





Capítulo 5

Melhoramento Genético de *Coffea canephora*

Romário Gava Ferrão, Maria Amélia Gava Ferrão,
Aymbiré Francisco Almeida da Fonseca
e Braz Eduardo Vieira Pacova





1. INTRODUÇÃO

O gênero *Coffea* é constituído por cerca de 80 espécies, mas praticamente todo o café produzido, comercializado e consumido no mundo se processa apenas com espécies *Coffea arabica* e *Coffea canephora*. Estas duas espécies são muito diferentes nos aspectos de sistemas de reprodução e propagação, número de cromossomos, base genética, origem, ciclo e porte da planta, tipo e tamanho das cerejas e dos grãos, exigência nutricional, tolerância à seca, pragas, doenças e nematóides, constituição bioquímica dos grãos, entre outros.

A espécie *Coffea arabica* representa em torno de 63% do café produzido no mundo e origina cafés mais apreciados para o consumo nas formas tradicionais de preparo, porém apresenta elevada suscetibilidade a pragas, doenças e nematóides. Já a espécie *Coffea canephora* tem sido especialmente utilizada na produção de cafés solúveis e também muito consumida na forma de misturas com o café arábica (*blends*), chegando a participar com pouco mais de 50% na composição, sem interferir negativamente na qualidade da bebida, desde que o café robusta seja de boa qualidade. A *Coffea canephora* tem sido muito utilizada em cafés espessos, contribuindo com “corpo” e densidade. Também tem sido usada como valiosa fonte de alelos favoráveis para resistência a pragas, doenças e nematóides em programas de melhoramento genético interespecífico.

O melhoramento genético de plantas tem sido entendido como uma ciência que visa manipular as plantas na direção dos interesses social, econômico e ambiental da humanidade. Para que se tenha sucesso nessa área de pesquisa, especialmente no contexto da genética quantitativa, é necessário possuir informações disponíveis sobre a espécie a ser melhorada, a variabilidade genética dos germoplasma, os métodos de melhoramento a serem utilizados e domínio de metodologias de análises genético-biométricas; além disso, verificar se há estruturas físicas, financeira e de pessoal adequadas para realizar as atividades peculiares do programa.

O melhoramento genético tem participado efetivamente na geração de conhecimentos fundamentais a respeito de diferentes características da planta do gênero *Coffea*. Portanto, tem proporcionado aumento na capacidade produtiva das plantas; redução no porte e melhoria da arquitetura das plantas, visando possibilitar o adensamento e facilitar as operações de colheita; incorporação de alelos que conferem resistência às pragas e doenças; desenvolvimento de materiais genéticos mais adaptados e estáveis aos diferentes ambientes de cultivo; e melhoramento das características agrônômicas, como a uniformidade de maturação e o tamanho dos frutos, com o intuito de se obter cultivares com melhor qualidade de bebida, tipo e composição química dos grãos, para atender às exigências do consumidor e garantir a sustentabilidade da atividade, bem como promover maior retorno socioeconômico para a cafeicultura e para a sociedade como um todo.

Maiores ganhos genéticos por meio do melhoramento de *Coffea canephora* serão possíveis através de ações técnicas, políticas e estruturais que priorizem as pesquisas com a espécie, principalmente com germoplasmas que representem grande importância social e econômica no mundo, como de Conilon. Por meio de trabalhos envolvendo equipes multidisciplinares de diferentes instituições e a utilização dos conhecimentos das diferentes áreas, como a citologia, melhoramento clássico associado à biotecnologia, fitopatologia, estatística, biometria e outras áreas correlatas, obter-se-á resultados mais rápidos, com menores custos e mais aplicáveis.

Neste capítulo, será abordado o melhoramento genético de *Coffea canephora*, envolvendo aspectos da citologia, sistemas de reprodução, herança de caracteres, objetivos dos programas e estratégias de melhoramento, métodos de análises biométricas e os principais avanços científicos alcançados pelo melhoramento da espécie no mundo.

2. CITOLOGIA E SISTEMAS REPRODUTIVOS

Estudos sobre o número de cromossomos em café foram realizados desde 1930, com a publicação dos trabalhos de Sybenga (1960). O número básico, $x = 11$ cromossomos, é típico para a maioria das espécies do gênero *Coffea*. Neste gênero, todas as espécies, incluindo a *Coffea canephora*, são diplóides com $2n = 2x = 22$ cromossomos. A exceção é a *Coffea arabica* tetraplóide, que possui $2n = 4x = 44$ cromossomos.

Tem sido possível, por intermédio do tratamento artificial de sementes com colchicina na germinação, duplicar o número de cromossomos de *Coffea canephora* e transformá-la em autotetraplóides (MENDES, 1939). Tal procedimento é de fundamental importância na realização do melhoramento interespecífico, envolvendo o cruzamento entre *Coffea arabica* x *Coffea canephora*.

Também todas as espécies do gênero *Coffea*, com exceção de *Coffea arabica*, são alógamas, portanto sexualmente se reproduzem por fecundações cruzadas, pela auto-incompatibilidade genética nelas existente. A auto-incompatibilidade em espécies diplóides foi analisada por Conagin e Mendes (1961), Monaco e Carvalho (1972), Berthaud (1980) e Lashermes et al. (1996). De acordo com Conagin e Mendes (1961), foi Von Faber, em 1910, o primeiro a descrever a auto-incompatibilidade em *Coffea canephora*.

2.1 AUTO-INCOMPATIBILIDADE GENÉTICA

A auto-incompatibilidade é a incapacidade de a planta hermafrodita produzir zigotos por autopolinização. Em consequência, amplia-se o fluxo gênico e a frequência de heterozigose no total do *loci* dentro das populações de plantas da espécie. Em termos de melhoramento genético, a importância da auto-incompatibilidade reside na possibilidade de síntese de híbridos, sem a necessidade de polinizações manuais, e no aumento da variabilidade genética nas populações de plantas, a qual poderá ser utilizada em benefícios do melhoramento dessas populações.

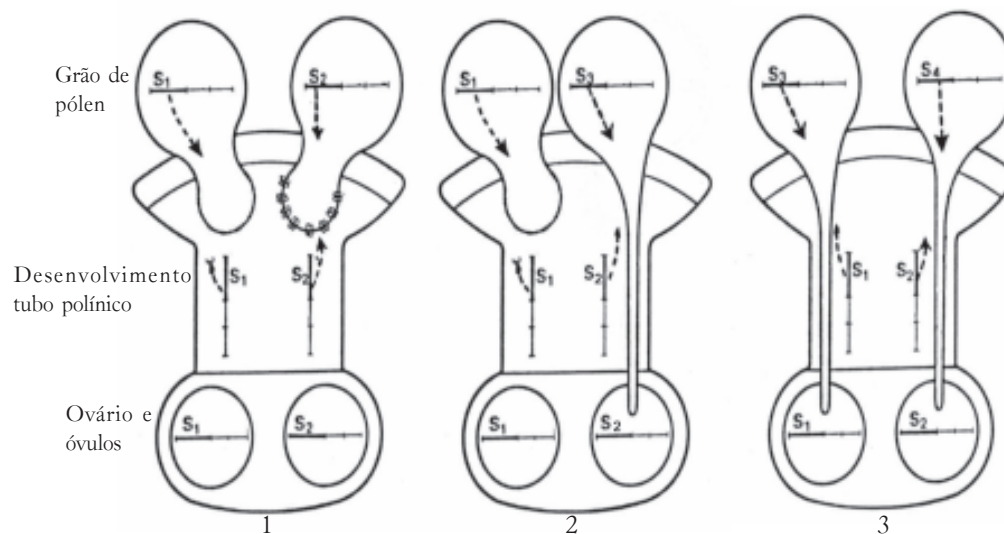
Lewis (1949) fez uma revisão de literatura sobre a auto-incompatibilidade gametofítica em plantas. O autor mostra que é um fenômeno relacionado à inibição, ao mau desenvolvimento, ao retardamento ou à ausência do crescimento do tubo polínico no comprimento total do estilete, que possui o mesmo alelo do pólen. Isso deve ser em consequência de algumas reações entre substâncias do tubo polínico e substâncias complementares do estilo da flor.

Devreux et al. (1959) sugeriram que nos clones de *Coffea canephora*, a auto-incompatibilidade seria do tipo gametofítica e descrevem que, após a autopolinização, o crescimento do tubo polínico no estigma de *Coffea canephora* torna-se distorcido, e a sua penetração no estilo para fecundação do óvulo é bloqueada. Quando o alelo S do pólen é diferente dos dois alelos S do estilo, o tubo polínico cresce normalmente, penetrando no ovário e realizando a fertilização.

Conagin e Mendes (1961) apresentaram numerosos dados demonstrando que a auto-incompatibilidade de *Coffea canephora* está ligada a um loco gênico “S” com, pelo menos, três alelos interagindo em um sistema gametofítico. Berthaud (1980), por meio de estudos em laboratório com a espécie, confirmou que a auto-incompatibilidade é do tipo gametofítica e monogênica, com uma série de alelos, S_1 , S_2 e S_3 .

Ramalho, Santos e Pinto (1990) expõem que, embora não se conheça completamente a base molecular da incompatibilidade, estudos recentes constataram a formação de uma glicoproteína no estigma da flor, e foi verificado que cada alelo da série produz uma glicoproteína específica. Esta só é produzida nos tecidos da flor feminina onde o pólen e o tubo polínico entram em contato, sendo quase a totalidade no estigma. Uma pequena quantidade foi constatada no ovário, e acredita-se que seja para assegurar a incompatibilidade. Expõem também que, em espécie com incompatibilidade gametofítica, verifica-se no estilete a inibição do crescimento do tubo polínico em virtude de um engrossamento da sua extremidade, que pode rebentar-se em consequência da deposição de calose.

Para ilustrar, um grão de pólen portador de um determinado alelo S_1 , por exemplo, é incapaz de se desenvolver no estigma e fertilizar qualquer oosfera portadora do mesmo alelo S_1 , como no caso de plantas $S_1 S_2$ e $S_1 S_3$. Lashermes et al. (1996), em análises moleculares em uma população de 23 duplos-haplóides, verificaram que o loco S está ligado a um marcador RFLP, o g 1069D, no grupo de ligação 9, e que nenhum recombinante foi observado no referido marcador e o loco S. De acordo com o grau de parentesco entre os genitores nos cruzamentos, podem-se originar a total incompatibilidade, a parcial incompatibilidade e a completa polinização com conseqüente fecundação (BERTHAUD, 1980). A Figura 1 mostra os diferentes tipos de crescimento de tubo polínico.



- 1- Incompatibilidade genética total (0% de fecundação)
- 2- Incompatibilidade genética parcial (50% de fecundação)
- 3- Compatibilidade genética (100% de fecundação)

Figura 1. Ilustração da auto-incompatibilidade do tipo gametofítica.

As principais conseqüências da auto-incompatibilidade em *Coffea canephora* são a ausência de autofecundações, a não fecundação entre flores da mesma planta e deficiência nos cruzamentos quando se utilizam materiais genéticos aparentados e a formação de populações altamente heterozigotas e, portanto, heterogêneas. Assim, no caso de criação de variedades clonais em que há necessidade de definir que clones devem ser agrupados, são de fundamental importância estudos prévios de compatibilidade genética das plantas componentes.

2.2 BIOLOGIA FLORAL

Na literatura, são encontrados diferentes trabalhos relacionados à biologia floral do café. Segundo Sybenga (1960), Coste (1968) e Rena e Maestri (1984), a floração nas plantas de café compreende uma seqüência de eventos fisiológicos e morfológicos, iniciando-se pela fase da indução floral até a antese, prosseguindo pelas fases intermediárias – diferenciação ou iniciação dos primórdios florais –, e finalizando com a fase do desenvolvimento da flor. A transição entre fases é geralmente gradual e imperceptível, sobretudo nas fases iniciais, até a formação dos primórdios. A espécie *Coffea canephora* é tropical de floração gregária, ou seja, todas as plantas individuais, numa certa extensão geográfica, florescem simultaneamente.

As mudanças fisiológicas e morfológicas do florescimento nas plantas são promovidas por reguladores hormonais interno, preferencialmente o ácido abscísico, bem como fatores externos, como a temperatura e a umidade do solo. Os ramos laterais das plantas possuem, nas axilas das folhas, gemas reprodutivas ou vegetativas, conforme o caso, ordenadas numa série linear, ditas gemas seriadas. Essas gemas podem originar gemas florais ou ramos laterais secundários. Cada gema seriada reprodutiva originará um eixo curto, que desenvolverá uma flor. Esses eixos possuem vários nós em que se inserem brácteas opostas, em cujas axilas se formam séries descendentes de gemas florais, que, por sua vez, podem dar origem a novos eixos curtos, semelhantes ao eixo mãe, terminados igualmente por uma flor e com vários nós, e assim por diante (RENA; MAESTRI, 1984).

As inflorescências (Figura 2), em geral, se desenvolvem nas axilas das folhas dos ramos laterais ou plagiotrópicos, que crescem no corrente ano, e raramente nas dos ramos ortotrópicos (CARVALHO et al., 1991). Possuem vários botões florais que se encontram comprimidos uns contra os outros, formando um conjunto compacto, denominado glómérulo.

Essas inflorescências possuem pedúnculos curtos, providos de dois pares de brácteas foliares, com três a cinco flores terminais. Cada flor possui pedúnculo curto e ovário ínfero, provido de duas lojas, cada qual, no geral, com um óvulo; estilo longo com dois lobos estigmáticos; cinco sépalas reduzidas; corola curta; estames com filete curto ligado ao terço inferior da antera (Figura 3).

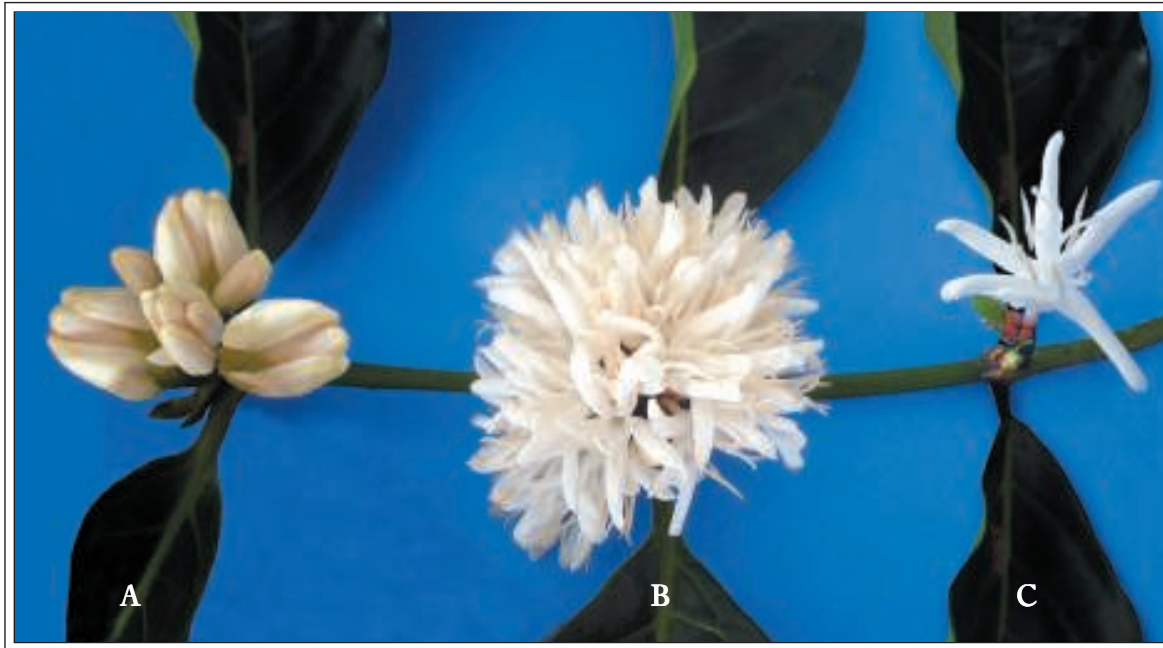


Figura 2. Botão floral (A), inflorescência (B) e flor de café conilon (C).

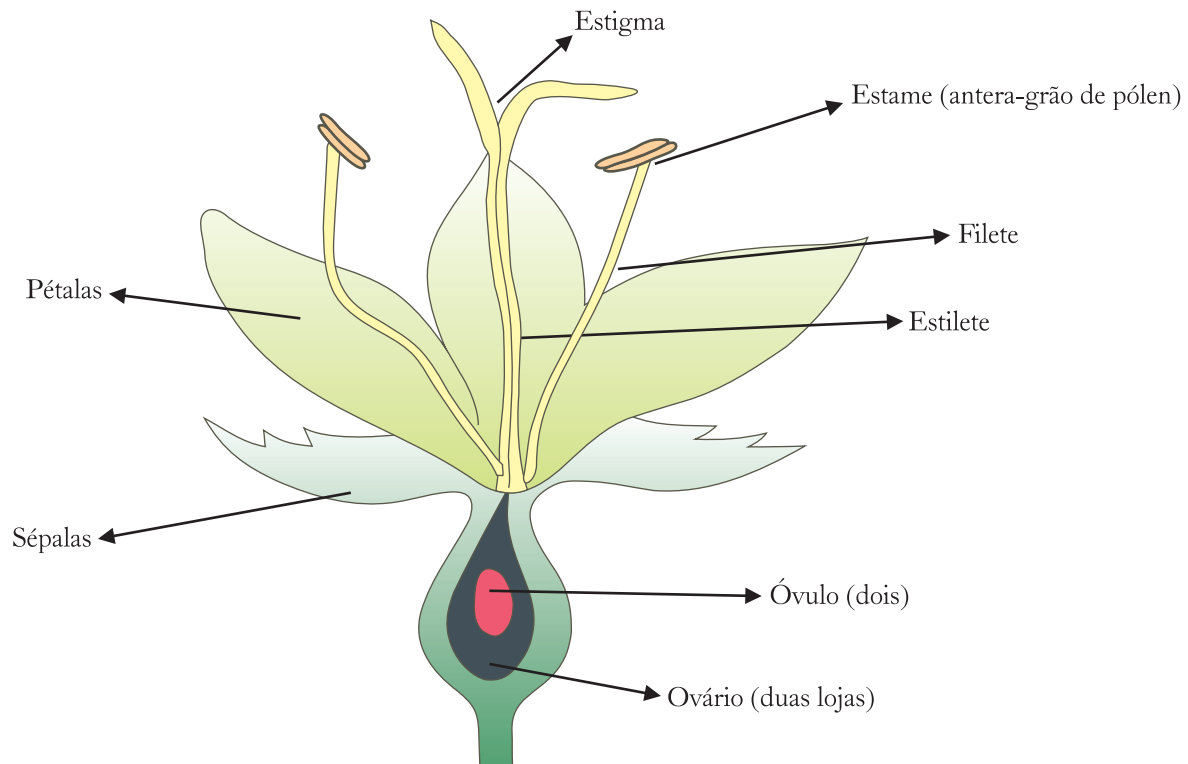


Figura 3. Desenho esquemático de uma flor de *Coffea canephora* – corte transversal.

2.3 POLINIZAÇÃO

O cafeeiro floresce de três a quatro vezes por ano, com maior emissão de flores no período de agosto a outubro. O tempo de dormência até a abertura da flor varia de 4 a 10 dias, dependendo da temperatura, umidade do ar e do solo. As florações ocorrem após uma chuva e/ou irrigação e aumento de temperatura. A abertura da flor ocorre nas primeiras horas da manhã e a deiscência das anteras, algumas horas depois, dependendo da temperatura e insolação. Assim, na indução do florescimento, os botões florais dobram de comprimento e volume num período de 2 a 3 dias, levando à abertura das flores que, geralmente, se verifica em um dia.

A polinização é proporcionada principalmente pelo vento, sendo realizada também por insetos, em menor intensidade. A espécie *Coffea canephora* produz mais pólen que a *Coffea arabica*, e a distância percorrida pelo grão de pólen pode ser superior a 100 metros, dependendo das condições topográficas e da intensidade de ventos no período da liberação do pólen.

Em condições normais, o pólen permanece viável na planta por um dia. O estigma permanece receptível por 3 a 4 dias. O tubo polínico alcança o ovário em 24 horas quando a polinização é viável, isto é, quando não há incompatibilidade genética.

