,33
PCF	1,41	5,35	9,40	-4,61	-3,47	0,44	-3,11	-4,52	-9,12

Com o intuito de obter ganhos indiretos para PTF, foram selecionados simultaneamente os caracteres de maior correlação com este caráter. Pela seleção simultânea de NMP, NTC, PTF, e NRC o índice de Hazel (1943) e Smith (1936) permitiu pequenos ganhos na PTF quando ponderado pelo CV_g (Tabela 5). Contudo, verificou-se uma tendência de redução em RFC. Este resultado não é vantajoso, uma vez que, a redução é interessante somente para PCF, pois, deseja-se reduzir o peso dos frutos. Este índice estimou ganhos positivos e elevados para PTC e PFC, quando os pesos aplicados foram o CV_g e

a h^2 . Contudo, ganhos preditos para NMP e NTC foram baixos. Vale ressaltar que NMP é tão importante quanto PTF, pois, a entressafra, que se estende de janeiro a julho, é o principal obstáculo para a exportação de frutos do açaizeiro (SIQUEIRA et al., 1998).

O índice de Williams (1962) foi superior ao de Hazel (1943) e Smith (1936) quando se utilizou a herdabilidade dos caracteres como peso. O índice de Mulamba e Mock (1978), por sua vez, foi superior ao de Williams (1962) quando os pesos foram CV_g e a h^2 . Amaral Junior et al. (2010) verificaram melhores resultados com o uso do índice de seleção de Mulamba e Mock (1978) em relação ao de Hazel (1943) e Smith (1936) para populações de milho pipoca originadas de quatro ciclos de seleção recorrente. Freitas Júnior et al. (2009) também verificaram superioridade do índice de Mulamba e Mock (1978) em relação ao de Hazel (1943), Smith (1936) e Williams (1962), além de outros índices na seleção simultânea de doze caracteres avaliados em milho pipoca. Para Bernardo (2002), o índice de Hazel (1943) e Smith (1936) pode ser menos efetivo em consequência dos grandes erros amostrais atribuídos às covariâncias genéticas e fenotípicas, necessárias para estimação do vetor dos pesos.

Ganhos satisfatórios foram obtidos nas principais características pelo índice de Mulamba e Mock (1978) com o CV_g como peso (Tabela 5). Os ganhos acumulados por este índice para NMP, NTC, PTF e PFC foi de 24,99%. Além disso, este índice permitiu reduzir as perdas no RFC e estimar ganhos em sentido favorável para PCF. Para o índices de Williams (1962) a ponderação pelo CV_g estimou ganhos negativos para maioria dos caracteres. Cruz (1990), em estudo de milho comum, considerou o CV_g como o peso mais apropriado para estimar ganhos com índices de seleção. Arnhold e Silva (2009) também verificaram que o índice de Mulamba e Mock (1978) apresentou melhor distribuição dos ganhos em sentido favorável para a capacidade de expansão, rendimento de grãos e altura de plantas em milho pipoca.

Tabela 5 Estimativas de ganhos percentuais baseando-se nos índices de Hazel (1943), Mulamba e Mock (1978), Smith (1936) e Williams (1962), aplicados na seleção simultânea dos caracteres número de meses em produção (NMP), número total de cachos (NTC), produção total de frutos (PTF), em quilogramas e peso de frutos por cacho (PFC), em gramas, e número de ráquias do cacho (NRC), avaliados em progênes de meios-irmãos de açazeiro, Santa Izabel, PA, 2005, 2006 e 2007.

Caráter	Índices de seleção								
	Hazel (1943) e Smith (1936)			Williams (1962)			Mulamba e Mock (1978)		
	CV _g [*]	h ^{2*}	VCN [*]	CV _g [*]	h ^{2*}	VCN [*]	CV _g [*]	h ^{2*}	VCN [*]
NMP	1,90	-1,47	0,10	-3,38	3,18	-2,01	7,04	5,43	-0,35
NTC	3,62	0,84	-2,39	-2,27	3,50	-3,80	7,8	5,82	-0,27
PTF	3,18	2,64	-1,48	-1,24	3,84	0,37	3,99	4,01	3,05
PTC	10,19	8,86	-3,96	-5,53	9,49	3,92	7,28	9,44	11,35
PFC	8,10	7,22	-2,22	-3,53	7,97	5,20	6,16	7,77	10,26
RFC	-0,27	-0,06	1,10	0,86	-0,08	1,39	-0,13	-0,30	0,36
NRC	8,06	8,48	-5,71	-6,16	8,27	-1,86	6,51	7,15	6,75
CRC	4,76	3,81	-1,32	-1,78	4,59	1,73	3,23	4,97	3,94
PCF	-0,66	-2,18	4,11	-1,89	1,14	3,80	-0,88	1,83	2,42