O desenvolvimento dos frutos varia de acordo com a cultivar e as condições edafoclimáticas, levando de 220 a 330 dias. A semente é constituída por um endosperma, dentro do qual se encontra o embrião com dois pequenos cotilédones. As sementes são envolvidas por uma película bronzeada (remanescente dos tegumentos e do perisperma) e protegidas pelo endocarpo do fruto (pergaminho). Geralmente, a germinação da semente ocorre em torno de 45 dias após ser plantada no viveiro (CARVALHO et al., 1991).

3. ALGUNS ASPECTOS RELACIONADOS À HERANÇA DE CARACTERES

Os principais objetivos do melhoramento de *Coffea canephora* é a obtenção de variedades que reúnam alta produtividade e elevada qualidade de grãos, adaptabilidade a vários ambientes, estabilidade de produção, tolerância à seca, pragas e doenças, uniformidade de maturação e outras características agronômicas de interesse.

Para definir estratégias de melhoramento e seleção de plantas, é requerido um aprimorado conhecimento sobre a espécie em questão, a sua estrutura genética e a herdabilidade das características a serem melhoradas. São mais escassas as informações referentes à espécie *Coffea canephora* se comparadas às de *Coffea arabica*, dificultando, assim, o planejamento e a execução de ações dos programas de melhoramento.

Portanto, a seguir são comentados alguns fatores que têm implicações no melhoramento das características de produção e qualidade dos grãos de *Coffea canephora*.



3.1 RENDIMENTO

A produtividade de cafés robustas em países africanos e asiáticos envolvendo variedades clonais com densidade de plantio entre 1.200 e 2.000 plantas/ha tem sido de 2.000 a 3.500 kg/ha, enquanto no Brasil, particularmente no Estado do Espírito Santo (BRAGANÇA et al., 1993; 2001; FERRÃO et al., 2000a; FONSECA et al., 2004a), as variedades clonais desenvolvidas pelo Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), quando cultivadas seguindo as recomendações técnicas apropriadas (FERRÃO et al., 2004a), com densidade de 2.000 a 4.000 plantas/ha, têm apresentado produtividades de 4.800 a 7.200 kg/ha.

Sabe-se que rendimento de grãos é uma característica quantitativa poligênica, muito afetada pela ação do meio ambiente. Assim, uma das formas conhecidas de obter ganhos genéticos mais rápido para a característica é, indiretamente, envolver informações sobre outras características associadas à produtividade e que possuam alta correlação genotípica com o rendimento de grãos.

3.2 HERDABILIDADE DAS CARACTERÍSTICAS COMPONENTES DO RENDIMENTO

A produção da planta depende de características vegetativas (arquitetura e crescimento) e reprodutivas (florescimento e frutificação). Os componentes vegetativos que interferem na produção do cafeeiro robusta são altura da planta, diâmetro da copa, número e comprimento dos ramos ortotrópicos e plagiotrópicos, número e tamanho dos internódios dos ramos plagiotrópicos e capacidade de brotação das plantas, proporcionando, assim, a possibilidade efetiva de substituição dos ramos produtivos pela poda após três a quatro colheitas. Os componentes reprodutivos que interferem na produção da planta são número de rosetas, número de flores por roseta, percentagem de flores fecundadas, número de frutos por nó, percentagem de chochamento de grãos, percentagem de grãos “moca”, tamanho, tipo e densidade dos grãos, entre outros.

A herdabilidade é definida como sendo a proporção da variância fenotípica que é devida às variações de natureza genética. Para fins de melhoramento de plantas, a herdabilidade tem dupla finalidade. Uma é a de prever a confiabilidade do valor fenotípico em expressar o valor genotípico, sendo, portanto, uma medida de acurácia do processo seletivo. Outra é a de quantificar a proporção do diferencial de seleção que se espera ganhar quando a seleção for praticada sobre a unidade de seleção definida (CRUZ; CARNEIRO, 2003). Desta forma, pode-se adotar, na predição de ganhos por seleção, um conceito diferente da definição clássica, em que a herdabilidade é expressa como a razão entre a variância genotípica total e a variância fenotípica total (herdabilidade no sentido amplo), ou relação entre a variância genética aditiva e a variância fenotípica (herdabilidade no sentido restrito).

Devido à alogamia, existe grande variabilidade genética na variedade de *Coffea canephora*, para as características vegetativas e reprodutivas, o que é muito importante em programas de melhoramento.

Em um dialelo, realizado no Camarões, África, por Boularmont et al. (s.d) citado por Charrier e Berthaud (1988), envolvendo oito materiais genéticos de robusta, para cinco características morfológicas e de crescimento, três de produção, suscetibilidade a pragas e doenças e teor de cafeína, foram verificadas diferenças significativas a 1% de probabilidade para Capacidade Geral de Combinação (CGC), para

todos os caracteres estudados, e não significativas para Capacidade Específica de Combinação (CEC) para a maioria das características. Os resultados mostram a predominância dos efeitos aditivos em relação aos não aditivos, evidenciando-se, assim, que, por meio de métodos simples de melhoramento e seleção, como a Seleção Recorrente, há a possibilidade de se ter sucesso no melhoramento para produção, altura da planta, diâmetro da copa, comprimento de ramos, número de nós, tipo e tamanho de grãos, teor de cafeína e suscetibilidade às doenças. Verificou-se também altas correlações positivas e significativas, com coeficientes de 0,63 a 0,90 entre os pais e suas progênies para diferentes características estudadas, mostrando, mais uma vez, a possibilidade de exploração da variabilidade genética em benefício do melhoramento genético de características de plantas de interesse na espécie.

3.3 ESTABILIDADE DE PRODUÇÃO

A estabilidade de produção está relacionada à previsibilidade do comportamento de um genótipo. O ideal em plantas perenes, como o café, é que os genótipos recomendados para plantio tenham baixa variabilidade de produção ao longo dos anos e bom comportamento perante às divergentes condições de locais e cultivo, principalmente nos ambientes desfavoráveis, e respondam positivamente quando se efetiva a melhoria tecnológica de ambiente. O comportamento dos genótipos em resposta às diferenças entre ambientes, principalmente envolvendo tempo e local, pode ser verificado por meio da análise da interação genótipo x ambiente (G x A). A produção anual do cafeeiro está altamente correlacionada, entre outras, com condições climáticas, adubação, manejo e desempenho que o material genético vem apresentando em safras anteriores. Assim, a seleção para rendimento deve ser baseada em, pelo menos, quatro safras, levando, assim, no mínimo, seis a sete anos para completar um ciclo de trabalho. A estabilidade de produção é melhor avaliada quando os materiais genéticos são testados por, no mínimo, quatro colheitas e em vários ambientes, sendo estimada por metodologias como a de Eberhart e Russel (1966), Cruz, Torres e Vencovsky (1989a) e Lin e Binns (1988). A necessidade de avaliação no período citado está em razão do coeficiente de repetibilidade para o rendimento, que em *Coffea canephora*, variedade Conilon, está em torno de 0,60, com um coeficiente de determinação (R^2) de 85% (FONSECA, 1999; FERRÃO et al., 2003c; FERRÃO, 2004; FONSECA et al., 2004b), demonstrando ser um valor médio para a repetibilidade dessa característica na resposta do comportamento dos materiais genéticos da primeira para a segunda e da primeira para a quinta colheita. Em estudos na Costa do Marfim avaliando a interação G x A com clones de café robusta, com e sem irrigação, verificou-se interação G x A significativa (CHARRIER; BERTHAUD, 1988). Ferrão et al. (2003a), estudando oito variedades clonais de café Conilon no Estado do Espírito Santo em quatro locais, por quatro colheitas, com e sem irrigações, utilizando as metodologias de Eberhart e Russell (1966) e Cruz, Torres e Venkovsk (1989), verificaram a ocorrência de interação G x A e boa estabilidade de produção de todas as variedades, em razão de o desvio da regressão ser estatisticamente igual à zero e os coeficientes de determinações (R^2), pouco superiores a 80%.

A tolerância à seca do cafeeiro é uma característica muito importante para a adaptação de uma cultivar às condições de ambiente. Déficit hídrico, em certas fases da cultura e/ou em certos anos, é comum especialmente em áreas marginais de cultivo de *Coffea canephora*. Uma cultivar tolerante à seca deve ter a capacidade de sobrevivência e também produzir em condições de déficit hídrico. A

quantidade e a qualidade dos grãos do cafeeiro são mais ou menos afetadas conforme a época e o tempo de exposição ao estresse. A fase do florescimento até o enchimento de grãos é um período de grande demanda de água pela cultura. A falta de água nessas fases compromete a produtividade e a qualidade do produto final. As quatro floradas que geralmente ocorrem durante o ano podem ser um dos mecanismos de compensação parcial aos efeitos da seca. A seca, além de reduzir a quantidade de frutos, diminui significativamente o seu tamanho, afetando também o desenvolvimento da planta e obviamente a produtividade no ano e no ano seguinte, comprometendo a produtividade e contribuindo para acentuar o efeito da bienalidade de produção. No Espírito Santo, mais de 70% das áreas cultivadas apresentam déficit hídrico entre 50 e 550 mm/ano (FEITOSA, 1986). Nessas áreas, encontra-se a maioria das lavouras de café Conilon do Estado. Ferrão et al. (1999a) desenvolveram a variedade clonal de Conilon Emcapa 8141 – Robustão Capixaba, tolerante à seca, que em condições de seca apresenta produtividade média de 3.180 kg/ha, superior à produtividade média do Estado de 1.447 kg/ha (CONAB, 2006).

3.4 QUALIDADE DO PRODUTO

A melhoria na qualidade do café está condicionada a fatores genéticos, químicos e tecnológicos. Assim, a qualidade pode ser afetada pela espécie, cultivar, modo de preparação, uniformidade de maturação dos frutos, origem geográfica e altitude, tipo de colheita, forma de secagem e processamento, ataque de pragas nos frutos, entre outros (CARVALHO, 1985; CLARKE, 1985; CLIFFORD, 1985; VINCENT et al., 1977).

São poucas as pesquisas sobre a interferência do genótipo na qualidade do café. Em *Coffea arabica*, em razão da baixa variabilidade genotípica existente, tem-se verificado pequena variação na qualidade nas diferentes cultivares, desde que as lavouras sejam bem conduzidas e o café seja adequadamente colhido e preparado (CARVALHO, 1985). Entretanto, trabalhos realizados no Kênia, África, mostram variabilidade na qualidade, quando se efetuou a comparação entre materiais genéticos melhorados com os semi-silvestres de *Coffea arabica* (VAN DER VOSSSEN, 1985). Em *Coffea canephora*, Leroy et al. (1992) verificaram significativas diferenças entre clones para a qualidade de bebida.

São apresentados a seguir os fatores associados à qualidade do café no que se refere a tamanho e composição química dos grãos na bebida.

3.4.1 Características dos grãos

Os grãos de café robusta são geralmente de dimensões menores que os de arábica, com peso de 12 a 15 g por 100 sementes, podendo alcançar 18 a 22 g (COSTE 1968). Apresentam formato que varia do arredondado ao canoa, são amarronzados e possuem menor brilho que os grãos de café arábica, embora haja grande variabilidade genética para as citadas características. O tamanho da semente é uma característica herdável, com grande variação entre genótipos. Existem exemplos de sucesso de atuação de seleções envolvendo populações de grãos grandes, sendo possível selecionar genótipos com 18 g por 100 sementes, sendo 80% retida em peneira 16 e com diâmetro de 6,3 mm (CREMER,

1957). No Espírito Santo, no Banco Ativo de Germoplasma de Conilon, os materiais genéticos avaliados apresentam grãos de diferentes formas, tamanhos e cores, tendo clones com grãos grandes, com peneira média 17 (FERRÃO, R.; FONSECA; FERRÃO, M. 2000b).

O tamanho da semente é influenciado pelo ambiente, sugerindo, portanto, que seja uma característica quantitativa, ou seja, controlada por vários genes. Alguns clones de cafés produzidos de coleções, em Madagascar e Costa do Marfim, tiveram diminuição de peso de 3 a 5 g por 100 sementes quando colhidos em anos de muita seca. No Estado do Espírito Santo, tem-se verificado, em anos de seca, além de redução do tamanho dos grãos, um aumento significativo da percentagem de chochamento, ocasionando, assim, baixo rendimento no beneficiamento, tornando necessário até seis quilos de café cereja para se produzir um quilo de café beneficiado, apesar de se verificar uma grande variabilidade de resposta à seca entre os materiais genéticos utilizados. Charrier e Berthaud (1988) mostraram que, quando é realizado o cruzamento entre genitores de grãos grandes, verifica-se entre os descendentes grande heterogeneidade no tamanho de grãos e correlação de 0,36 a 0,76 entre os pais e progênes, e alta CGC para a citada característica, o que permite concluir sobre a possibilidade de se obter ganhos genéticos relativamente fáceis e rápidos com aplicação de métodos de melhoramento simples para tamanho de grãos.

A percentagem de grão “moca” é uma característica genética amplamente afetada pelo ambiente. O grão “moca” é causado pelo abortamento de um dos dois óvulos do ovário. A percentagem de grãos “moca” está entre 10 e 30%, podendo exceder a 50% em certos casos. A característica varia entre materiais genéticos e há alta correlação entre pais e descendentes, dependendo dos pais envolvidos nos cruzamentos.

As variedades desenvolvidas e liberadas para o plantio no Estado do Espírito Santo têm apresentado de 20 a 32% de grãos “moca” (BRAGANÇA et al., 1993; 2001). No Conilon cultivado no Espírito Santo, a média é de cerca de 33%, e na variedade Vitória está em torno de 21% (FONSECA et al., 2004a).

3.4.2 Teor de cafeína

O café robusta, em geral, apresenta alto teor de cafeína. Os teores de cafeína têm grande variação quando estudados em materiais genéticos selvagens e cultivados, com valores de 1,8 a 3,4% (LEROY et al., 1993). As cultivares clonais da Costa do Marfim apresentam em média 2,8%, porém com expectativas de se reduzir para 2,2% pela ação de programas de melhoramento genético (CAPOT, 1977). A literatura mostra que o nível de cafeína é variável, com extremos de 1,0 a 5,5% em progênes originadas de cruzamentos entre pais contrastantes, envolvendo baixo e alto teores. As condições ambientais não afetam muito o teor de cafeína nos grãos. Esses teores podem ser determinados e apresentam herdabilidade intermediária. O coeficiente de correlação entre pais e descendentes é muito alto (0,88), e o valor médio de variância genética de progênes estudadas para a característica é em maior proporção de natureza aditiva. A grande variação entre as progênes permite sucesso em seleção para teores menores que 2% de cafeína (CHARRIER; BERTHAUD, 1988).

3.4.3 Qualidade da bebida

Os cafés da espécie *Coffea canephora* têm sido caracterizados como cafés de bebida neutra, encorpados e com pronunciado amargor. Apresentam características organolépticas e químicas diferentes do café arábica. Tradicionalmente, as instituições de pesquisas investiram pouco em equipamentos e em pessoal treinado para efetuar as avaliações de qualidade do produto final, pela prova da bebida em *Coffea canephora*, e assim poucas informações foram geradas. Nos últimos anos, com as exigências de mercado e dos consumidores por produtos de melhor qualidade, associando-se ao fato da maior participação do café robusta em *blends*, nos torrados e moídos, espresso e solúvel, novo direcionamento está sendo dado aos programas de melhoramento para a análise desta característica sob diferentes aspectos.

A bebida do café é composta por centenas de substâncias, sendo algumas transformadas durante o processamento, levando, assim, à mudança na qualidade da bebida e dificultando as suas avaliações. Tem havido evolução quanto ao entendimento básico da composição química dos cafés verdes e torrados, mas o relacionamento da qualidade organoléptica com os elementos químicos ainda não está bem elucidado. Conhece-se que diferentes grupos de substâncias estão correlacionados e interferem na qualidade, como: ácidos clorogênicos com a amargura; açúcar e aminoácidos com o gosto e sabor; a trigonelina com o aroma; entre outras substâncias que estão sendo pesquisadas. Os estudos têm mostrado que a qualidade do café robusta pode ser melhorada, como também deve ser melhor avaliada a variabilidade genotípica existente em *Coffea canephora* e a herança dos fatores que levam à melhoria da qualidade do produto.

Moschetto et al. (1996) analisaram o efeito do genótipo em relação à qualidade da bebida, trabalhando com diferentes genótipos de *Coffea canephora* e híbridos interespecíficos envolvendo os grupos Congolense x Guineano e observaram diferença significativa entre materiais genéticos em relação às diferentes características organolépticas. Verificaram que os genótipos originados do grupo Guineano foram menos “apreciáveis” que os do Congolense. E o cruzamento envolvendo esses dois grupos originaram descendentes superiores. Observaram, em geral, desconsiderável aroma nos materiais genéticos e os melhores clones apresentaram pouco corpo, baixo amargor, aroma natural e alguns com baixa acidez. No estudo de correlações entre onze características estudadas, em 39,39% dos casos houve correlações positivas entre as características, com variação de 0,05 a 0,74, com os seguintes destaques: amargor e corpo (0,74); pH e amargor (0,53); pH e volume (0,58); intensidade da cor e acidez (0,59); intensidade da cor e do corpo (0,57). Em 60,61% dos casos, as correlações entre caracteres foram negativas, com magnitudes de -0,08 a -0,76, merecendo destaque as de preferência e aroma (-0,76); corpo e acidez (-0,47); amargor e acidez (-0,55) pH e acidez (-0,66) e intensidade de cor e amargor (-0,65).

4. OBJETIVOS E ESTRATÉGIAS DO MELHORAMENTO GENÉTICO

Para atender à maioria das demandas da cultura, os principais objetivos do programas de melhoramento de *Coffea canephora* no Brasil são as seguintes: obter cultivares com alta capacidade produtiva e qualidade dos grãos, além de características agronômicas e botânicas desejáveis para diferentes sistemas de cultivo; avaliar e selecionar cultivares tolerantes às condições adversas de ambientes

(seca, solos com baixa fertilidade e altos teores de Al); selecionar cultivares para plantio sob irrigação; avaliar e selecionar regionalmente clones e cultivares com características agroindustriais superiores; ampliar o número de acessos, manter e caracterizar os clones, variedades e híbridos sintéticos nos bancos ativos de germoplasma; selecionar genótipos com maior teor de sólidos solúveis totais e menor teor de cafeína dos grãos; identificar marcadores de DNA de interesse para seleção assistida por marcadores moleculares; realizar estudos básicos de biologia de reprodução e análises genética, biométrica e citológica; ajustar metodologia para propagação *in vitro* de genótipos de *Coffea canephora* e híbridos interespecíficos.

Mesmo sabendo-se da importância econômica e social que possui o café e também reconhecendo sobre a existência de alelos favoráveis de *Coffea canephora* para uso no melhoramento intra e interespecífico, os resultados de pesquisa até o momento são escassos na literatura, dificultando, assim, o planejamento, a execução e o direcionamento de estratégias para o progresso do melhoramento com a espécie.

Para maior eficiência dos trabalhos de melhoramento, é importante conhecer a espécie e sua biologia floral, forma de reprodução e propagação; o número de cromossomos; o germoplasma existente e sua localização e facilidade de utilização; informações sobre base genética, herança e herdabilidade dos caracteres e correlações entre eles. Ainda deve-se definir bem o(s) local(is) de execução da pesquisa, as estratégias de métodos mais adequados de melhoramento e as condições sob as quais serão realizados os experimentos, sempre considerando os objetivos da pesquisa, a estrutura física, os recursos financeiros e humanos necessários e o tempo disponível para a realização do trabalho.

As plantas perenes se classificam em três grupos distintos com base no sistema reprodutivo: plantas alógamas, autógamas e de propagação vegetativa. Nos dois primeiros casos, há formação de sementes (reprodução sexuada) pela união entre gametas masculinos e femininos, sendo que nas autógamas, devido à autofecundação, as progênes oriundas de uma mesma planta são semelhantes genotipicamente; já nas alógamas, devido à fecundação cruzada, as progênes derivadas das plantas, são geralmente heterozigotas e heterogêneas. Nas plantas propagadas assexuadamente, empregam-se para reprodução os órgãos vegetativos, como tubérculos, rizomas, caules, estacas, ramos, gemas, enfim, outras partes da planta que não sejam a semente. Em *Coffea canephora*, a propagação vegetativa tem sido uma prática amplamente utilizada, sendo a multiplicação do material genético realizada por estacas, que são formadas por partes dos ramos ortotrópicos. As mudas originadas por esse processo recebem a denominação de mudas clonais.

Na condução de programas de melhoramento, é de fundamental importância a definição de métodos que possibilitem maior facilidade de condução, com maiores ganhos genéticos possíveis em prazos mais curtos, mantendo a variabilidade genética da espécie, mas com o aumento da frequência de alelos favoráveis na população.

A grande variabilidade genética, associada à auto-incompatibilidade e a possibilidade de propagação vegetativa na espécie *Coffea canephora*, favorece o estabelecimento de programas de melhoramento para obter ganhos genéticos mais rápidos em relação a muitas outras espécies perenes.

As estratégias que vêm sendo utilizadas nos programas de melhoramento para *Coffea canephora* são a introdução de germoplasma, seleção clonal, hibridação, seleção recorrente, haploidiploidização (CHARRIER; BERTHAUD, 1988; LASHERMES; COUTURON; CHARRIER, 1994;

PAILLARD; LASHERMES; PÉTIARD, 1996; FERRÃO, R.; FONSECA; FERRÃO, M. 1999b; FONSECA et al., 2001).

A seleção clonal e a produção de híbridos intraespecíficos, embora não sejam métodos que visem à transferência de características específicas entre espécies, são estratégias de melhoramento muito utilizadas em *Coffea canephora* (CHARRIER; BERTHAUD, 1988; FERRÃO, R. FONSECA; FERRÃO, M. 1999b; FONSECA, 1999).

As plantas que se propagam assexuadamente normalmente apresentam grande vigor vegetativo por manterem a heterozigosidade. O cruzamento entre clones altamente heterozigotos proporcionará o aparecimento de grande variabilidade genotípica, possibilitando, portanto, o surgimento de descendentes com características vantajosas, que, por seleção e clonagem, poderão ser superiores aos seus genitores.

A propagação vegetativa tem a vantagem de fixar um genótipo a qualquer tempo, sem que haja necessidade de avançar gerações para tal finalidade, como acontece com as espécies autógamas, podendo-se aproveitar imediatamente os indivíduos superiores que ocorrem em qualquer estágio do programa de melhoramento, originando descendentes uniformes, facilitando, assim, todas as fases de manejo da cultura. Contudo, apresenta como desvantagem o estreitamento da base genética da população, que é uma grande preocupação no estabelecimento de estratégias de melhoramento.

Para minimizar essa questão, recomenda-se que as estratégias de melhoramento genético em *Coffea canephora* envolvendo reprodução assexuada e sexuada sejam conduzidas paralelamente, pois enquanto a primeira promove o estreitamento da base genética dos genótipos obtidos, a segunda permite a recombinação genética, recuperando a variabilidade e proporcionando a manutenção de genes na população, que poderão ser importantes em programas de melhoramento a médio e longo prazos. Essas estratégias são utilizadas na Costa do Marfim, África (LEROY; CHARMETANT; YAPO, 1991; LEROY et al., 1993; 1994), e no Estado do Espírito Santo, Brasil (FERRÃO, R.; FONSECA; FERRÃO, M. 1999b; FONSECA et al., 2001).

Esquemas de cruzamentos como *top crosses* e dialelos têm sido empregados visando à estimativa da capacidade combinatória dos parentais, especialmente a capacidade geral de combinação, objetivando obter híbridos sintéticos. Na escolha dos parentais para cruzamentos, quando se tem grande número de genótipos, pode-se utilizar a análise de divergência genética, a fim de ser mais eficaz nessa escolha em termos de complementaridade de alelos exigido e, conseqüentemente, poder expressar melhor a heterose pretendida nos híbridos produzidos.

O desenvolvimento, o aprimoramento e o acesso a técnicas como marcadores moleculares, culturas de anteras, embriões e meristema, produção de di-haplóides, hibridação somática e transformação gênica, bem como a disponibilidade de recursos computacionais adequados às análises multivariadas, abrem novas perspectivas aos programas de melhoramento genético desta e de outras espécies.

Dentro deste item, serão descritas as principais estratégias utilizadas no melhoramento realizado em *Coffea canephora*, com destaque para a introdução de germoplasma, seleção clonal, seleção recorrente, hibridação e manutenção da variabilidade genética.

4.1 INTRODUÇÃO DE GERMOPLASMA

A introdução de germoplasma inclui a introdução de sementes, partes vegetativas, grãos de pólen, culturas *in vitro* e DNA.

A introdução consiste em trazer para as regiões de interesse os materiais genéticos de Banco Ativo de Germoplasma e coleções de programas nacionais ou mesmo internacionais e avaliá-los quanto à adaptação ambiental e aceitação pelos produtores e consumidores. As populações podem também ser introduzidas, avaliadas e, posteriormente, melhoradas, assim como as cultivares que após avaliadas experimentalmente podem ser recomendadas para plantios.

Muitas das espécies cultivadas, principalmente em regiões marginais e/ou onde não possuem um programa de melhoramento, foram recomendadas por intermédio da introdução. Os materiais genéticos introduzidos que apresentarem características de interesse podem ser mantidos em coleções, para serem utilizados em trabalhos futuros.

No caso particular de *Coffea canephora*, a introdução de germoplasma teve um papel extremamente importante, permitindo o estabelecimento de populações com ampla variabilidade genética, nas quais podem ser encontrados materiais genéticos com adaptabilidade às mais diversas condições ambientais de cultivo, constituindo-se em matéria-prima de excelente qualidade aos programas de melhoramento (FONSECA, 1996). Grande parte das lavouras comerciais de *Coffea canephora*, da variedade Conilon, plantadas em diferentes partes do país, como nos Estados de Rondônia, Bahia, Pará, Mato Grosso, entre outros, foram originadas de introduções de materiais genéticos oriundos do Estado do Espírito Santo.

4.2 SELEÇÃO CLONAL

A propagação vegetativa ou assexuada é de grande importância para a fixação do conteúdo genético das plantas e possibilita a formação de clones. Um clone pode ser definido como um conjunto de indivíduos geneticamente derivado de uma só planta e que se propaga por meio vegetativo, tais como estacas, garfos e gemas, entre outros. Plantas de um mesmo clone são, portanto, geneticamente idênticas entre si e à planta que lhes deu origem.

A seleção clonal é o principal método de seleção empregado para as espécies de propagação vegetativa, incluindo a *Coffea canephora*. Ela é praticada de forma sequencial, iniciando-se com a seleção de plantas individuais, com características de interesse, as quais são clonadas e avaliadas em delineamento experimental apropriado. É uma estratégia importante nos programas de melhoramento de Conilon, pois é uma das formas mais rápida para se capitalizar ganhos genéticos. Uma vez identificada a combinação de alelos desejada para as características de interesse, esta poderá ser fixada e multiplicada com o uso da clonagem.

Em vários países, as seleções de clones que possuem os alelos de interesse visando ao desenvolvimento de cultivares superiores têm sido estratégias de melhoramento relevante em *Coffea canephora* (CAPOT, 1966; DUBLIN, 1967; FERWERDA, 1969; BOUHARMONT; AWEMO, 1980; VAN DER VOSSSEN, 1985; BOUHARMONT et al., 1986; BRAGANÇA et al., 1993; 2001; FONSECA, 1996, 1999; FERRÃO et al., 2000a; 2007; FERRÃO, 2004; FONSECA et al., 2004a).

A continuidade do sucesso no programa de melhoramento via seleção clonal depende da magnitude da variabilidade genética disponível. Dentro deste contexto, no programa de melhoramento devem ser planejadas estratégias para que o máximo de ganho genético não ocorra em uma única geração e incluir na clonagem um esquema de seleção recorrente, cujo progresso no incremento das frequências de alelos favoráveis possa ser capitalizado passo a passo.

Algumas questões devem ser consideradas na utilização da seleção clonal como estratégia de melhoramento: 1) tamanho inicial da população base – devido à liberação total da variabilidade genética de uma única vez, a população inicial deve ser grande, para aumentar a probabilidade do genótipo superior estar presente nessa população; 2) população base grande – induz à necessidade de grande área uniforme, para avaliação; 3) longo período juvenil – pode-se minimizar esse problema através da seleção precoce usando informações de estudos de correlações; 4) porte elevado das plantas – além da dificultar as avaliações, há a necessidade de utilização de espaçamentos maiores e, concomitantemente, de grandes áreas; 5) variabilidade genética para diferentes características de seleção – a população deve possuir alta frequência de indivíduos superiores, pois do contrário, não selecionar-se-ão clones superiores aos já cultivados pelos produtores; 6) repetibilidade de comportamento dos clones no decorrer do tempo – a repetibilidade é importante, pois o clone selecionado em uma etapa deve possuir comportamento semelhante na etapa seguinte.

As maneiras mais adequadas para melhorar a eficiência da seleção via clonagem em espécies perenes são as que seguem: 1) **Seleção precoce** – buscar alternativas para diminuir o período juvenil, visando reduzir o tempo para a liberação da cultivar para o plantio. Deve-se, nessa seleção precoce, identificar as características de alta herdabilidade que se manifestam precocemente e possuam elevada correlação genotípica com características quantitativas de interesse morfoagronômicas que se manifestam mais tardiamente. Para características de alta herdabilidade deve-se aplicar uma alta intensidade de seleção na fase juvenil; já para características de média ou baixa herdabilidade, as intensidades de seleção devem ser média e baixa, respectivamente. 2) **Índice de seleção** – deve-se formar um índice de seleção com base na seleção do clone avaliado nas diferentes etapas do melhoramento. A eficiência de utilização desse índice está diretamente correlacionada às características de alta herdabilidade. Mesmo oferecendo pequena contribuição em cada etapa do melhoramento, tal índice, depois de várias etapas de seleção, poderá contribuir para um ganho genético significativo. 3) **Seleção de famílias** – as premissas básicas são que a variação genética ocorra tanto entre como dentro de famílias e que apresente distribuição normal padronizada. Nessa situação, em primeiro lugar, faz-se a seleção entre, identificando as famílias superiores, e posteriormente a seleção dentro, quando são selecionadas as plantas de interesses das famílias de destaque.

O sucesso da seleção clonal depende também da forma como esta é realizada, ou seja, se baseada em características fenotípicas ou se com base no comportamento de suas progênies, sendo este último procedimento o método que tem proporcionado maior sucesso na seleção. A avaliação das progênies em condições ambientais distintas é de grande importância, uma vez que tem-se verificado que a variabilidade em *Coffea canephora* pode ser atribuída, em parte, à variação ambiental (FERWERDA, 1969).

As principais características praticadas na seleção são o potencial de produção, estimado a partir de quatro colheitas; a adaptabilidade e estabilidade de produção para ambientes diversos; a tolerância

à seca, a pragas e doenças; a uniformidade de maturação dos frutos; maior tamanho de grãos com baixa percentagem de “moca”; a elevada relação entre café cereja e café beneficiado; a baixa percentagem de grãos chochos; a bienalidade de produção; e o baixo teor de cafeína (FONSECA, 1999; FERRÃO, 2004).

Em se tratando do fenômeno de auto-incompatibilidade genética entre clones que possuem cargas genéticas semelhantes, visando garantir uma polinização satisfatória, Charrier e Berthaud (1988) sugerem fazer o teste de compatibilidade genética antes de formar uma variedade clonal e, também, que a cultivar desenvolvida deva ser constituída de um número mínimo de oito clones, para garantir a sustentabilidade da atividade e evitar riscos de vulnerabilidade genética. As cinco variedades clonais de café conilon desenvolvidas pelo Incaper para o Espírito Santo são formadas pelo agrupamento de 9 a 14 clones (BRAGANÇA et al., 1993; 2001; FERRÃO et al., 1999a; 2000a; 2004; FONSECA et al. 2001a).

No desenvolvimento dessas variedades clonais, utilizaram-se os seguintes procedimentos: seleção de lavoura ou população base com variabilidade genética; identificação dos indivíduos superiores; clonagem dos indivíduos superiores selecionados; avaliação experimental dos clones selecionados juntamente com testemunhas locais, em ensaios com delineamento experimental, instalados em locais representativos da cultura, por um período mínimo de quatro colheitas; seleção e agrupamento dos materiais superiores para as diferentes características; teste de compatibilidade genética entre os clones de cada grupo; multiplicação dos clones superiores em jardim clonal; e lançamento da nova variedade com disponibilização de estacas e/ou mudas para produtores, viveiristas, cooperativas, associações, escolas agrotécnicas, entre outras. Os valores de produtividades alcançadas por variedades clonais são, em geral, superiores àquelas obtidas por variedades híbridas. Contudo, Charrier e Bertahaud (1988) afirmaram ser possível obter variedades híbridas produzindo de 75 a 100% da produtividade de materiais clonais, embora não seja possível, neste caso, a manutenção da uniformidade desejável entre os indivíduos, devido à heterozidade dos parentais.

Por meio de programas de melhoramento genético no Brasil e no mundo, foram desenvolvidas diferentes variedades clonais com produtividades médias superiores aos híbridos e variedades sintéticas propagadas por sementes (DUBLIN, 1967; FERWERDA, 1969; CAPOT, 1977; CHARRIER; BERTHAUD, 1988; FERRÃO, R.; FONSECA; FERRÃO, M. 1999b; FONSECA, 1999; FONSECA et al. 2001; 2004a). Registro especial pode ser dado ao programa de melhoramento genético de café conilon no Estado do Espírito Santo conduzido pelo Incaper, cujas variedades clonais têm atingido produtividades, em diferentes localidades do Estado, superiores a 120 sc. benef./ha, além de originarem um produto de melhor qualidade.

Na Figura 4, é apresentado o esquema clássico de melhoramento, que pode ser aplicado para a espécie *Coffea canephora*, quando o objetivo final do trabalho é desenvolver variedades clonais ou variedades ou híbridos sintéticos.

4.3 SELEÇÃO RECORRENTE

Em plantas perenes, pela maior complexidade em conduzir os programas de melhoramento, necessita-se de métodos capazes de produzir resultados práticos dentro de um período de tempo

relativamente curto. Dessa forma, as cultivares melhoradas devem ser criadas durante os diferentes estágios do melhoramento populacional.

A maioria dos caracteres de importância econômica têm herança quantitativa, ou seja, são, em geral, controlados por vários genes. A dificuldade do melhorista está em buscar estratégias de melhoramento visando aumentar a frequência dos alelos favoráveis dos genes de interesse na população, e, conseqüentemente, melhorar a expressão do caráter. O desafio é que quanto maior o número de genes envolvidos na expressão de uma dada característica, menor é a probabilidade de se poder manipular todos eles, principalmente pelo fato de que, aliado a essa dificuldade, existe também o efeito ambiental interferindo na expressão final da característica. Assim, a frequência de alelos favoráveis poderá ser aumentada de forma contínua e gradativa por ciclos sucessivos de seleção, por intermédio da seleção recorrente (HALLAUER, 1992; RAMALHO, 1994; RAMALHO; GONÇALVES; SOUZA SOBRINHO, 1999).

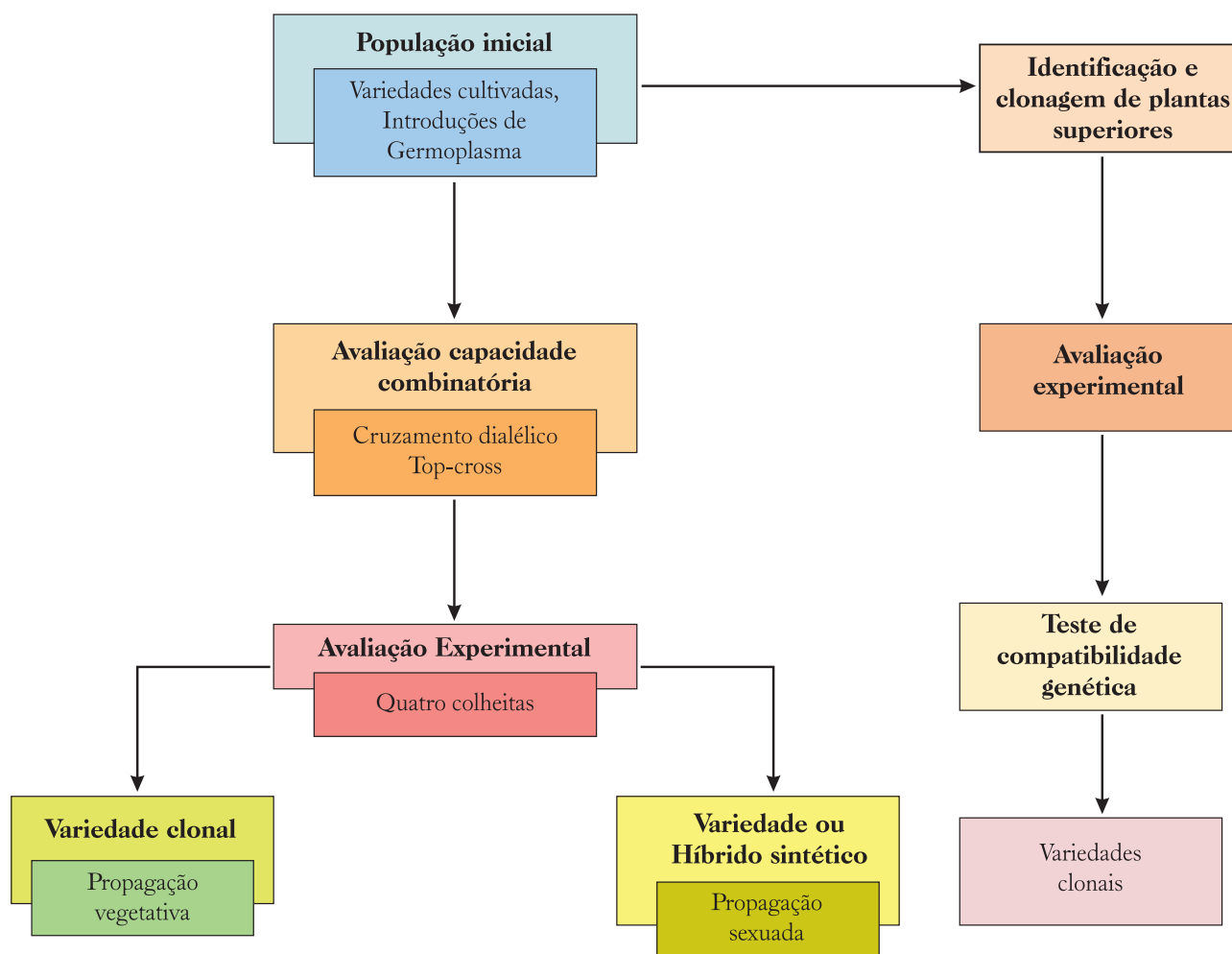


Figura 4. Esquema clássico de melhoramento de *Coffea canephora* para obtenção de cultivares.

A seleção recorrente pode ser definida como a seleção sistemática de plantas desejáveis de uma população, seguida pela recombinação e avaliação destas, para formação da nova população melhorada.

O objetivo da seleção recorrente, conforme já mencionado, é aumentar, contínua e progressivamente, a frequência dos alelos favoráveis com os sucessivos ciclos de seleção, e com isso promover o melhoramento genético das populações, as quais poderão ser utilizadas como uma cultivar *per si* ou como fonte de indivíduos superiores, podendo ser usadas no processo de seleção clonal, hibridação ou como progenitores de variedades sintéticas. O sucesso do método resulta no melhoramento de uma população com performance superior à população base ou de origem (BOREM, 1997).

A seleção recorrente proposta por Hull (1945) tem sido extensivamente utilizada no melhoramento de plantas alógamas em diferentes culturas, inicialmente com a cultura do milho (COMSTOCK; ROBINSON; HARVEY, 1949). O êxito no uso da seleção recorrente depende da existência das populações bases com variabilidade genética para a(s) característica(s) de interesse(s), possibilitando a identificação e a seleção de genótipos superiores após a avaliação de progênies e/ou plantas e ao mesmo tempo para manter a população com variabilidade suficiente para continuar obtendo ganhos nos ciclos subsequentes (DIAS; RESENDE, 2001; PEREIRA, 2001; RAMALHO, 1994).