*CV_g: coeficiente de variação genético; h²: herdabilidade na média de progênes; VCN: razão do autovetor associado a variável original pela raiz quadrada do autovalor da primeira variável canônica, que contém o máximo de informação fornecida pelo conjunto dos caracteres estudados. Para esta ponderação os pesos atribuídos aos caracteres foram: NMP: 0,25, PTC: -0,18, PTF: 0,01, PTC: -1,99, PFC: 1,45, RFC: 0,01, NRC:-0,06, CRC: 0,14 e PCF: 0,05; PTC: peso total do cacho; RFC: rendimento de frutos do cacho; CRC: comprimento da raque do cacho; PCF: peso de cem frutos.

Quando se utilizou como peso a razão do autovalor da variável canônica, que contém maior porcentagem de variação, pela raiz quadrada do autovetor correspondente à variável selecionada, o índice de Hazel (1943) e Smith (1936) apresentou ganhos negativos para sete dos nove caracteres, o índice de Williams

para três e de Mulamba e Mock (1978) para dois caracteres (Tabela 5). Além disso, os ganhos estimados foram menores que os obtidos pelos outros pesos, ou seja, a ponderação com as variáveis canônicas mostrou-se inferior às demais ponderações em todos os índices avaliados para este critério de seleção. Portanto, verificou-se que o uso de variáveis canônicas não foi favorável em obter ganhos para os índices utilizados neste estudo. Kubrusly (2001) verificou eficiência na utilização de peso que traduz a importância dos caracteres avaliados. O autor utilizou como peso as componentes principais. Vale ressaltar que, para este estudo, a primeira variável canônica explicou apenas 40,32% da variação observada, quando o desejado é que as duas primeiras variáveis expliquem pelo menos 80%. Neste estudo, esta porcentagem só foi verificada na quarta variável canônica, o que pode ter reduzido a eficiência deste parâmetro como ponderação dos índices de seleção.

No segundo critério de seleção, foi retirado o PFC, pois, apresentou menor correlação com PTF e herdabilidade. Na tabela 6 são verificados os ganhos percentuais para este critério de seleção. Verifica-se que os ganhos preditos pelo índice de Mulamba e Mock (1978), com a h^2 como peso, foram os mesmos ganhos preditos ao se considerar o PFC no índice quando ponderado pelo CV_g . Contudo, a seleção por este índice é mais segura, pois, são considerados caracteres de maior herdabilidade e correlação com PTF.

A seleção indireta pode não apresentar ganhos esperado na prática, em razão de algumas causas: i) uma alta correlação entre dois caracteres ocorrer por influência de um terceiro, ou conjunto de caracteres, ii) pela correlação buscar a identificação de uma eventual associação na variação das características em estudo e, neste caso, as correlações podem ser subestimadas se uma das variáveis apresentar pouca variação genética em decorrência do baixo controle ambiental, ou da população em estudo (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004; MONTARDO et al., 2003). Diante do exposto, utilizou-se o critério de seleção

com base nos caracteres com maiores efeitos diretos na produção de frutos, os quais são NTC e PFC. Oliveira (2000) verificou que estes caracteres explicam 92% da variação na produção de frutos e seriam os principais determinantes nas variações de PTF.

Tabela 6 Estimativas de ganhos percentuais com base em diferentes índices de seleção pela seleção simultânea dos caracteres número de meses em produção (NMP), número total de cachos (NTC), produção total de frutos (PTF) e número de ráquias do cacho (NRC), avaliados em progênies de meios-irmãos de açazeiro, Santa Izabel, PA, 2005, 2006 e 2007.

Caráter	Índices de seleção								
	Hazel (1943) e Smith (1936)			Williams (1962)			Mulamba e Mock (1978)		
	CV _g [*]	h ^{2*}	VCN [*]	CV _g [*]	h ^{2*}	VCN [*]	CV _g [*]	h ^{2*}	VCN [*]
NMP	-1,47	-1,47	6,82	3,18	3,18	6,82	10,17	7,04	-2,01
NTC	0,84	0,84	6,25	3,50	3,50	6,25	11,17	7,80	-1,65
PTF	2,64	2,64	-0,08	3,84	3,84	-0,08	1,84	3,99	-1,55
PTC	8,86	8,86	-9,07	9,49	9,49	-9,07	-0,59	7,28	-1,50
PFC	7,22	7,22	-6,40	7,97	7,97	-6,40	-1,29	6,16	-2,09
RFC	-0,06	-0,06	0,98	-0,08	-0,08	0,98	-0,83	-0,13	-0,75
NRC	8,48	8,48	-7,32	8,27	8,27	-7,32	1,69	6,51	0,17
CRC	3,81	3,81	-3,37	4,59	4,59	-3,37	1,98	3,23	-0,96
PCF	-2,18	-2,18	-2,09	1,14	1,14	-2,09	-0,23	-0,88	-0,66