Os diferentes métodos de seleção recorrente são classificados em seleção recorrente intrapopulacional e interpopulacional. O primeiro método consiste no melhoramento da população *per si*, enquanto o segundo visa à melhoria de uma população inter cruzada com outra população de interesse.

A seleção recorrente intrapopulacional pode ser utilizada em métodos de seleção massal, seleção entre famílias de meios irmãos e seleção entre famílias de irmãos completos. A escolha do método depende da característica a ser melhorada, de sua herdabilidade, do local e do tempo disponível para a execução do programa, do treinamento do pessoal, da variabilidade da população e do tipo de reprodução e propagação do material genético e, ainda, do conhecimento das informações da literatura. Ela capitaliza os efeitos aditivos dos alelos e, portanto, é uma ferramenta poderosa para o melhoramento populacional. É fácil de ser conduzida, podendo-se trabalhar com populações maiores e, dependendo da(s) característica(s) a ser(em) melhorada(s), pode proporcionar ganhos genéticos compatíveis, com menor tempo e custo, em relação a outros métodos de melhoramento mais sofisticados. Deve ser aplicada como método de seleção inicial de melhoramento, quando o objetivo principal do trabalho é a melhoria de populações visando à obtenção de variedades sintéticas propagadas via sexuada ou quando não se tem ainda informações sobre os níveis de dominância associados aos principais caracteres objetos da seleção.

Segundo Paterniani e Miranda Filho (1987) e Hallauer (1992), a seleção recorrente consiste principalmente nas seguintes fases: identificação dos indivíduos superiores da população a ser melhorada; avaliação dos genótipos superiores em experimento com repetições, se possível em mais de um ambiente; e recombinação ou inter cruzamento dos indivíduos superiores em campo isolado de polinização livre, para formação do ciclo seguinte de seleção (Figura 5). Os ganhos genéticos para as características priorizadas nas pesquisas são obtidos com os avanços dos ciclos de seleção (Figura 6).

A seleção recorrente tem sido aplicada com êxito em diferentes espécies perenes tropicais, como no cacau (LOCKWOOD; PANG, 1993; BARADAT; LABBE; BOUVERT, 1994; PAULIN, 1994; PAULIN; ESKE, 1995; PIRES et al., 1999), no eucalipto (RESENDE; HIGA, 1990; NAMKOONG; KANG; BROVARD, 1998; RESENDE, 1999) e em *Coffea canephora* (LEROY

et al., 1993; 1994; 1997; FERRÃO, R.; FONSECA; FERRÃO, M. 1999b;). No Estado do Espírito Santo, o Incaper vem usando o método desde 1997, em populações de maturação precoce, maturação intermediária e maturação tardia. As populações foram formadas pela recombinação em campos isolados de grupos de clones com diferentes períodos de maturação. As populações encontram-se no segundo ciclo de seleção.

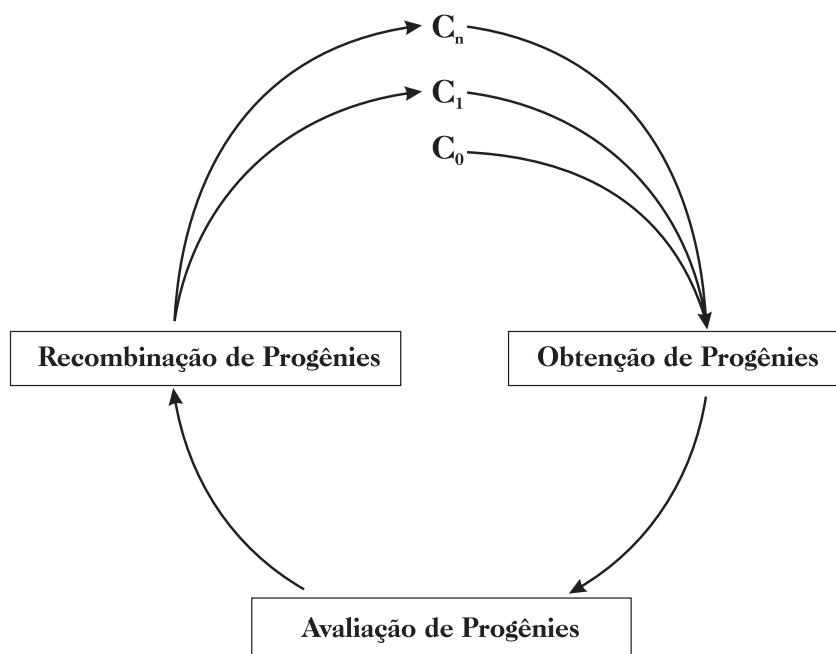


Figura 5. Esquema demonstrativo de seleção recorrente (BORÉM, 1997).

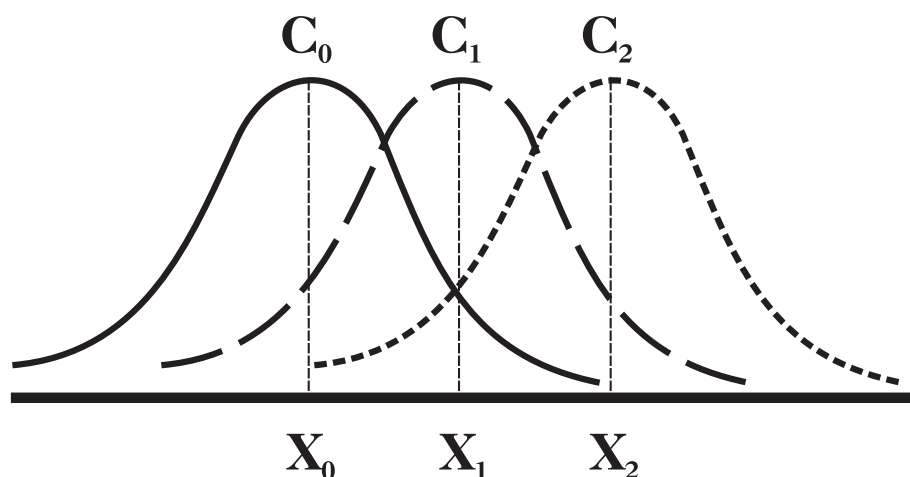


Figura 6. Ganhos genéticos obtidos pela seleção recorrente.

4.3.1 Seleção recorrente com a utilização de propagação vegetativa

O êxito na utilização da propagação vegetativa ocorre quando na população base estiver presente genótipo superior e desejado; caso contrário, o esforço dispendido para a avaliação de clones não

resultará em ganhos no desenvolvimento de cultivares superiores.

Diversos esquemas poderiam ser utilizados na seleção recorrente fenotípica com o uso de propagação vegetativa. A Figura 7 mostra um esquema bastante eficiente em cultura perene e que também poderá ser utilizado para a *Coffea canephora*.

O início do programa ocorre com a definição da população base. A população base pode ser obtida pelo uso de material genético de lavouras de produtores, onde é encontrada grande variabilidade genotípica para as diferentes características estudadas; por cruzamentos controlados empregando-se a mistura de pólen de todos os genitores; por cruzamentos controlados, envolvendo os genitores de interesse; ou por recombinação de um grupo de genótipos com características de interesse. As plantas superiores, após propagadas vegetativamente, são avaliadas em ensaios experimentais. Os clones que se destacam passam pelo teste de compatibilidade genética e agrupamento, para, posteriormente, serem recombinados em campo isolado, constituindo, assim, um ciclo de seleção recorrente. As cultivares ou outros clones superiores de distintos programas de melhoramento, ou mesmo gerados no próprio programa, poderão entrar, a qualquer momento, no esquema de recombinação, contribuindo com alelos favoráveis para a população alvo da seleção.

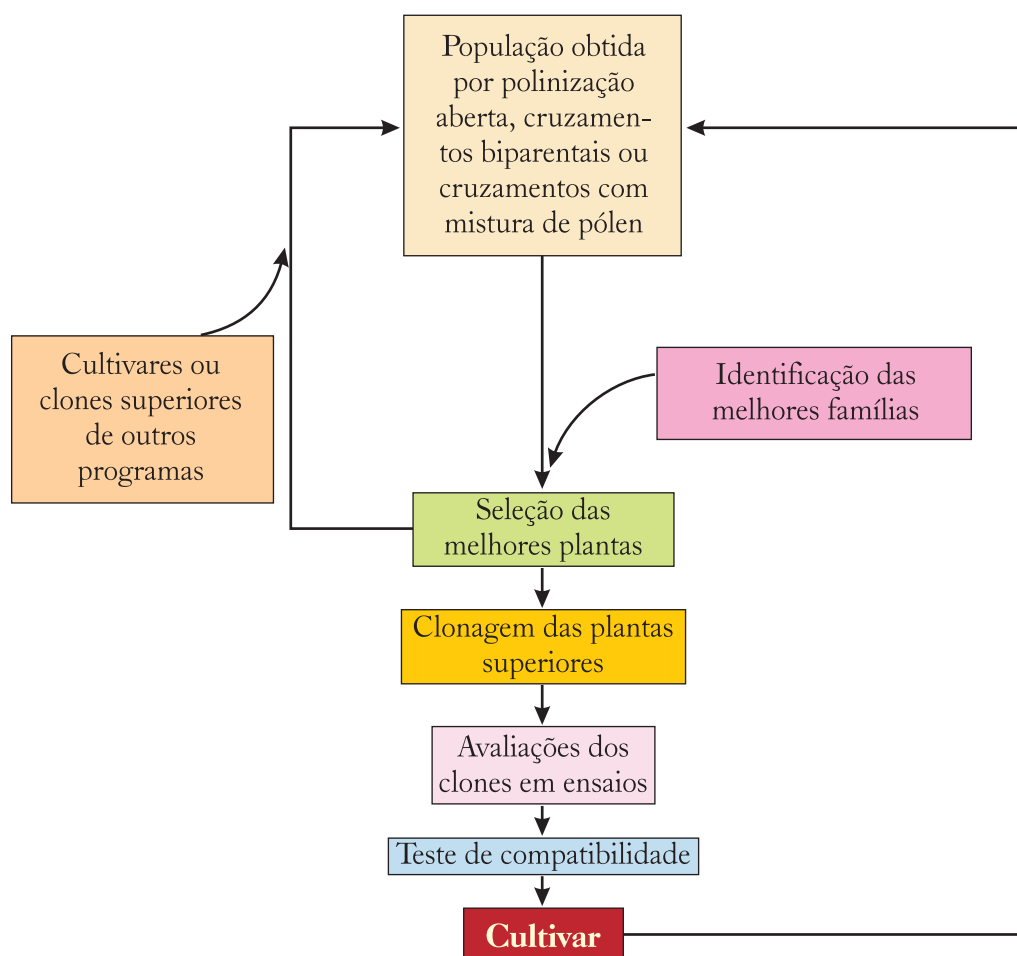


Figura 7. Esquema de seleção recorrente com a utilização de propagação vegetativa.

4.3.2 Seleção recorrente recíproca

A seleção recorrente recíproca é um método de melhoramento muito utilizado em plantas alógamas desde 1960, principalmente para seleção de características de herança quantitativa sob controle poligênico, como o rendimento de grãos. É utilizada quando se tem duas populações divergentes e com genes complementares, em cujo processo de seleção e recombinação há aumento da frequência de alelos favoráveis nas duas populações de melhoramento.

A seleção recorrente recíproca deve ser utilizada quando o objetivo do trabalho é buscar o melhoramento da população *per se* e em cruzamentos visando à exploração da heterose. Consiste na identificação de populações produtivas com características de interesses divergentes e complementares. Esse método de melhoramento possibilita explorar tanto a Capacidade Geral de Combinação (CGC), associada à variância genética aditiva, como a Capacidade Específica de Combinação (CEC), relacionada à variância genética não aditiva.

Assim, esse tipo de seleção deve ser utilizado nas seguintes condições: quando se deseja explorar simultaneamente a CGC e CEC, quando se conhece a divergência genética entre as populações bases, quando se tem informações sobre a dominância alélica nos locos que controlam o caráter de interesse, quando o programa visa à obtenção de híbridos e quando há treinamento, estrutura e mão-de-obra qualificada para execução dos trabalhos. Também deve-se ter atenção quanto aos objetivos finais do trabalho – se visa à obtenção de híbridos e/ou clones comerciais e se o efeito da capacidade específica de combinação é estatisticamente significativa. Em espécies de algumas culturas, como o café robusta, coco, eucalipto, seringueira, cacau, a seleção recorrente recíproca é estratégia adequada de melhoramento.

Os trabalhos de seleção recorrente recíproca em *Coffea canephora* iniciaram-se em 1984, na Costa do Marfim, utilizando-se de duas populações divergentes, de origens geográficas diferentes, denominadas de Congolense (Grupo 1 - África Central) e Guineano (Grupo 2 - oeste da África) (BERTHAUD, 1986). Nessa pesquisa, primeiramente foi avaliada a capacidade de combinação dos genótipos de cada população, cruzados com vários testadores da população recíproca (LEROY et al., 1993), uma vez que há predominância da capacidade geral de combinação (CHARRIER; BERTHAUD, 1988). Os melhores híbridos e as variedades clonais atualmente plantados na Costa do Marfim são derivados do melhoramento envolvendo os cruzamentos dos citados grupos (LEROY et al. 1993, 1994, 1997). Segundo os autores, as principais características de cada população são as seguintes: Guineana – suscetibilidade à ferrugem da folha, alto teor de cafeína, baixo peso de sementes, tolerância à seca, boa brotação, internódios curtos, folhas pouco alongadas e maturação precoce; Congolense – resistência à ferrugem da folha, médio teor de cafeína, sementes de tamanho maior, suscetibilidade à seca, pouca brotação, internódios longos, folhas grandes e maturação tardia.

Os principais resultados desses trabalhos foram as constatações de presença de variabilidade genotípica e fenotípica dentro e entre as populações Guineana e Congolense para arquitetura da planta, resistência à seca, vigor, características organolépticas, resistência a pragas e doenças; superioridade dos híbridos descendentes do cruzamento intergrupos em relação aos cruzamentos dos intragrupos, justificando a eficiência da seleção recorrente recíproca; eficiência da seleção recorrente no melhoramento das populações *per se* e na obtenção de híbridos superiores; e variação de 0,22 a 0,78

das herdabilidades para características relacionadas à arquitetura da planta, de 0,13 a 0,40 para vigor da planta e de 0,15 a 0,28 para as associadas com peso de grãos. As correlações fenotípicas e genotípicas entre produtividade e vigor de plantas foram altas; não houve alta correlação do peso de grãos com vigor e produção; houve boa correlação entre o diâmetro da copa das plantas aos quatro anos de idade com a produtividade de plantas com dois a cinco anos. Quanto às estimativas de ganhos genéticos para diferentes características, Leroy et al. (1997) verificaram progressos expressivos, cujas produtividades de híbridos envolvendo genitores elites das duas populações foram de 16 a 140% superiores às duas variedades comerciais clonais, e o cruzamento mais produtivo mostrou-se mais vigoroso. Efetuando a seleção de 5% das melhores plantas, o trabalho mostrou expectativas de ganhos genéticos altos com valor superior a 60% para rendimento; moderado, com percentagens de 14 a 18% para vigor de plantas jovens e baixa para diâmetro da copa, tendo sido possível predizer 60% dos ganhos genéticos em produtividades das plantas selecionadas em comparação com o clone mais produtivo utilizado como testemunha.

Para realizar a seleção recorrente recíproca, pode-se seguir o fluxograma constante da Figura 8.

4.4 HIBRIDAÇÃO

A hibridação tem sido uma das melhores estratégias de melhoramento a fim de agregar em um único indivíduo características de interesses encontrados em diferentes materiais genéticos. São muitos os exemplos de sucesso envolvendo hibridações em espécies de importância econômica e social no cenário mundial, podendo-se citar em trigo, batatinha, hortaliças como tomate e repolho, cana-de-açúcar e fruteiras que se multiplicam por via vegetativa. O melhor exemplo é dos milhos híbridos, desenvolvidos e cultivados em diferentes continentes, regiões e países do mundo.

Em programas de melhoramento via hibridação é de fundamental importância selecionar bem os genitores com base em características agrônomicas e estudos biométricos, como cruzamento dialélico e de divergência genética, adaptabilidade e estabilidade.

A hibridação em *Coffea canephora* pode ser interespecífica ou intraespecífica. A segunda é bastante facilitada em *Coffea canephora* pela existência do sistema gametofítico de auto-incompatibilidade, podendo dispensar a emasculação.

4.4.1 Hibridação intraespecífica

Para a realização de hibridações intraespecíficas artificiais, passa-se pelos seguintes passos: definição com antecedência dos genitores; proteção com sacos apropriados de ramos produtivos de plantas que serão utilizadas como genitores masculinos e femininos, cerca de 3 a 5 dias antes da antese; eliminação dos botões florais que já estiverem abertos; e monitoramento dos genitores quanto ao momento correto de efetuar a polinização artificial.

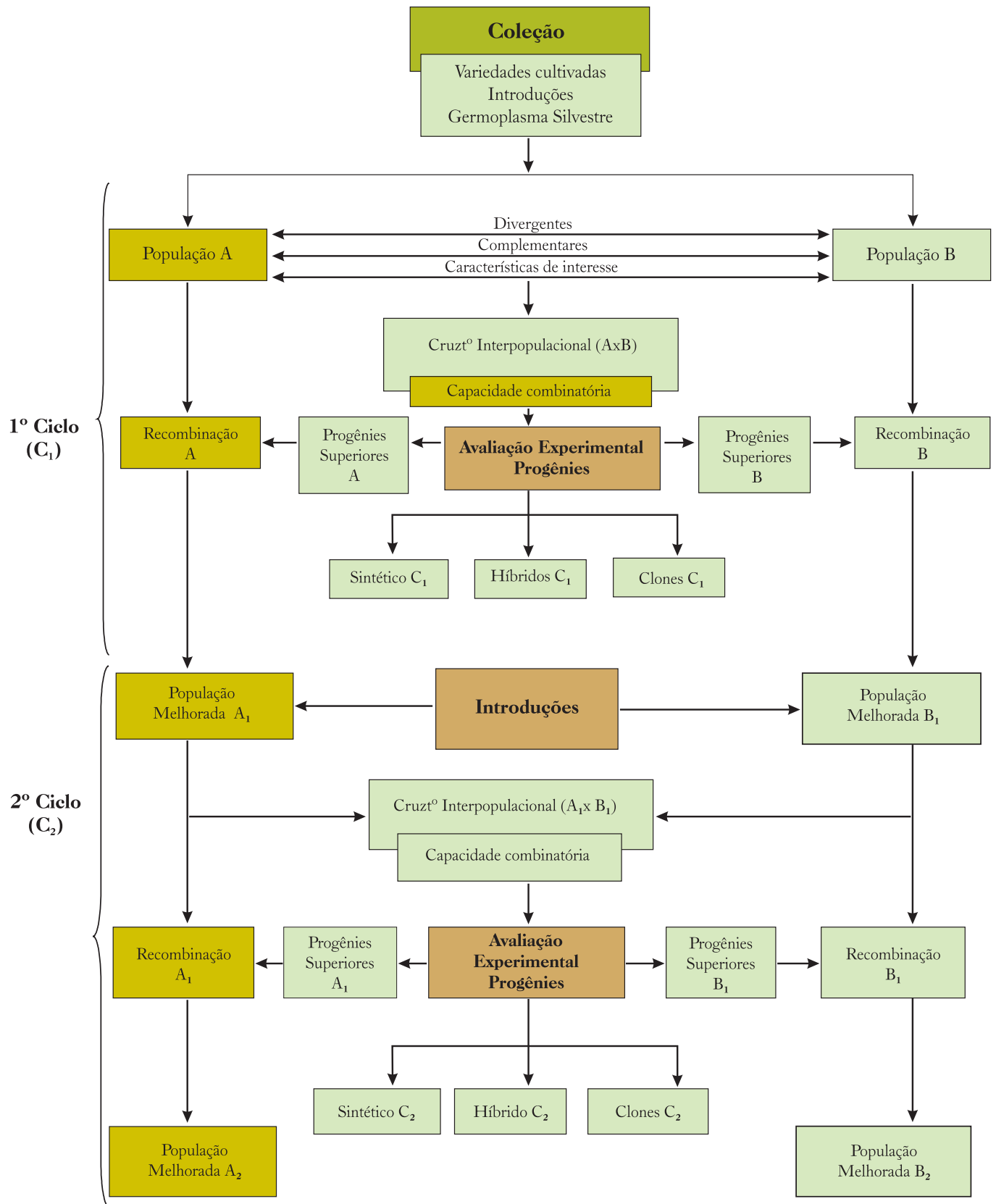


Figura 8. Fluxograma da seleção recorrente recíproca adaptado de Leroy et al. (1993).

Para a realização dos cruzamentos, os ramos plagiotrópicos contendo as flores abertas, que funcionarão como genitor masculino, polinizadores de outras plantas, devidamente identificados, deverão ser destacados e levados até o genitor feminino, também identificado, de outra planta. Com o rompimento manual de ambos os sacos, as inflorescências masculinas contendo as flores abertas, com grande quantidade de pólen, são colocadas em contato com as inflorescências femininas. Estando as flores do genitor feminino também abertas, por um processo fácil do desprendimento do grão do pólen, e não existindo incompatibilidade genética entre os genitores, realiza-se a polinização artificial, iniciando, assim, o processo de fertilização para a formação do fruto. Cada cruzamento deve ser identificado pelo amarrão de etiqueta com a numeração dos genitores envolvidos, data de realização, entre outras informações importantes.

A polinização artificial geralmente deve começar entre 8 e 10 horas da manhã. O técnico deve monitorar as flores não protegidas da mesma planta ou de plantas ao lado. Isso dará um bom indicativo do melhor momento para efetuar a polinização.

Já a produção comercial de sementes híbridas é realizada em campos isolados, envolvendo campos bi ou multiclonais. Os pais devem ser dispostos de tal forma que facilitem a polinização natural e que o florescimento dos pais ocorra de forma sincronizada. Em um campo de um hectare cultivado pode-se produzir mais de 1.000 kg de sementes, que são suficientes para instalar uma cafeicultura em cerca de 2.000 ha.

4.4.2 Hibridação interespecífica

Híbridos entre diferentes espécies têm despertado grande interesse de melhoristas de plantas. Muitos atributos de importância que faltam em espécies cultivadas são encontrados em espécies exóticas e silvestres. Assim, a hibridação interespecífica constitui-se em um procedimento básico potencial para a transferência de alelos responsáveis para melhoria de características de espécies.

A estrutura genética do gênero *Coffea* favorece o melhoramento por introgressão. São possíveis as hibridações naturais e artificiais entre as espécies desse gênero, gerando, muitas vezes, híbridos férteis (CHARRIER; BERTHAUD, 1988). As hibridações interespecíficas são procedimentos adequados para a melhoria da produtividade, rusticidade, qualidade de bebidas e outras características de interesse.

Várias cultivares superiores, foram originadas de hibridações interespecíficas entre *Coffea arabica* e uma destas: *Coffea canephora*, *Coffea dewevrei* e *Coffea congensis*, desenvolvidas, recomendadas e amplamente utilizadas pelos produtores. Devido ao diferente número de cromossomos de *Coffea arabica* em relação às demais espécies, a hibridação interespecífica, envolvendo sempre ela com as outras do gênero, é dificultada e impede a formação e o uso direto dos híbridos F_1 , sendo, nesta situação, importante a duplicação do número de cromossomos. Pesquisadores de vários países têm especial atenção para híbridos entre *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, por duas razões principais: melhorar a qualidade de *Coffea canephora* e, por ação recíproca, introduzir alelos que conferem vigor e resistência a doenças para *Coffea arabica* (CARVALHO; MEDINA FILHO; FAZUOLI, 1984).

Importância especial também vem sendo dada aos descendentes de híbridos naturais ou artificiais entre as espécies *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, como o Híbrido de Timor, que tem sido amplamente

utilizado como genitor para resistência à ferrugem de diferentes variedades desenvolvidas em vários países e também no Brasil, podendo-se citar as variedades Iapar 59, Tupi, Oeiras – MG 6851, Paraíso MG H419-1, IPR 98; Obatã, Pau Brasil, Sacramento e outras (MONACO; CARVALHO, 1975; CARVALHO et al., 1991; FAZUOLI et al., 1996; 2002; PEREIRA et al., 2002). Vários autores descreveram sobre o Híbrido de Timor, podendo-se citar, (BETTENCOURT, 1981; CHARRIER; BERTHAUD, 1985; BETTENCOURT; RODRIGUES JUNIOR, 1988; CARVALHO, 1988; PEREIRA et al., 2002).

Os híbridos conhecidos como arabustas, originados do cruzamento entre *Coffea arabica* e tetraplóides de *Coffea canephora*, têm recebido atenção especial em muitos países, com destaque na Costa do Marfim e no Brasil (CAPOT, 1977). A produção de tetraplóides em *Coffea canephora* é feita através do tratamento de sementes ou extremidades de ramos com colchicina (CARVALHO et al., 1991). Esses híbridos, além do vigor, apresentam resistência à ferrugem (CHARRIER; BERTHAUD, 1985).

As variedades Icatu, oriundas do cruzamento de *Coffea canephora* cv. Robusta x *Coffea arabica* cv. Bourbon e sucessivos retrocruzamentos com *Coffea arabica* cv. Mundo Novo, exemplificam bem o sucesso do melhoramento interespecífico. As populações de 'Icatu' apresentam grande variabilidade para diversas características agrônômicas, apresentando genótipos com resistência a muitas raças fisiológicas do agente causador da ferrugem, sendo também rústicas e produtivas (FAZUOLI, 1986; FAZUOLI et al., 2002).

As populações denominadas de 'Catimor' são originadas do melhoramento envolvendo o Híbrido de Timor (*Coffea arabica* x *Coffea canephora*) x Caturra. Apresentam muitas progênies resistentes à ferrugem (PEREIRA et al., 2002)

Conforme já citado, muitas outras espécies podem ser utilizadas em trabalhos de melhoramento por apresentarem características de interesse, como: tolerância à seca (*Coffea racemosa*), baixo teor de cafeína (*Coffea eugenoides*) ou mesmo ausência de cafeína em espécies da secção *Mascarocoffea* e resistência a nematóides (*Coffea salvatrix*) (CHARRIER; BERTHAUD, 1988).

As espécies *Coffea canephora*, *Coffea congensis*, *Coffea aecemosa* e *Coffea dewevrei* vêm sendo aproveitadas em cruzamentos com *Coffea arabica* como importantes fontes de alelos para resistência a pragas, doenças, nematóides e tolerância a condições adversas de ambiente. Para o sucesso de programas de obtenção de híbridos interespecíficos, é de fundamental importância o conhecimento sobre a herança dessas características, bem como a relação de dominância (CARVALHO et al., 1991).

A resistência ao bicho-mineiro (*Perileucoptera coffeella*) é encontrada em *Coffea stenophylla*, *Coffea racemosa*, *Coffea salvatrix*, *Coffea liberica*, *Coffea kapakata*, *Coffea eugenoides* e *Coffea dewevrei*. (CARVALHO et al., 1991).

O teor de cafeína, embora seja uma característica qualitativa, apresenta herdabilidade intermediária (CHARRIER; BERTHAUD, 1988). A variedade Laurina, possivelmente originada do cruzamento entre *Coffea arabica* e *Coffea mauritiana*, possui cerca da metade do teor de cafeína de *Coffea arabica*. Esta característica, segundo Costa (1965), citado por Carvalho et al. (1991), é governada por apenas um par de genes (I_r I_r), constituindo-se, assim, em outra possibilidade para a redução deste componente em *Coffea canephora*, pelo melhoramento interespecífico.

O cruzamento interclones pode constituir-se na estratégia mais simples para redução do teor de

cafeína em *Coffea canephora*, visto que a espécie apresenta grande variabilidade para a característica, com teores entre 2% e próximo a 4%. Para tal, é necessária a avaliação e seleção de clones com menores teores, os quais, posteriormente, podem ser agrupados para a formação de uma nova variedade clonal, como também utilizados em cruzamentos para incorporar os alelos dessa característica em outros materiais genéticos de melhor desempenho comercial.

A transferência para *Coffea canephora* de alelos responsáveis por características de interesse governadas por poucos genes, encontradas em espécies relacionadas, pode ser feita utilizando inicialmente cruzamentos simples, e, posteriormente, de um ou dois retrocruzamentos com o pai recorrente, para recuperar as demais características importantes originais desse recorrente.

Para as características governadas por maior número de genes, como é o caso de produção de grãos, há necessidade de que a seleção seja realizada após avaliação do desempenho das progênes oriundas dos cruzamentos. Apesar dos ganhos expressivos obtidos pela seleção fenotípica, esta estratégia tem sido mais efetiva para caracteres de alta herdabilidade, e a sua eficácia no melhoramento de *Coffea canephora* pode estar associada à grande variabilidade existente nas suas populações originais.

4.5 MANUTENÇÃO DA VARIABILIDADE GENÉTICA

O sucesso de qualquer programa de melhoramento depende da existência de variabilidade genética na população base. A escolha de genitores divergentes utilizados nos intercruzamentos para a formação dessas populações garante tal variabilidade. Também é desejável que esses genitores escolhidos apresentem um desempenho satisfatório *per se* em relação aos caracteres de interesse. Assim, análises prévias sobre estimativas da capacidade geral e específica de combinação dos prováveis genitores são de grande valia para definir a escolha mais acertada possível dos genitores. Outra preocupação é a manutenção da variabilidade genética durante os repetidos ciclos de seleção. Esta pode ser mantida por meio de recombinações com o uso de amostragens apropriadas, de forma que o tamanho efetivo da população não seja reduzido (CRUZ; CARNEIRO, 2003).

No programa de melhoramento genético da espécie *Coffea canephora* cv. Conilon do Incaper, são avaliadas diferentes características agrônômicas. Nos trabalhos de divergência genética realizados por Fonseca (1999) e Ferrão (2004), verificou-se alta variabilidade do Conilon para diferentes características. Das avaliações fenotípicas, foram obtidos os seguintes resultados médios: ciclo (floração à colheita) – 227 a 300 dias; altura de planta – 1,90 a 3,30 m; diâmetro de copa – 2,35 a 3,08 m; uniformidade de maturação – alta a baixa; grãos chochos – 3,80 a 24,00%; grãos chatos – 60,90 a 89,00%; grãos “moca” – 12,44 a 39,10%; peso de 1.000 grãos chatos – 71,40 a 144,50 g; índice de rendimento 3,55 a 6,70; peneira igual ou superior a 17 – 0,70 a 41,00%; peneira 15 – 6,20 a 54,00%; peneira 13 – 13,85 a 62,10%; peneira 11 – 1,53 a 43,84 %; teor de cafeína – 1,20 a 4,00 %; resistência à ferrugem (*Hemileia vastratrix*) – resistente a suscetível; entre outras características.

Visando à manutenção dos recursos genéticos e à avaliação da variabilidade genética do Conilon do Estado do Espírito Santo, o Incaper tem utilizado dos descritores fenotípicos e marcadores de DNA para caracterizar os 375 genótipos presentes no Banco Ativo de Germoplasma do Instituto, localizado em Marilândia/ES.



5. ANÁLISES BIOMÉTRICAS: APLICAÇÕES E RESULTADOS

Um dos grandes desafios para os melhoristas de plantas é superar as produtividades das melhores cultivares atuais. Nas diferentes etapas de condução do programa de melhoramento genético de cafeeiro, vários fatores interferem na otimização dos ganhos esperados, como: o ciclo longo, que gera uma exposição prolongada a diversos estresses abiótico e bióticos, facilitando o aparecimento de novas doenças, pragas e nematóides; o longo tempo juvenil, que impede agilizar os ciclos de seleção; a cultura perene de porte elevado, o que se faz necessária a utilização de maiores espaçamentos e, concomitantemente, grandes áreas experimentais, dificultando a seleção de áreas uniformes; a necessidade de manejo da cultura pela poda, o que dificulta a padronização no campo do mesmo número de hastes por planta para todos os tratamentos e parcelas. Em razão desses fatores e das pressões da cadeia produtiva do café, demandando do programa de melhoramento solução para os diferentes problemas, maiores esforços devem ser dirigidos a estudos de biometria e biotecnologia, associados aos métodos e às estratégias do melhoramento clássico, para se ter respostas mais efetivas.

As informações biométricas são ferramentas importantes no melhoramento genético, como se observa a seguir: na identificação da variabilidade genética do germoplasma; na definição de materiais genéticos básicos para o melhoramento intra e interpopulacional; na definição dos genitores para cruzamentos; na caracterização de germoplasmas; na definição de locais de experimentação; na adaptação e estabilidade dos genótipos para serem liberados aos plantios *per se* ou para serem agrupados na formação de variedades sintéticas e clonais; na determinação do número de colheitas necessárias para se ter acurácia na definição do valor real do genótipo; na predição de ganhos genéticos; na seleção precoce de indivíduos ou progênies envolvendo características que se manifestem nos primeiros anos e possuam facilidades de serem determinadas, com alta herdabilidade e correlação genotípica desejável com características de baixa herdabilidade.

5.1 ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS

As estimativas de parâmetros genéticos, tais como variância fenotípica, variância genotípica, coeficiente de variação genotípico e herdabilidade, permitem conhecer a estrutura e a variabilidade genética da população. Esses estudos, portanto, poderão dar subsídios para prever os ganhos genéticos e o possível sucesso no programa de melhoramento. Tais estimativas também são importantes na redefinição dos métodos de melhoramento e seleção a serem utilizados; identificação da natureza da ação dos genes envolvidos no controle, especialmente dos caracteres quantitativos; e de estratégias eficientes de melhoramento para obter ganhos genéticos contínuos, mas ao mesmo tempo, sem descuidar com a manutenção de base genética adequada na população para seleção futura (CRUZ; CARNEIRO, 2003).

As estimativas das variâncias genéticas são obtidas geralmente a partir de quadrados médios de análise de variância, feitas conforme o delineamento genético e experimental utilizados. Conhecidas as esperanças dos quadrados médios, obtém-se, com certa facilidade, os estimadores dos componentes de variância.

As estimativas de parâmetros genéticos podem ser obtidas a partir de determinados delineamentos



genéticos, como os delineamentos I e II de Comstock e Robson, dialelo, ensaio de famílias, dentre outros. Esses delineamentos são de grande importância por proverem em estimativas dos componentes de variância genotípicas, as quais são utilizadas para o cálculo de parâmetros genéticos indispensáveis na avaliação de populações de trabalho, orientação de esquemas mais apropriados de seleção e predição do êxito de programas de melhoramento.

A variância aditiva tem merecido grande destaque porque expressa a similaridade entre indivíduos aparentados e, portanto, é um dos componentes que determinam a covariância entre estes indivíduos. Assim, torna-se um componente de variância indispensável para avaliar o sucesso de um programa de melhoramento genético que se baseia na covariância existente entre o material experimental avaliado e o material genético repassado para compor novos ciclos de melhoramento ou para a comercialização.

A maioria dos trabalhos disponíveis visando obter estimativas de parâmetros genéticos no gênero *Coffea* tem ocorrido com *Coffea arabica*. As informações desses trabalhos nem sempre são apropriadas para serem aplicadas em *Coffea canephora*, uma vez que as citadas espécies são diferentes e também que as principais informações de *Coffea canephora* são de países africanos e obtidas de grupos de materiais genéticos distintos do Conilon brasileiro. Assim, por conseguinte, é de grande importância que se realize essa estimação em café robusta, pois, conforme exposto por Falconer (1981) e Vencovsky (1987), as estimativas dos parâmetros genéticos podem ser influenciadas por diferentes métodos de melhoramento, materiais genéticos utilizados, diferentes condições ambientais e época e idade de avaliação, entre outros fatores.

Em *Coffea canephora*, Leroy et al. (1994) encontraram as seguintes estimativas de herdabilidade: altura da planta, 0,37; diâmetro do caule, 0,24; número de ramos plagiotrópicos, 0,43; peso de grãos na primeira safra, 0,28; peso de grãos na segunda safra, 0,27; peso de grãos na terceira safra, 0,15; peso de grãos na quarta safra, 0,14; e peso de grãos acumulados, 0,38. Montagnon et al. (1998a) obtiveram esses valores de herdabilidades: 0,73 para peso de sementes; 0,80 para conteúdo de cafeína; 0,74 para conteúdo de gordura; e 0,11 para conteúdo de sacarose nos grãos. Segundo os últimos autores, há dificuldade de interpretação das estimativas de parâmetros genéticos em *Coffea canephora*, uma vez que muito dos materiais genéticos utilizados são de diferentes origens. Por exemplo, nesse mesmo estudo, a herdabilidade para produtividade em plantas jovens é alta ($>0,7$), mas com plantas adultas é baixa ($<0,20$). A característica peso de 100 grãos é de valor baixo a médio (0,15 a 0,30). As correlações fenotípica e genética entre vigor da planta e produtividade são elevadas ($>0,60$), mas a correlação entre peso de 100 sementes e produtividade, características essas importantes no melhoramento, não apresentam elevada e positiva magnitude. Le Pièrres (1988) expõe que o teor de cafeína é uma característica transmitida de forma aditiva.

Fonseca (1999), Ferrão, R.; Ferrão, M.; Fonseca (2003b) e Ferrão (2004), em estudos de estimativas de parâmetros genéticos envolvendo diferentes características e genótipos de café conilon, encontraram os seguintes resultados: na análise de variância houve diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os genótipos, para a maioria das características, indicando a existência de variabilidade genética entre os materiais genéticos; o coeficiente de determinação genotípico (H^2) foi superior a 70% para a maioria das características, alcançando o valor de 94,17%, mostrando, assim, a existência de maior variabilidade genética em relação à ambiental e condição favorável para o melhoramento; o coeficiente de variação genético (CV_g) foi superior ao coeficiente de variação ambiental (CV_e) para a maioria dos



caracteres, reforçando, uma vez mais, que o local onde está sendo realizado o programa de melhoramento é adequado para se obter sucesso nos trabalhos.

5.2 CORRELAÇÕES ENTRE CARACTERES

Na análise de correlações procura-se determinar o grau de relacionamento entre duas variáveis. As correlações entre duas características podem ser fenotípicas, genotípicas ou ambientais.

Os estudos de correlações têm grande importância em programas de melhoramento, principalmente quando a seleção do caráter desejável apresenta dificuldade, por se tratar de um caráter de baixa herdabilidade e/ou problemas de medição ou identificação. A correlação simples permite avaliar a magnitude e o sentido das relações entre dois caracteres, sendo de grande utilidade no melhoramento por permitir avaliar a viabilidade prática da seleção indireta, que, em alguns casos, pode levar a progressos mais rápidos que a seleção direta da característica desejada. As correlações mostram-se como ferramentas auxiliares em estudos que visem reduzir o número de características utilizadas em análises, como por exemplo, nos estudos de divergência genética, em que as características disponíveis são aquelas redundantes, por estarem correlacionadas com outras de mais fácil mensuração ou que demandam menor custo e/ou tempo para avaliação (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

Em *Coffea canephora*, variedade Conilon, foram estimadas as correlações fenotípica, genotípica e ambientais para oito características, duas a duas, em termos de média de 80 genótipos avaliados pelo programa de melhoramento genético de café Conilon do Incaper (FONSECA, 1999; FONSECA et al., 2003b). Os resultados foram os seguintes: as magnitudes das correlações genotípicas tenderam a superar as das correlações fenotípicas, mostrando que os fatores genéticos tiveram maior influência que os de ambiente em mais de 60% dos casos, possibilitando, assim, a seleção simultânea de várias características, uma vez que o interesse do melhorista se prende, quase sempre, em um conjunto delas; o número de hastes por planta correlacionou positivamente com diâmetro médio da copa (0,657) e altura da planta (0,265) e nula com produção média de grãos (-0,084); a altura média da planta correlacionou positivamente com produção de grãos (0,218); os valores crescentes positivos das correlações genotípica e fenotípica da primeira à quarta colheita, em especial com as duas últimas colheitas, com a produção média de grãos, possibilitou concluir que a maior acurácia na seleção ocorre após a segunda colheita; houve correlações positivas com magnitudes de 0,842 e 0,820 entre a terceira e quarta colheita, respectivamente, com a produção média de grãos, mostrando, assim, que colheitas adicionais podem aumentar o nível de confiabilidade da predição do valor real.