*CV_g: coeficiente de variação genético; h²: herdabilidade na média de progênies; VCN: razão do autovetor associado a variável original pela raiz quadrada do autovalor da primeira variável canônica, que contém o máximo de informação fornecida pelo conjunto dos caracteres estudados. Os pesos atribuídos aos caracteres foram: NMP: 0,25, PTC: -0,18, PTF: 0,01, PFC: -1,99, PFC: 1,45, RFC: 0,01, NRC: -0,06, CRC: 0,14 e PCF: 0,05; PTC: peso total do cacho; PFC: peso de frutos por cacho; RFC: rendimento de frutos do cacho; CRC: comprimento da raque do cacho; PCF: peso de cem frutos.

Verifica-se na tabela 7 que o índice de Williams (1962) com a seleção aplicada em NTC, PTF e PFC apresentou os mesmos ganhos superiores preditos

para as duas últimas estratégias pelo índice de Mulamba e Mock (1978). Por este resultado, verifica-se que o mesmo ganho acumulado (24,99%) pode ser obtido com o uso de menor número de caracteres com o índice de seleção apropriado e com os caracteres de maiores efeitos sobre o caráter principal. Segundo Pedrozo et al. (2009), um índice pode ser mais adequado que outro em uma situação, e o contrário pode ocorrer em outra. Entretanto, deve ser salientado que a eficiência de seleção pelos índices empregados foi inerente à população em estudo, pois foram considerados como pesos parâmetros genéticos que variam de acordo com a população, com o controle experimental, entre outros.

Tabela 7 Estimativas de ganhos percentuais com base em diferentes índices de seleção pela seleção simultânea dos caracteres número total de cachos (NTC), produção total de frutos (PTF) e peso de frutos por cacho (PFC), avaliados em progênies de meios-irmãos de açazeiro, Santa Izabel, PA, 2005, 2006 e 2007.

Caráter	Índices de seleção								
	Hazel (1943) e Smith (1936)			Williams (1962)			Mulamba e Mock (1978)		
	CV _g [*]	h ² [*]	VCN [*]	CV _g [*]	h ² [*]	VCN [*]	CV _g [*]	h ² [*]	VCN [*]
NMP	9,69	9,69	-6,23	7,60	7,04	-4,88	5,43	5,43	1,18
NTC	12,06	12,06	-9,02	10,28	7,80	-6,75	5,82	5,82	1,20
PTF	1,00	1,00	0,77	3,69	3,99	1,77	4,01	4,01	3,15
PTC	-2,17	-2,17	9,24	1,79	7,28	10,72	9,44	9,44	8,71
PFC	-2,74	-2,74	8,42	1,45	6,16	9,46	7,77	7,77	7,72
RFC	-0,63	-0,63	0,51	-0,22	-0,13	0,44	-0,3	-0,30	-0,05
NRC	-0,31	-0,31	3,92	3,35	6,51	6,59	7,15	7,15	6,26
CRC	0,98	0,98	5,08	0,59	3,23	4,15	4,97	4,97	3,01
PCF	-1,05	-1,05	3,15	-3,98	-0,88	0,25	1,83	1,83	4,29

*CV_g: coeficiente de variação genético; h²: herdabilidade no sentido restrito na média de progênies; VCN: razão do autovetor associado a variável original pela raiz quadrada do autovalor da primeira variável canônica, que contém o máximo de informação fornecida pelo conjunto dos caracteres estudados. NMP: número de meses em produção; PTC: peso total do cacho; RFC: rendimento de frutos do cacho; NRC: número de ráquias do cacho; CRC: comprimento da raque do cacho; PCF: peso de cem frutos.

4 CONCLUSÕES

O coeficiente de variação genético e da herdabilidade utilizados como peso permitem estimar ganhos genéticos satisfatórios na maioria dos caracteres avaliados.

Os índices de Mulamba e Mock (1978) e Williams (1962) são os mais eficientes na estimativa de ganhos simultâneos em caracteres relativos à produção e ao cacho de açazeiro.