Ferrão (2004b), estudando as correlações entre características de plantas e avaliando diferentes genótipos em dois locais do Estado do Espírito Santo, verificou que em 95,45% dos casos a magnitude das correlações genotípicas tenderam a superar as correlações fenotípicas, mostrando que os fatores genéticos tiveram maior influência que os ambientais. Em 72,73% dos casos, os coeficientes de correlações fenotípica, genotípica e de ambiente apresentaram concordância de sinais, indicando, assim, a baixa influência ambiental na associação entre as caracteres.

5.3 ESTIMATIVAS DE REPETIBILIDADE

Os estudos de repetibilidade são de grande importância em programas de melhoramento para animais e espécies vegetais perenes. A estimativa de repetibilidade visa determinar o número de medições necessárias em um indivíduo, cultivar, clone, para predizer o seu valor real, com certo grau de probabilidade. Tal estimativa é possível de ser obtida quando a medição, tanto no tempo quanto no espaço, de uma dada característica é feita repetidas vezes, em um mesmo indivíduo.

Para Turner e Young (1969), ao se realizar sucessivas medições de uma característica em um grupo de indivíduos, espera-se que a superioridade ou inferioridade inicial do indivíduo em relação aos demais mantenha-se em medições posteriores. Para esses autores, a verificação da consistência da posição relativa dos indivíduos durante sucessivas medições tem sido tradicionalmente denominada de repetibilidade. Ela é função da média geral, do efeito genotípico sobre a característica do referido indivíduo, do efeito temporário e ou localizado, ou do ambiente sobre aquele indivíduo, e expressa a proporção da variância total, que é explicada pelas variações proporcionadas pelo genótipo e pelas alterações permanentes atribuídas ao ambiente comum. Quando a variância proporcionada pelos efeitos permanentes do ambiente é minimizada, a repetibilidade aproxima-se da herdabilidade (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004). Segundo Falconer (1981), a repetibilidade depende das propriedades genotípicas da população, do caráter em estudo e das condições do ambiente nos quais os indivíduos foram mantidos.

Uma aplicação relevante da estimativa do coeficiente de repetibilidade é que este permite determinar o número de observações fenotípicas que devem ser realizadas em cada indivíduo, para que se possa realizar a seleção com acurácia adequada e redução de tempo, custo, esforços e mão-de-obra. Quanto maior for o coeficiente de repetibilidade, haverá maior regularidade na expressão do caráter de uma medida para outra e, por conseqüência, pode-se predizer o valor real do indivíduo, com número relativamente menor de medidas repetidas.

O coeficiente de repetibilidade pode ser estimado por diferentes metodologias, como pela análise de variância, análise de componentes principais – obtidas efetivamente por intermédio da matriz de covariância e correlações – e pelo método de análise estrutural, utilizando as matrizes de correlações e de covariâncias. Essas metodologias foram descritas de forma detalhada por Cruz, Regazzi e Carneiro (2004).

De acordo com Abeywardena (1972), quando os genótipos apresentam comportamento cíclico ao longo das avaliações em relação à característica estudada, a estimativa mais adequada desse coeficiente é aquela obtida pelo método baseado nos componentes principais, tanto por meio da matriz de variâncias e covariâncias fenotípicas quanto pela matriz de correlações. As variedades de *Coffea canephora* apresentam comportamentos cíclicos de produção, e de fato a estimativa de repetibilidade pelo método de componentes principais tem sido mais eficiente (FONSECA, 1999; FERRÃO et al., 2003c; FONSECA et al., 2003c; 2004b; FERRÃO, 2004).

Resende (2001) apresenta estimativas dos coeficientes de repetibilidade para várias espécies perenes, como eucalipto, seringueira, cacauieiro, coqueiro, cupuaçu, guaraná, envolvendo diferentes caracteres. O coeficiente de repetibilidade médio foi de 0,66, com variação de 0,45 a 0,92. A magnitude desse coeficiente depende da herdabilidade da característica estudada e do método utilizado para a

sua estimação. O autor classifica o coeficiente de repetibilidade em três classes: repetibilidade alta, $r > 0,60$; repetibilidade média, $0,30 < r < 0,60$; e repetibilidade baixa, $r < 0,30$.

Fonseca et al. (2003c; 2004b) estimaram o coeficiente de repetibilidade para a produtividade de grãos em *Coffea canephora*, com base no comportamento de 80 genótipos da variedade Conilon, em Marilândia, no Estado do Espírito Santo, utilizando os métodos de análise de variância com efeito temporário de ambiente removido do erro e componentes principais obtidos por esses dois procedimentos, matriz de correlações e matriz de covariâncias. Os métodos utilizados proporcionaram diferentes estimativas da repetibilidade, sendo o maior valor obtido pelo terceiro método. A precisão na predição do valor real dos indivíduos, demonstrada pelo coeficiente de determinação (R^2), com base em quatro colheitas, variou de 65,32 a 81,59%, dependendo do método. Aumentando-se o número de colheitas de quatro para seis, a precisão aumentou para valores de R^2 entre 73,84 e 86,92%. A partir da sexta colheita, contudo, este aumento tornou-se inexpressivo, não sendo mais justificado, tendo em vista o tempo necessário e os custos dispendidos (Figura 9).

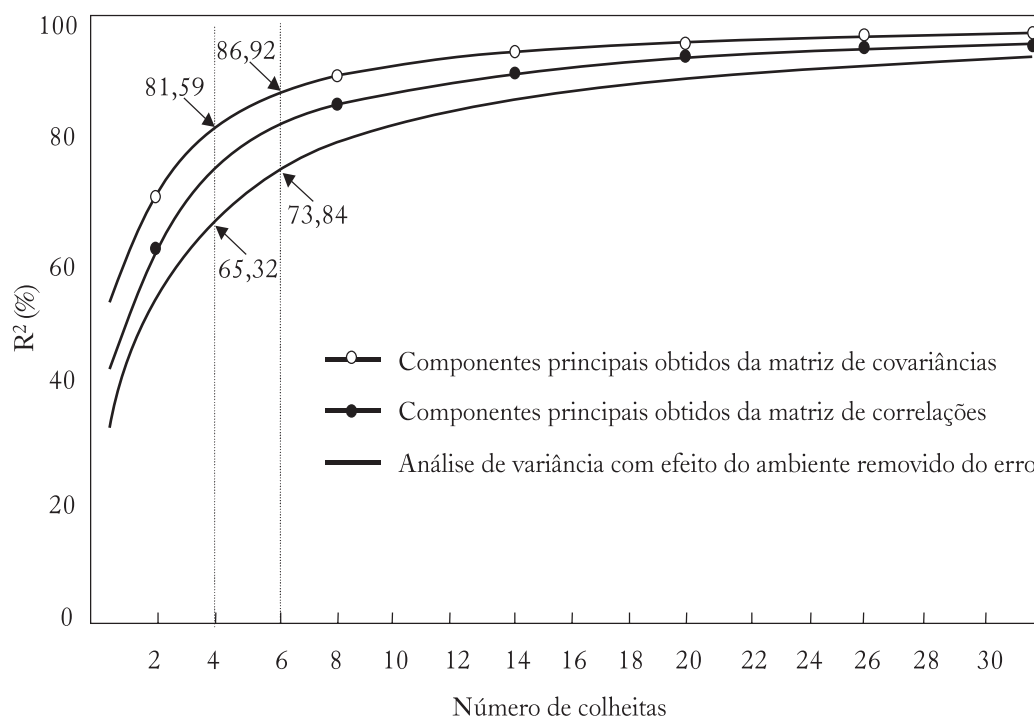


Figura 9. Estimativa do coeficiente de determinação (R^2) para determinação da acurácia de três métodos de estimativa de repetibilidade conforme o número de colheitas, Marilândia/ES.

Ferrão et al. (2003c) estimaram o coeficiente de repetibilidade por sete colheitas em 50 genótipos de café Conilon no Estado do Espírito Santo empregando os métodos de análise de variância, componentes principais utilizando as matrizes de correlações e de covariâncias, análise estrutural utilizando as matrizes de correlações e covariâncias, além de estimar o número de colheitas necessária, para expressão do valor real do genótipo. Verificaram que o método de componentes principais, com o uso de matriz de covariâncias, apresentou o maior coeficiente de repetibilidade ($r = 0,662$) e a maior acurácia com $R^2 = 93,19\%$, sendo cinco colheitas suficientes para se ter uma confiabilidade de 90% para predição do valor real do indivíduo.

Em estudo de repetibilidade, para a característica produtividade, para 40 genótipos, utilizando diferentes métodos, para sete colheitas em dois locais do Estado do Espírito Santo, Ferrão (2004) verificou que o método de componentes principais pela matriz de covariâncias apresentou os maiores coeficientes de repetibilidade, 0,501 em Sooretama e 0,432 em Marilândia, com coeficientes de determinação de $R^2 = 87,56\%$ e $R^2 = 84,19$, respectivamente (Tabelas 1 e 2). Tais resultados indicam que esse método dos componentes principais é mais adequado para estimar o coeficiente de repetibilidade, pois proporciona maior acurácia na expressão do valor real do genótipo, uma vez que leva em consideração o comportamento dos genótipos no que concerne à bienalidade da característica estudada. Ainda no estudo, com esse mesmo método, nota-se que para se ter elevada acurácia no valor real dos genótipos, na ordem de 80 %, são necessárias de quatro colheitas em Sooretama e de cinco colheitas em Marilândia (Tabelas 1 e 2 e Figuras 10 e 11).

Tabela 1. Coeficiente de repetibilidade ($\hat{\tau}$) e de determinação (R^2) para sete colheitas e estimativas do número necessário de colheitas para a obtenção de diferentes R^2 nos cinco métodos, em Sooretama/ES, 2004

Métodos de estimação	Número de medidas (n)* para diferentes R^2						
	$\hat{\tau}$	R^2	0,80	0,85	0,90	0,95	0,99
1) ANOVA	0,386	81,48	6,36(6)	9,01(9)	14,32(14)	30,20(30)	157,50(157)
2) Componentes principais – covariância	0,501	87,56	3,98(4)	5,64(6)	8,95(9)	18,90(19)	98,49(98)
3) Componentes principais – correlações	0,425	83,79	5,42(5)	7,67(8)	12,19(12)	25,73(26)	134,05(134)
4) Análise estrutural – correlações	0,407	82,81	5,81(6)	8,23(8)	13,08(13)	27,61 (28)	143,84(144)
5) Análise estrutural – covariância	0,386	81,48	-	-	-	-	-

*Número aproximado

Tabela 2. Coeficiente de repetibilidade ($\hat{\tau}$) e de determinação (R^2) para sete colheitas e estimativas do número necessário de colheitas para a obtenção de diferentes R^2 nos cinco métodos, em Marilândia/ES, 2004

Métodos de estimação	Número de medidas (n)* para diferentes R^2						
	$\hat{\tau}$	R^2	0,80	0,85	0,90	0,95	0,99
1) ANOVA	0,352	79,19	7,36(7)	10,43(10)	16,56(17)	34,96(35)	182,16(183)
2) Componentes principais – covariância	0,432	84,19	5,26(5)	7,45(7)	11,83(12)	24,97(25)	130,09(130)
3) Componentes principais – correlações	0,395	82,07	6,12(6)	8,67(9)	13,76(14)	29,05(29)	151,38(151)
4) Análise estrutural – correlações	0,379	81,06	6,54(7)	9,27(9)	14,72(15)	31,07(31)	161,89(162)
5) Análise estrutural – covariância	0,352	79,19	-	-	-	-	-

*Número aproximado

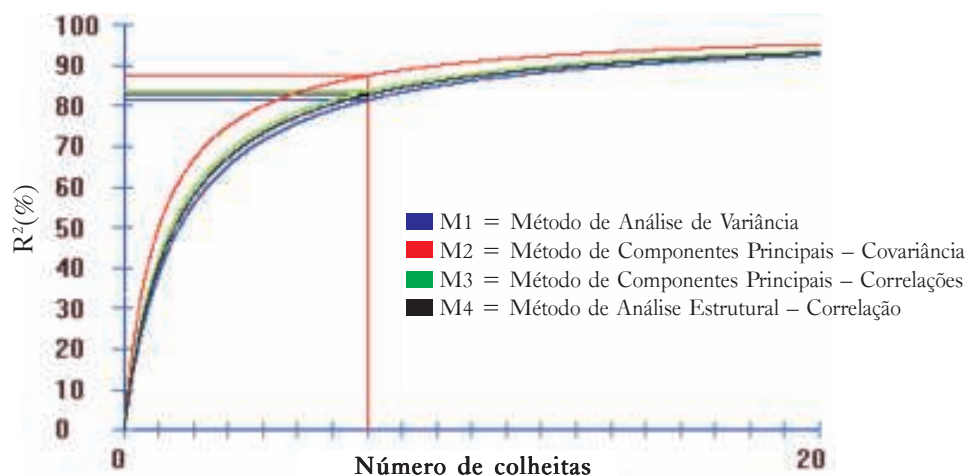


Figura 10. Gráfico ilustrativo da estimativa do coeficiente de determinação (R^2) em porcentagem, em função do número de colheitas, por quatro métodos de estimação do coeficiente de repetibilidade da característica produtividade de café conilon, em Sooretama/ES.

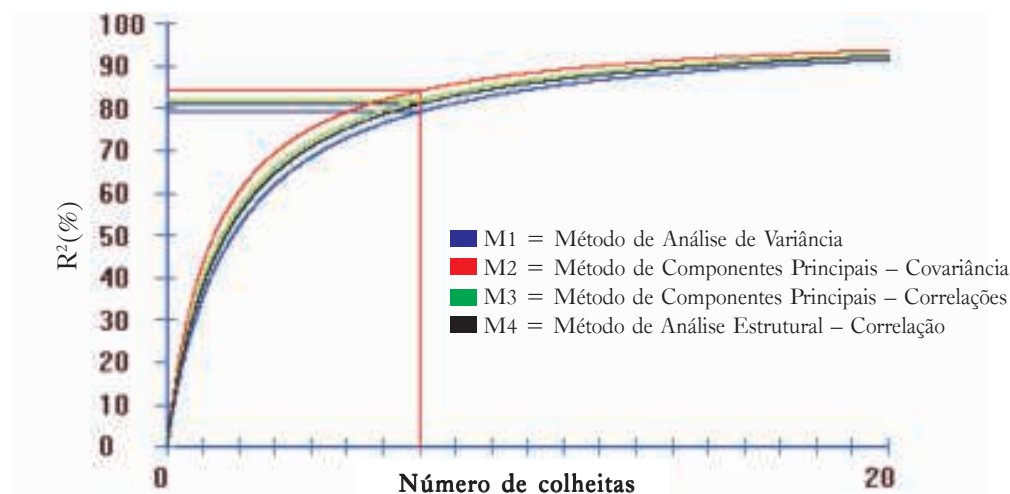


Figura 11. Gráfico ilustrativo da estimativa do coeficiente de determinação (R^2) em porcentagem, conforme o número de colheitas, por quatro métodos de estimação do coeficiente de repetibilidade da característica produtividade de café conilon, em Marilândia/ES.

5.4 DIVERGÊNCIA GENÉTICA

O sucesso de um programa de melhoramento de plantas reside na existência de variabilidade genética na população de trabalho. Os melhoristas têm recomendado, para a formação de populações-base, o intercruzamento entre cultivares superiores e divergentes.

Os estudos de divergência genética têm sido de grande importância em programas de melhoramento que incluam hibridações, por fornecer parâmetros para a identificação de genitores que, quando cruzados, possibilitem expressar maior efeito heterótico e maior probabilidade de recuperar genótipos superiores nas gerações segregantes. Também é de grande utilidade em estudos evolutivos de espécies, por gerar informações sobre os recursos genéticos disponíveis, bem como auxiliar na

localização e no intercâmbio de materiais genéticos (FALCONER, 1981; DIAS; KAGEYAMA, 1998; CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

A divergência genética tem sido avaliada por meio de técnicas biométricas baseadas na quantificação da heterose ou por processos preditivos. Dentre os métodos fundamentados em modelos biométricos que destinam à avaliação da divergência dos genitores, citam-se as análises dialéticas, que informam tanto a capacidade específica de combinação quanto a heterose manifestada nos híbridos. Os métodos preditivos da divergência entre genitores, por dispensarem a obtenção prévia das combinações híbridas, têm merecido considerável ênfase. Os preditivos têm por base as diferenças agrônomicas morfológicas e fisiológicas moleculares para determinar a divergência dos genitores, que geralmente é quantificada por uma medida de similaridade ou dissimilaridade. A inferência com base na diversidade ecogeográfica também é exemplo de método preditivo da heterose (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

A análise estatística multivariada tem sido amplamente utilizada para quantificar a divergência genética. Tendo-se em mãos um banco de dados envolvendo diferentes variáveis de interesse para a espécie em estudo, provenientes de experimentos, é possível integrar as múltiplas informações e escolher os genitores mais divergentes e que terão maior probabilidade de promover resultados superiores em um programa de melhoramento.

No estudo de divergência genética, vários métodos multivariados podem ser aplicados. Dentre eles, cita-se a análise por componentes principais, variáveis canônicas e métodos aglomerativos. Os métodos aglomerativos diferem dos demais por dependerem fundamentalmente de medidas de dissimilaridade estimadas previamente pela distância Euclidiana ou por distância de Mahalanobis, dentre outras. Já no método dos componentes principais pela análise de variáveis canônicas, o objetivo é avaliar a dissimilaridade entre os indivíduos por intermédio de uma dispersão gráfica, em que se consideram em geral dois eixos cartesianos. A escolha do método mais adequado tem sido determinada pela precisão desejada pelo pesquisador, pela facilidade da análise e pela forma como os dados foram obtidos (CRUZ; VENCOVSKY; CARVALHO, 1994; CRUZ; CARNEIRO, 2003; CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

Para Cruz, Vencovsky e Carvalho (1994), das diferentes medidas de similaridade ou dissimilaridade que quantificam as distâncias entre duas populações, a distância euclidiana e a distância generalizada de Mahalanobis são as mais usadas. A primeira técnica é mais utilizada para caracterização de materiais genéticos mantidos em coleções de germoplasmas, sendo o banco de dados sem repetições. A utilização da distância generalizada de Mahalanobis é recomendada para dados provenientes de ensaios com delineamento experimental com repetição.

A estimação da divergência genética na cultura de *Coffea canephora* apresenta, essencialmente, duas importâncias: identificação de genitores com máxima divergência genética que poderão ser destinados a cruzamentos e identificação de genitores produtivos com máxima similaridade que, ao serem propagados vegetativamente, poderão ser agrupados, resultando, assim, em populações ou variedades sintéticas, uniformes e de alto rendimento.

A biotecnologia, por intermédio do uso de marcadores moleculares, tem sido muito utilizada nos estudos de divergência genética de materiais existentes em bancos ativos de germoplasmas, e também em “acessos” que encontram-se na forma silvestre em ambientes naturais. Com esses estudos,

é possível caracterizar os materiais genéticos quanto à sua dissimilaridade ou similaridade genética, identificar “acessos” repetidos e também atender às solicitações de fitomelhoristas para envios de germoplasmas, de acordo com as suas necessidades (LASHERMES et al., 1993).

Como exemplos de pesquisas sobre identificação da diversidade genética no gênero *Coffea* em *Coffea canephora* com a utilização de marcadores moleculares, pode-se citar as dos seguintes autores: 1) Lashermes et al. (1999), que estudaram a diversidade genética de germoplasmas africanos agrupando as espécies em diferentes regiões da África; 2) Ruas et al. (1999) analisaram a diversidade genética da coleção de germoplasma do Iapar, envolvendo as variedades de *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, sendo verificada similaridade entre espécies, variando de 0,58 a 0,84, e mostrando *Coffea arabica* uma associação de 0,76 com a variedade Robusta e 0,68 com a Kouilou, ambas de *Coffea canephora*, observando-se, assim, a possibilidade de se ter sucesso em programas de hibridações interespecíficas envolvendo as referidas espécies; 3) Teixeira et al. (1999), estudando os acessos do Banco Ativo de Germoplasma de café da UFV, verificaram variações em similaridade de 0 a 67% entre os materiais genéticos analisados, sendo que *Coffea arabica* e *Coffea canephora* mostraram considerável divergência genética; 4) Berthaud (1986) realizou a estimação da diversidade genética de uma coleção de mais de 1.000 “acessos” de *Coffea canephora* na Costa do Marfim, envolvendo materiais genéticos de diferentes países, e identificou dois grupos divergentes, o “Guineano”, da África Ocidental e o “Congolense”, da África Central. Observou que quando efetuavam-se os cruzamentos envolvendo clones descendentes desses grupos, ocorria uma significativa heterose, o que levou Leroy, Charmetant e Yapó (1991) a iniciarem um programa de melhoramento via seleção recorrente recíproca envolvendo os citados grupos.

Fonseca et al. (2003a) efetuaram análise de divergência genética de clones do programa de melhoramento genético de *Coffea canephora*, variedade Conilon, do Incaper, utilizando análises multivariadas. Na análise de agrupamento, foi usado o método de Tocher. Para dissimilaridade, utilizou-se a distância generalizada de Mahalanobis e a distância Euclidiana. Para dispersão gráfica, foi usada a análise das variáveis canônicas. Dessas análises, foram obtidos prioritariamente os seguintes resultados: pelo método de Tocher, houve a formação de três grupos de genótipos, sendo o primeiro deles subdividido em 10 subgrupos; definição de dez clones divergentes e com características de interesses, os quais foram selecionados para cruzamentos dialélicos; eleição dos clones ES 25 e ES 92, como os mais indicados para se obter híbridos heteróticos, considerando suas produtividades, divergências genéticas e características agrônômicas de interesses.

Em estudo de divergência genética, usando 40 genótipos de café Conilon em dois ambientes do Estado do Espírito Santo, Ferrão (2004) verificou, pela distância generalizada de Mahalanobis, dissimilaridades entre os genótipos de 1,28 a 211,70. O agrupamento de genótipos pela técnica de Tocher indicou que, em Sooretama, os genótipos foram distribuídos em 10 grupos, e, em Marilândia, em cinco grupos. Na análise de dispersão gráfica pela técnica de variáveis canônicas, foram identificados quatro genótipos mais divergentes no primeiro ambiente e sete no segundo ambiente. Na Figura 12 encontra-se o agrupamento de genótipos de café Conilon pelo método do vizinho mais próximo, obtido a partir da distância generalizada de Mahalanobis, estimada com base em 14 características.

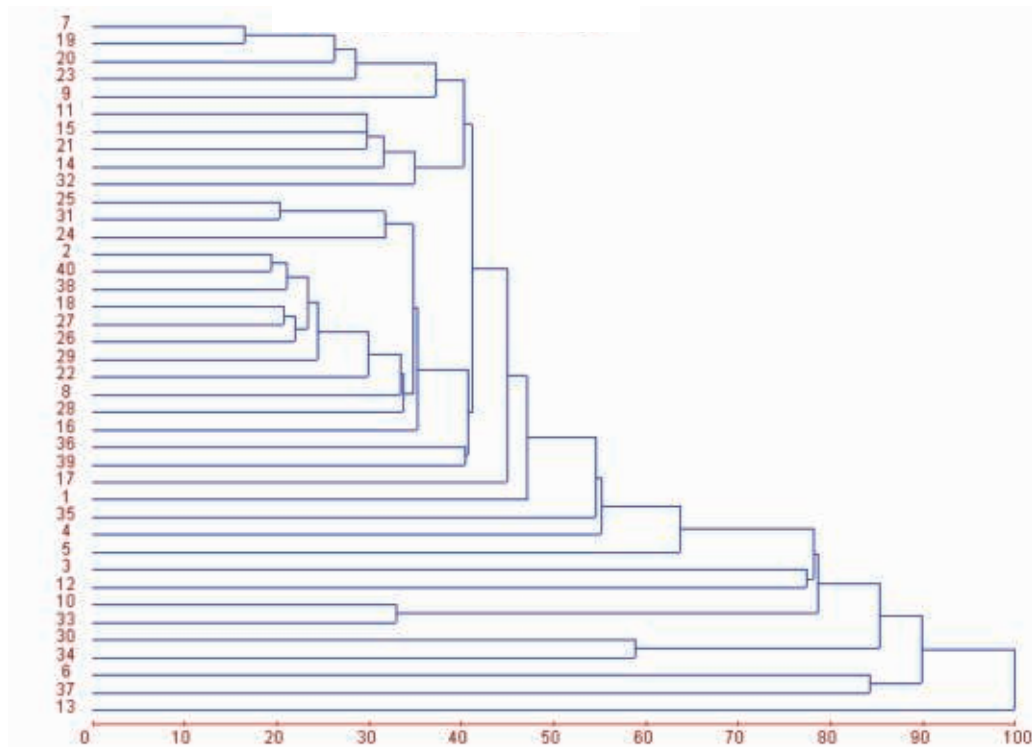


Figura 12. Dendrograma de agrupamento de genótipos de café conilon pelo método do vizinho mais próximo, obtido a partir da distância generalizada de Mahalanobis, estimada com base em 14 características, em Sooretama/ES.

5.5 SELEÇÃO SIMULTÂNEA DE CARACTERES

Para se obter materiais genéticos superiores que realmente se distingam dos demais, é necessário que o genótipo selecionado reúna, simultaneamente, uma série de atributos favoráveis, que lhes confira rendimento mais elevado e que apresentem outras características superiores, em comparação com os materiais genéticos até então cultivados.

Cruz e Carneiro (2003) expõem que a seleção com base em uma, ou em poucas características, tem se mostrado inadequada, por conduzir a um produto final superior apenas para essa característica e ao mesmo tempo inferior genotipicamente a outras também importantes, mas que não foram consideradas durante a prática seletiva daquela característica isolada.

Assim, uma maneira de aumentar a chance de êxito em um programa de melhoramento é por meio da seleção simultânea de um conjunto de características de importância principalmente econômica.

Para tal objetivo, a utilização de índice de seleção pode ser uma alternativa eficiente, pois permite combinar as múltiplas informações contidas na unidade experimental, de modo que seja possível a seleção com base em um complexo de variáveis que reúna vários atributos de interesse econômico. Desse modo, o índice de seleção simultânea constitui-se num procedimento adicional, estabelecido pela combinação linear ótima de várias características (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

A predição de ganhos genéticos oferece grande contribuição à genética quantitativa. Por meio das informações utilizando-se esse procedimento, é possível prever o sucesso do esquema seletivo adotado e com base científica, decidir quais as técnicas alternativas que possam ser mais eficazes.

Ganhos genéticos podem ocorrer de forma direta e indireta. Paula (1997) descreve que a seleção direta é uma estratégia utilizada pelo melhorista que está interessado em obter ganhos em um único caráter sobre o qual praticará a seleção. Esta é a forma mais fácil e prática de obter ganhos para uma única característica, sendo a resposta à seleção direta.

A seleção indireta é uma estratégia utilizada pelo melhorista que está, em princípio, interessado em obter ganhos em uma característica Y, quando a seleção é aplicada sobre uma outra característica X. Cruz e Carneiro (2003) relatam que a avaliação da magnitude da resposta correlacionada tem sido de grande interesse quando se deseja obter ganhos em características de grande importância, mas por questões de complexidade, dificuldade de identificação e/ou mensuração, a seleção é praticada em caracteres auxiliares. Entretanto, ressaltam que a seleção em certas características pode provocar alterações indesejáveis em outras, quando há correlações desfavoráveis entre as características alvo da seleção.

Ferreira et al. (2004) realizaram a predição de ganho genético utilizando 14 características fenotípicas avaliadas em 40 clones de café conilon, nos locais de Sooretama e Marilândia. Houve ganho em diferentes características, com destaque para predição de progresso genético na produtividade de grãos, que foi em Marilândia, de 22,69%, e em Sooretama de 25,41%.

5.6 ÍNDICE DE SELEÇÃO

O índice de seleção constitui-se numa técnica valiosa adicional do melhorista, na qual há uma combinação ótima de várias características, o que permite realizar com eficiência a seleção simultânea de características múltiplas.

Cruz, Regazzi e Carneiro (2004) argumentam que a utilização de índices como critérios de seleção proporciona resultados superiores quando comparados com a seleção direta. Por intermédio da utilização dessa técnica, é possível obter ganhos genéticos favoráveis e melhor distribuídos em diferentes características em estudo.

Cruz e Carneiro (2003) destacaram diferentes índices de seleção que são utilizados no melhoramento. Esses índices representam diferentes alternativas de seleção e, mesmo considerando um único tipo de índice, existem metodologias distintas com as quais se pode trabalhar os dados, utilizando-se de pesos econômicos, ganhos desejados ou grau de restrição imposta ao cálculo dos coeficientes dos índices. Assim, por meio desses processos de trabalhar com os dados, o melhorista pode identificar, de maneira rápida e eficiente, materiais genéticos mais adequados aos propósitos do melhoramento. Com os recursos computacionais existentes, a estimação de índices tornou-se operação simples, podendo-se, assim, recomendar a sua utilização como importante procedimento na busca de eficiência na seleção (CRUZ, 2001).

Os índices clássicos de seleção, de Smith (1936) e de Hazel (1943), e o Índice de Pesek e Baker (1969) são grandemente usados em programas de melhoramento de várias culturas.

Ferreira (2003) e Ferreira et al. (2005) usou o peso econômico do desvio-padrão genético (CV_g) e efetuou a predição de ganhos pelos índices de Smith (1936) e Hazel (1943) e Pesek e Baker (1969) em 14 características de plantas determinadas em 40 clones de café conilon, avaliados em dois locais, Sooretama e Marilândia/ES. Foram obtidos ganhos preditos equilibrados para as características estudadas, e 60% de coincidência dos clones selecionados nos dois locais.

5.7 INTERAÇÃO GENÓTIPO x AMBIENTE, ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE PRODUÇÃO

A performance de cultivares em diferentes ambientes é diferenciada, ou seja, uma cultivar com valor superior para uma característica em determinado ambiente nem sempre se mantém com essa mesma superioridade quando cultivada em outro ambiente. As respostas diferenciadas das cultivares com a variação do ambiente denomina-se interação genótipo x ambiente. Se essa interação for significativa indica que os efeitos genéticos e ambientais não são independentes, uma vez que as respostas fenotípicas dos genótipos estariam diferindo com as variações ambientais.

A existência de respostas diferenciadas de genótipos às variações ambientais tem sido freqüentemente constatada nas várias espécies de plantas cultivadas. Essa interação é um complicador na execução dos programas de melhoramento, pois influencia a obtenção de ganhos genéticos, onera e prolonga o tempo da pesquisa e dificulta a recomendação de cultivares para ambientes dissimilares.

Robertson (1959) classifica a interação genótipo x ambiente em interação simples e complexa. A primeira é ocasionada pela diferença de variabilidade entre os genótipos nos ambientes, de maneira que não há mudança na classificação dos genótipos na recomendação de cultivares. A segunda ocorre pela falta de correlação entre o desempenho dos genótipos, de modo que estes apresentam diferentes respostas às variações ambientais, causando alteração na sua classificação, considerando-se os diversos ambientes. A interação simples não traz complicações na recomendação de cultivares ou eleição de genótipos, já a complexa ocasiona problemas ao melhorista, conforme mencionado anteriormente, os melhores genótipos em um ambiente não são em geral em outros.

No planejamento do melhoramento genético, no que tange à escolha do(s) ambiente(s) do(s) experimento(s) ou campo(s) de seleção(es), o melhorista está sujeito a variações previsíveis e imprevisíveis, sendo as últimas as que têm causado dificuldades na seleção. As variações previsíveis são as devidas aos fatores permanentes do ambiente, como tipo de solo, comprimento dos dias, nível tecnológico utilizado, altitude, topografia, latitude e longitude, espaçamento, profundidade de plantio e presença ou ausência de irrigação. As variações imprevisíveis são aquelas de difícil controle pelo pesquisador, como os fatores climáticos envolvendo temperatura e encharcamento pelo excesso de chuvas (CHAVES, 2001). Os fatores imprevisíveis, também denominados temporais, são os que mais afetam os produtores, e, em geral, são menos priorizados no planejamento e execução do melhoramento.

Esforços de pesquisadores para estudarem as diferentes espécies têm sido concentrados na formulação de estratégias para contornar os problemas proporcionados pela interação genótipo x ambiente. Nos casos de ocorrência de interação significativa, recomenda-se, de maneira geral, efetuar estudos detalhados de estratificação ambiental (MORAIS, 1980) e de comportamento das cultivares por meio de análise de adaptabilidade e estabilidade e/ou desenvolvimento de cultivares de ampla adaptabilidade e estabilidade (EBERHART; RUSSELL, 1966). No caso de estratificação ambiental, procura-se identificar, entre os ambientes escolhidos, padrões de similaridade de resposta das cultivares, de tal maneira que seja possível avaliar o grau de representatividade dos ensaios na faixa de adaptação da cultura e tomar decisões quanto à inclusão de ambientes quando existirem problemas técnicos ou escassez de recursos.

Para os estudos de adaptabilidade e estabilidade utilizando as diferentes metodologias, é possível avaliar o genótipo em relação à melhoria de ambiente e a sua previsibilidade de comportamento, proporcionando, assim, informações sobre a sua adaptabilidade e estabilidade, respectivamente (CRUZ, 2001; CRUZ; CARNEIRO, 2003; CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

As análises de adaptabilidade e estabilidade fenotípica têm a finalidade de apoiar programas de melhoramento de plantas e se referem à avaliação da resposta diferencial dos genótipos à variação das condições de ambiente. Atualmente, há em torno de uma dezena de métodos para se avaliar a performance genotípica de cultivares. A diferenciação entre os métodos e a escolha de sua utilização estão em função do banco de dados disponível, do número de ambientes avaliados, do tipo de informação necessária e do detalhamento desejado da informação (CRUZ; CARNEIRO, 2003).

O conhecimento das interações genótipos x locais, genótipos x anos, genótipos x locais x anos, orienta o pesquisador no planejamento das pesquisas, no estabelecimento de estratégias para o melhoramento, na definição de local(is) para o melhoramento, além de ser determinante na avaliação da estabilidade fenotípica das cultivares, visando à sua recomendação para uma dada região.

Existem poucos estudos específicos da interação genótipo x ambiente para *Coffea canephora* (MONTAGNON et al., 2000). Alguns trabalhos preliminares têm mostrado ocorrer a interação entre variedades x local, na Costa do Marfim (CHARRIER; BERTHAUD, 1988; SNOECK, 1983). Holguin et al., (1993) e Montagnon et al. (1994) estudaram a interação entre genótipo x ambiente para ferrugem do cafeeiro e Charmetant e Leroy (1986), para tamanho do grão. Segundo Charrier e Berthaud (1988), a interação genótipo x ambiente para rendimento tem sido sempre significativa, o que mostra aos pesquisadores a necessidade de mistura de clones com fim de recomendação para determinadas regiões de Camarões e Costa do Marfim. Estudos realizados na Costa do Marfim confirmam a existência de interação genótipo x ambiente e, portanto, revelam sobre a necessidade de avaliar materiais genéticos em diferentes condições agroclimáticas.

Moschetto et al. (1996) avaliaram diferentes materiais genéticos de *Coffea canephora* e híbridos interespecíficos em diferentes ambientes, épocas de colheitas e tipos de processamento de grãos, visando verificar a interferência dessas variáveis na qualidade da bebida. Verificou-se melhor qualidade da bebida do café no tratamento lavado em relação ao processado via seco, mas identificou-se variação desse comportamento entre genótipos. Os clones tiveram comportamentos mais uniformes quando processados por via úmida. Não houve diferença significativa de comportamento dos genótipos para ambientes e épocas de colheitas.

Montagnon et al., (2000) estudaram a interação genótipo x ambiente e adaptabilidade e estabilidade pelos métodos paramétricos de Wricke (1965), Eberhart e Russel (1966) e não paramétrico (NASSAR; HÜHN, 1987) para produção de grãos de *Coffea canephora*. O trabalho foi conduzido na Costa do Marfim, onde foram avaliados 16 clones em nove locais. Houve diferenças significativas de produção entre clones e locais e interação clones x locais. Os métodos usados mostraram complementaridade.

Ferrão et al. (2000f) estudaram a interação genótipos x ambientes, para produtividade, utilizando oito variedades experimentais de café Conilon, avaliadas por duas safras em quatro locais do Estado do Espírito Santo. Verificaram diferenças significativas entre variedades ($P < 0,05$) nos diferentes ambientes. Na análise conjunta envolvendo os oito ambientes, houve interações significativas ($P < 0,01$)

para as fontes de variação variedades (T), anos (A), locais (L), T x A, e A x L.

Posteriormente, Ferrão et al. (2003a), estudando o comportamento das mesmas variedades experimentais de café conilon para produtividade, avaliadas por quatro safras e em quatro locais no Estado do Espírito Santo pela análise de variância conjunta, verificaram diferenças significativas pelo teste F ($P < 0,01$) para locais (L), ano (A) e interações T x A, T x L, A x L e T x A x L. Na análise de adaptabilidade e estabilidade utilizando as metodologias de Eberhart e Russel (1966) e Cruz, Torres e Vencovsky (1989), os genótipos mostraram-se com adaptabilidade geral ($\beta_1=1$). Para a maioria dos genótipos, houve boa previsibilidade, indicada pelos elevados coeficientes de determinação ($R^2 > 80\%$) e desvio da regressão estaticamente igual a zero ($\sigma^2_d=0$). Não foi identificado o genótipo ideal que apresentasse todos os atributos, como média alta, resposta positiva à melhoria de ambiente ($\beta_{1i} < 1$, $\beta_{1i} + \beta_{2i} > 1$) e alta previsibilidade ($\sigma^2_d=0$). Houve uma boa concordância dos resultados com o uso das duas metodologias.

Ferrão (2004) e Ferrão et al. (2007) estudam a interação genótipo x ambiente e a adaptabilidade e estabilidade de produção em 40 genótipos de café conilon, avaliados por sete safras em dois locais do Espírito Santo, Marilândia e Sooretama. Foram observadas, pela análise de variância conjunta, diferenças significativas para genótipos (G), anos (A), G x L, A x L e G x A x L, o que indicou a existência de diferenças entre os materiais genéticos e o comportamento diferenciado deles em relação aos anos (safras), levando-se, assim, à necessidade, para efeito de recomendação, de avaliação dos materiais genéticos em mais de um local e em mais de uma safra e também à necessidade de trabalhos de adaptabilidade e estabilidade de produção. Nas quatro metodologias estudadas, Eberhart e Russel (1966), Cruz, Torres e Vencovsky (1989), Lin e Binns (1988) e Carneiro (1998), não foi identificado o genótipo ideal. Foram identificados seis genótipos com adaptação geral, dez com adaptabilidade para ambientes favoráveis e três com adaptabilidade para ambientes desfavoráveis. A maioria dos materiais genéticos apresentou baixa previsibilidade pelas duas primeiras metodologias, embora os coeficientes de determinação (R^2_i) estivessem pouco superiores a 80%.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Maior ênfase deve ser dada ao melhoramento genético de *Coffea canephora*, uma vez que é uma espécie de grande importância econômica e social no cenário brasileiro e mundial, e apresenta grande reserva gênica para ser explorada no melhoramento inter e intrapopulacional.

Resultados importantes têm sido obtidos no desenvolvimento de variedades oriundas da espécie *Coffea canephora*, para a melhoria das características relevantes, principalmente da produtividade. Porém, pela presença da reserva gênica, novos progressos podem ser continuamente alcançados para produtividade e outras características demandadas, como qualidade de grãos e da bebida, época de maturação de grãos, tamanho de grãos, tolerância à seca, doenças e pragas. Portanto, novas estratégias de melhoramento serão necessárias, envolvendo especialmente os métodos clássicos de melhoramento genético associados às técnicas e aos procedimentos de biotecnologia, com apoio das análises biométricas, para dar maior impulso e chance de sucesso em prazos mais curtos no alcance dessas metas.

O melhoramento via reprodução sexuada, conduzido em associação com as técnicas de reprodução assexuada, tem proporcionado bons ganhos genéticos e ajudado a proteger a espécie da vulnerabilidade

genética.

A utilização das cultivares melhoradas junto com outras práticas culturais e fitossanitárias tem ocasionado aumento significativo na produtividade dos plantios. Como registro, citam-se os trabalhos realizados pelo Incaper, no Estado do Espírito Santo, com a participação também de outros agentes de desenvolvimento regional ligados à cafeicultura, que, nos últimos doze anos, têm elevado o potencial produtivo das variedades plantadas de 60 para 120 sc benef./ha, quando cultivadas usando adequadamente as tecnologias recomendadas.