A melhor estratégia seletiva é a seleção baseando-se nos caracteres número de meses em produção, produção total de frutos e número total de cachos emitidos, selecionados pelo índice-base de Williams (1962) ponderado pela herdabilidade dos caracteres em seleção.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Região hidrográfica amazônica**. Brasília, 2010. Disponível em:
<<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/amazonica.aspx>>. Acesso em:
28 dez. 2010.
- AMARAL JUNIOR, A. T. et al. Improvement of a popcorn population using selection indexes from a fourth cycle of recurrent selection program carried out in two different environments. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 9, n. 1, p. 340-347, Mar. 2010.
- ARNHOLD, E.; SILVA, R. G. Eficiências relativas de índices de seleção considerando espécies vegetais e pesos econômicos iguais entre caracteres. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 3, p. 76-82, maio/jun. 2009.
- BERNARDO, R. **Breeding for quantitative traits in plants**. Woodbury: Stemma, 2002. 368 p.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. Viçosa, MG: UFV, 2005. 525 p.
- CRUZ, C. D. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas**. 1990. 188 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiros", Piracicaba, 1990.
- _____. **Programa GENES: biometria**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 382 p.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. v. 2, 585 p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 1994. 390 p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 2004. 479 p.
- FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. London: Longman Malaysia, 1966. 463 p.

FARIAS NETO, J. T. et al. Estimativas de parâmetros genéticos e ganhos de seleção em progênies de polinização aberta de açaizeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 1051-1056, dez. 2008.

FEHR, W. R. **Principles of cultivar development**. New York: MacMillan, 1987. 487 p.

FERREIRA, S. F. et al. Similaridade genética entre progênies de açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) por marcadores RAPD. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 4., 2007, São Lourenço. **Anais...** São Lourenço: SBMP, 2007. 1 CD-ROM.

FREITAS JÚNIOR, S. P. et al. Predição de ganhos genéticos na população de milho pipoca UNB-2U sob seleção recorrente utilizando-se diferentes índices de seleção. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 4, p. 803-814, out./dez. 2009.

HAZEL, L. N. The genetics basics for constructing selections indexes. **Genetics**, Ames, v. 28, n. 6, p. 476-490, Nov. 1943.

HOLLAND, J. B. Estimating genotypic correlations and their standard errors using multivariate restricted maximum likelihood estimation with SAS Proc MIXED. **Crop Science**, Madison, v. 46, n. 2, p. 642-654, Mar./Apr. 2006.

KUBRUSLY, L. S. Um procedimento para calcular índices a partir de uma base de dados multivariados. **Pesquisa Operacional**, São Carlos, v. 21, n. 1, p. 107-117, jun. 2001.

MONTARDO, D. P. et al. Análise de trilha para rendimento de rementes em trevo vermelho (*Trifolium pratense* L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5, p. 1076-1082, set./out. 2003.

MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco Maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egypt Journal of Genetic and Cytology**, Alexandria, v. 7, p. 40-51, 1978.

OLIVEIRA, M. S. P. Coeficiente de caminhamento entre caracteres agronômicos e a produção de frutos em açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 6-10, abr. 2000.

OLIVEIRA, M. S. P.; CARVALHO, J. E. U.; NASCIMENTO, W. M. O. **Açaí** (*Euterpe oleracea* Mart.). Jaboticabal: FUNEP, 2000. 52 p.

OLIVEIRA, M. S. P.; FARIAS NETO, J. T. **Cultivar BRS-Pará**: açazeiro para produção de frutos em terra firme. Belém: EMBRAPA Amazônia Oriental, 2004. 3 p.

OLIVEIRA, M. S. P.; FARIAS NETO, J. T.; PENA, R. S. **Açaí**: técnicas de cultivo e processamento. Fortaleza: Instituto Frutal, 2007. 104 p.

PEDROZO, C. A. et al. Eficiência de índices de seleção utilizando a metodologia REML/BLUP no melhoramento da cana-de-açúcar. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 10, n. 1, p. 31-36, fev. 2009.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. Lavras: UFLA, 2005. 300 p.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 3, p. 182-194, set. 2007.

SIQUEIRA, G. C. L. et al. **Açaí**: produtos potenciais da Amazônia. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1998. 50 p.

SMITH, H. F. A discriminant function for plant selection. **Annual Eugenics**, Oxford, v. 7, p. 240-250, 1936.

SOUZA, C. S. et al. Climatologia da precipitação do município de Santa Izabel do Pará, PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SBMET, 2006. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/14-d621b559b71346a7931fa38723ad0453.pdf>>. Acesso em: 28 dez. 2010.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H.; DICKEY, D. A. **Principles and procedures of statistics**: a biometrical approach. New York: McGraw Hill, 1997. 672 p.

WILLIAMS, J. S. The evaluation of a selection index. **Biometrics**, Arlington, v. 18, n. 3, p. 375-393, 1962.