Há ainda necessidade de se intensificar estudos básicos relacionados à biometria e biotecnologia, como os de estimativas de parâmetros genéticos, divergência genética, repetibilidade, herdabilidade, e número de genes na expressão das características, correlações entre características, interação genótipo x ambiente e seleção assistida por marcadores moleculares, entre outros, objetivando-se capitalizar informações para um apropriado planejamento de programas pesquisa, a fim de justificar e continuar garantindo a alocação de recursos para o melhoramento de *Coffea canephora* e, conseqüentemente, permitir sustentabilidade na atividade.

7. REFERÊNCIAS

ABEYWARDENA, V. An application of principal component analysis in genetics. *Journal Genetics*, v. 61, n. 1, p. 27-51, 1972.

BARADAT, P.; LABBÉ, T; BOUVERT, J. M. Conception d'index pour la selection réciproque récurrent: aspects génétiques, statistiques et informatiques. In: CIRAD (Ed.). *Traitements statistiques des essais de sélection: stratégies d'amélioration des plantes pérennes. Actes du séminaire de biométrie et génétique quantitative*. CIRAD, Montpellier, p. 101-150, 1994.

BERTHAUD, J. L' incompatibilité chez *Coffea canephora*: méthode de test et déterminisme génétique, *Café Cacao Thé*, Nogest-sur-Marne, v. 24, p. 167-174, 1980.

BERTHAUD, J. Propositions pour une nouvelle stratégie d'amélioration des caféiers de l'espèce *C. canephora*, basée sur les résultats de l'analyse des populations silvestres. In: *11th Int Colloquium on Coffee ASIC*, Lomé (Togo), ASIC, Paris, France. 1986. p. 445-452.

BERTHAUD, J.; CHARRIER, A. Genetics resources of Coffea. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. (Eds.). *Coffee: Agronomy*. London: Elsevier Applied Science., 1988. p. 1-41.

BETTENCOURT, A. J. *Melhoramento genético do cafeeiro*: transferência de fatores de resistência a *H. Vastatrix* para os principais cultivares de *Coffea arabica*. 1981. 93f. Tese (Doutorado) – Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa 1981.

BETTENCOURT, A. J.; RODRIGUES JUNIOR C. J. Principles and practice of coffee breeding for resistance to rust and other diseases. In: CLARKE, J. S.; MACRAE, R. (Eds.). *Coffee: Agronomy*. London: Elsevier Applied Science, 1988, p. 199-234.

- BORÉM, A. *Melhoramento de plantas*. BORÉM, A. (Ed.). Viçosa, MG: UFV, 1997, 547 p.
- BOUHARMONT, P.; AWEMO, J. Création des centers de multiplication. La selection vegetative du caféir robust au Cameroun. *Café Cacao Thé*, v. XXIV, n. 1980.
- BOUHARMONT, P.; LOTODÉ, A.; AWEMO, J.; CATAING, X. La selection générative du caféier robusta ou Cameroun Analyse des resultants d'un essai d'hybrides diallele partiel implanté en 1973. *Café Cacao Thé*, v. 30, n. 2, p. 93-112, 1986.
- BRAGANÇA, S. M.; CARVALHO, C. H. S. de; FONSECA, A. F. A. da; FERRÃO, R. G.; SILVEIRA, J. S. M. 'EMCAPA 8111', 'EMCAPA 8121', 'EMCAPA 8131': Primeiras variedades clonais de café conilon lançadas para o Estado do Espírito Santo. Vitória, ES: Emcapa, 1993. 2 p. (Emcapa. Comunicado Técnico, 68).
- BRAGANÇA, S. M.; CARVALHO, C. H. S. de; FONSECA, A. F. A. da; FERRÃO, R. G. 'EMCAPA 8111', 'EMCAPA 8121', 'EMCAPA 8131': Variedades clonais de café conilon para o Estado do Espírito Santo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 36, n. 5, p. 765-770, 2001.
- CAPOT, J. La production de boutures de clones sélectionnés de cafeirs Canephora. *Café Cacao Thé*, v. 10, n. 3, p. 219-227, 1966.
- CAPOT, J. L'amélioration du caféier robusta em Côte d'Ivoire. *Café Cacao Thé*, v. 21, n. 4, p. 233-242, 1977.
- CARNEIRO, P. C. S. *Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento*. 1998, 168 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.
- CARVALHO, A.; MEDINA FILHO, H. P.; FAZUOLI, L. C. Evolução e melhoramento do cafeeiro. COLÓQUIO SOBRE CITOGENÉTICA E EVOLUÇÃO DE PLANTAS, 1984, Piracicaba. *Anais...*, Piracicaba, SP: Sociedade Brasileira de Genética, p. 215-234, 1984.
- CARVALHO, A. Principles and practice of coffee plant breeding for productivity and quality factors *Coffea arabica*. In: CLARKE, R. J.; MACRAE R. (Eds.). *Coffee: Agronomy*. London: Elsevier Applied Science, 1988. p. 129-165.
- CARVALHO, A. Principles na methods and methods coffee plant breeding. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. (Eds.). *Coffee: Agronomy*. Essex, Englande: Elsevier Applied Sc. 1988. p. 167-197.
- CARVALHO, A.; MEDINA FILHO, H. P.; FAZUOLI, L. C.; GUERREIRO FILHO, O.; LIMA, M. M. A. Aspectos genéticos do cafeeiro. *Revista Brasileira de Genética*, Ribeirão Preto. v. 14, n. 1, p. 135-183, 1991.

CHARMETANT, P.; LEROY, T. Etude de l'influence de différents facteurs agonomiques et génétiques sur la granulométrie du caféier Robusta. In: *XI^e Colloque scientifique international sur le café*, Lomé, Togo, 1985, Paris, France, ASIC, 1986. p. 489-494.

CHARRIER, A.; BERTHAUD, J. Botanical classification of coffee. In: CLIFFORD, M. N.; WILLSON, K. C. (Eds.). *Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage*. London: Croom Helm: Westport, Conn. 1985. p.13-47.

CHARRIER, A.; BERTHAUD, J. Principles and methods in coffee plant breeding: *coffea canephora* Pierre. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. (Ed.). *Coffee: Agronomy*, London: Elsevier Applied Science. 1988, p. 167-197.

CHAVES, L. J. Interação de genótipo com ambiente. In: NASS, L. L.; VELOIS, A. C. A. C.; MELO, I. S. de; VALADARES-INGLIS, M.C. (Eds.). *Recursos genéticos e melhoramento de plantas*. Rondonópolis, MT: Fundação MT, 2001. 1.183 p.

CLARKE, R. J. Green coffee processing. In: CLIFFORD, M. N.; WILLSON, K. C. (Eds.) *Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage*. London: Croom Helm, Westport, Conn, 1985. p. 230-250.

CLIFFORD, M. N. Chemical and physical aspects of green coffee and coffee products. In: CLIFFORD, M. N.; WILLSON, K. C. (Eds.). *Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage*. London: Croom Helm, Westport, Conn, 1985 p. 305-374.

COMSTOCK, R. E.; ROBINSON, H. F.; HARVEY, P. H. A breeding procedure designed to make maximum use of both general and specific combining ability. *Agronomy Journal*, 41: 360-367, 1949.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. *Cafés do Brasil*. Safra 2006/2007. Brasília, MAPA – SPC/CONAB, 2006.

CONAGIN, C. H. T.; MENDES, A. J. T. Pesquisas citológicas e genéticas em três espécies de *Coffea*: auto-incompatibilidade em *Coffea canephora*. *Bragântia*, Campinas, v. 20, n. 34, p. 787-804. 1961.

COSTE, R. *Le caféier*. Moissonneuve e Larose, Paris, France, 1968.

CREMER, P. J. S. *Review of literature on coffee research in Indonesia*, SIC Editorial, International American Institute of Agricultural Science, Turrialba, Costa, Rica, 1957.

CRUZ, C. D.; TORRES, R. A. de.; VENCOVSKY, R. An alternative approach the stability analysis proposed by Silva and Barreto. *Revista Brasileira de Genética*, v. 12, p. 567-580, 1989.

CRUZ, C. D.; VENCOVSKY, R.; CARVALHO, S. P. de. Estudos sobre divergência genética. III. Comparação de técnicas multivariadas. *Revista Ceres*, v. 41, n. 234, p. 191-201. 1994.

- CRUZ, C. D. *Programa Genes: versão Windows; aplicativo computacional em genética e estatística*. Viçosa, MG: UFV, 2001. 648 p.
- CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento de plantas*. Viçosa, MG: UFV, v. 2. 2003. 585 p.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. D.; CARNEIRO, P. C. S. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2004. v. 1, 480 p.
- DEVREUX, M.; VALLAYES, G.; POCHER, P.; EBERHART, S. A.; RUSSEL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6: 36-40, 1959.
- DIAS, L. A. S.; KAGEYAMA, P. Y. Repeatability and minimum harvest period of cacao (*Theobroma cacao* L.) in southern Bahia. *Euphytica*, v. 102, p. 29-35, 1998.
- DIAS, L. A. S.; RESENDE, M. D. V. de. Estratégias e métodos de seleção. In: DIAS, L. A. J. (Ed.). *Melhoramento genético do cacaueiro*. Viçosa, MG: FUNAPE, UFG, p. 218-287, 2001.
- DUBLIN, P. L'amelioration du caféier Robusa en République Centrafrucaine: des années de selection clonale. *Café Cacao Thé*, v. 11, n. 2, p. 101-138, 1967.
- EBERHART, S. A.; RUSSEL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6: 36-40, 1966.
- FALCONER, D. S. *Introdução à genética quantitativa*. Tradução José Carlos Silva e Martinho de Almeida e Silva. Viçosa, MG: UFV, 1981. 279 p.
- FAZUOLI, L. C. Genética e melhoramento do cafeeiro. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, J. (Eds.). *Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: POTAFOS, 1986. p. 88-113.
- FAZUOLI, L. C.; MEDINA, FILHO, H. P.; GUERREIRO FILHO, O.; LIMA, M. M. A.; SILVAROLLA, M. B.; GALO, P. B.; COSTA, W. M. Obatã (IAC 1669-20) e Tupi (IAC 1669-330) cultivares de café de porte baixo e resistentes a ferrugem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 22., 1996, Águas de Lindóia, SP *Anais...* Rio de Janeiro: MAA/Decafé, 1996, p. 149.
- FAZUOLI, L. C.; MEDINA FILHO, H. P.; GONÇALVES, W.; GUEREIRO FILHO, O.; SILVAROLLA, M. B. Melhoramento do cafeeiro: variedades tipo arábica obtidas no Instituto Agrônômico de Campinas. In: ZAMBOLIN, L. (Org.). *O estado da arte de tecnologias na produção de café*. Viçosa, MG: UFV, Departamento de fitopatologia, 2002, p. 163-215.
- FEITOSA, L. T. *Carta agroclimática do Espírito Santo*. Vitória: Emcapa, 1986. 1 mapa color. Escala. 1:400.000.

FERRÃO, R. G. ; SILVEIRA, J. S. M.; FONSECA, A. F. A. da.; BRAGANÇA, S. M.; FERRÃO, M. A. G. 'Emcapa 8141' – Robustão capixaba: variedade clonal de café conilon tolerante à seca. Vitória, ES: Emcaper, 1999a. 10 p. (Emcaper. Comunicado Técnico, 98).

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. da.; FERRÃO, M. A. G. Programa de melhoramento genético de café robusta no Brasil. In: SIMPÓSIO DE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, 3., 1999, Lavras, MG. *Anais...* Lavras: UFLA, 1999b, p. 50-65.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. da.; SILVEIRA, J. S. M.; FERRÃO, M. A. G.; BRAGANÇA, S. M. 'Emcapa 8141' – Robustão Capixaba, variedade clonal de café conilon tolerante à seca, desenvolvida para o estado do Espírito Santo. *Revista Ceres*, Viçosa, MG: 47(273), p. 555-559, 2000a.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. da.; FERRÃO, M. A. G. Banco Ativo de Germoplasma de *Coffea canephora*, variedade conilon do Estado do Espírito Santo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000. Poços de Caldas, MG. *Resumos expandidos...* Brasília: Embrapa Café e MINASPLAN. 2000b, v. 1, p. 405-407.

FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A. da.; CECON, P. R.; CRUZ, C. D. Adaptabilidade e estabilidade de produção em variedades de café Conilon. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL. 3., 2003, Porto Seguro, BA. *Anais...* Brasília: Embrapa Café, 2003a, p. 213.

FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A. da. Comportamento e estimativas de parâmetros genéticos em clones de café conilon. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL. 3., 2003, Porto Seguro, BA. *Anais...* Brasília: Embrapa Café, 2003b, p. 230.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. da.; FERRÃO, M. A. G.; CARNEIRO, P. C. S.; CRUZ, C. D. Estimativa do coeficiente de repetibilidade por diferentes métodos em *Coffea canephora*. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL. 3., 2003, Porto Seguro, BA. *Anais...* Brasília: Embrapa Café, p. 236, 2003c.

FERRÃO, R. G. *Biometria aplicada ao melhoramento genético*. 2004b. 256 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. da.; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H.; VERDIN FILHO, A. C.; VOLPI, P. S.; MARQUES, E. M. G.; ZUCATELI, F. *Café Conilon: técnicas de produção com variedades melhoradas*. 3. ed. Vitória: Incaper, 2007, 60 p. (Incaper: Circular Técnica, 03-I).

FERREIRA, A. *Predição de ganhos por índices de seleção para o melhoramento genético de Coffea canephora var Conilon*. 2003. 137 f. Tese (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2003.

FERREIRA, A.; CECON, P. R.; CRUZ, C. D.; FERRÃO, R. G.; SILVA, M. F. da.; FONSECA, A. F. A. da.; FERRÃO, M. A. G. Prediction of selection gains in *Coffea canephora* base don factorial scores. *Crop breeding and applied biotechnology*. Londrina, PR: v. 4, n. 3, p. 298-304. 2004.

FERREIRA, A.; CECON, P. R.; CRUZ, C. D.; FERRÃO, R. G.; SILVA, M. F. da.; FONSECA, A. F. A. da.; FERRÃO, M. A. G. Seleção simultânea de *Coffea canephora* por meio da combinação de análises de fatores e índices de seleção. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília: v. 40, n. 12, p. 1189-1195, dez. 2005.

FERWERDA, F. P. Breeding of *Coffea canephora*. In: FERWERDA, F. P.; WIT, F. (Eds.). *Coffea: Coffea arabica L. and Coffea canephora Pierre ex Froehner*. Wageningen, The Netherlands: Agricultural University, 1969. p. 216-241. (Miscellaneous Papers, 4).

FONSECA, A. F. A. da. Propagação assexuada de *Coffea canephora* no Estado do Espírito Santo. In: PAIVA, L. C. (Ed.). WORKSHOP SOBRE AVANÇOS NA PROPAGAÇÃO DE PLANTAS LENHOSAS. 1996, Lavras, MG. *Proceedings...* Lavras: UFLA, p. 31-34, 1996.

FONSECA, A. F. A. da. *Análises biométricas em café conilon (Coffea canephora Pierre)*. 1999. 121 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 1999.

FONSECA, A. F. A. da.; FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; SANTOS, L. P., BRAGANÇA, S. M.; MARQUES, E. M. G. Melhoramento genético de *Coffea canephora* no Estado do Espírito Santo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória, ES. *Anais...* Brasília: Embrapa Café, 2002. p. 1379-1384.

FONSECA, A. F. A. da.; SEDIYAMA, T.; CRUZ, C. D.; SAKIYAMA, N. S.; FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; BRAGANÇA, S. M. Divergência genética em café conilon. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL. 3., 2003, Porto Seguro, BA. *Anais...* Brasília: Embrapa Café, p. 235, 2003a.

FONSECA, A. F. A. da.; SEDIYAMA, T.; FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; CRUZ, C. D.; SAKIYAMA, N. S. Correlações entre caracteres em café conilon. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL. 3., 2003, Porto Seguro, BA. *Anais...* Brasília: Embrapa Café, p. 232, 2003b.

FONSECA, A. F. A. da.; SEDIYAMA, T.; SAKIYAMA, N. S.; CRUZ, C. D.; FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G. Estimativa do coeficiente de repetibilidade em café Conilon. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL. 3., 2003, Porto Seguro, BA. *Anais...* Brasília: Embrapa Café, p. 214. 2003c.

FONSECA, A. F. A. da.; FERRÃO, M. A. G.; FERRÃO, R. G.; VERDIN FILHO, A. C.; VOLPI, P. S. ZUCATELI, F. *Conilon Vitória – Incaper 8142: variedade clonal de café Conilon*. Vitória, ES: Incaper, 2004a. 24 p. (Incaper. Documento, 127).

FONSECA, A. F. A. da.; SEDIYAMA, T.; CRUZ, C. D.; SAKIYAMA, N. S.; FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; BRAGANÇA, S. M. Repeatability and number of harveste required for selection in robusta coffea. *Crop breeding and applied biotechnology*. Londrina, PR: v. 4, n. 3, p. 325-329. 2004b.

HALLAUER, A. R. Recorrent selection in maize. *Advance in Agronomy*: p. 115-179. 1992.

HAZEL, L. N.; LUSH, J. L. The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics*, v. 39, p. 476-490, 1943.

HOLGUIN, F.; BIEYSSE, D.; ESKEs, A. B.; MULLER, R. A. Étude de la virulence et de l'agressivité d'isolats d' *Hemileia vastatrix* Berk. & Br. Collectés sur *Coffea canephora* et Catimor. In: XV^e COLLOQUE SCIENTIFIQUE INTERNATIONAL SUR LE CAFÉ, Montpellier, France, 1993, Paris, France, ASIC, 1, p. 281-292, 1993.

HULL, F. H. Recorrent selection and specific combining ability in corn. *Journal Americam Soc. Agron*, v. 37, p. 134-145. 1945.

LASHERMES, P.; SAWABE, E.; AZUMA, T.; UCHIDA, N.; YASUDA, T. Use of romdam amplified DNA markers to analyse variability and relationships of *Coffea* species. *Genetc. Recurces and Crop Evolution*, 40:91-99, 1993.

LASHERMES, P.; COUTURON, E.; CHARRIER, A. Doubled haploids of *Coffea canephora*: developmente, fertily and agronomic characteristics. *Euphytica*, 74: 149-157, 1994.

LASHERMES, P.; COUTURON, E.; MOREAU, N.; PAILARD, M.; LOAURN, J. Inheritance and gentic mapping of sef-incompatibility in *Coffea canephora* Pierre. *Theoretical and Applied Genetics*, v. 93, n. 3, p. 458-462, 1996.

LASHERMES, P.; COMBES, M. C.; TOPART, P.; ANTHONY, F. Genetic diversity and molecular mapping of coffee, In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE BIOTECNOLOGIA NA AGROINDÚSTRIA CAFEIRA. 2., 1999, Londrina, PR. *Anais...* Londrina: 1999 p. 121-123.

LE PIERRÈS, D. Influence des facteurs gégétiques sur le contrôle de la teneur en caféine du café. In: XII^e Colloque scientifique international sur le café, Montreux, Suisse, 1987, Paris, France, ASIC, p. 468-475, 1988.

LEROY, T.; CHARMETANT, P.; YAPO, A. Aplication de la sélection récurrent réciproque au caféier *Coffea canephora* Pierre: premiers résultats du programme réalisé en Côto d'Ivoire. *Café Cacao Thé*, v. 35, n. 2, p. 95-103. 1991.

LEROY, T.; PERRIOT, J. J.; ESKEs, A. B.; GUYOT, B.; MONTAGNON, C. Qualités technologiques et organoleptiques de quelques clones de *Coffea canephora* en Cote d'Ivoire. In: 14TH INTERNATIONAL SCIENTIFIC COLLOQUIUM ON COFFEE, ASIC, San Francisco: p. 483-443, 1992.

- LEROY, T.; MONTAGNON, C.; CHARRIER, A.; ESKES, A. B. Reciprocal recurrent selection applied to *Coffea canephora* Pierre. I. Characterization and evaluation of breeding populations and value of intergroup hybrids. *Euphytica*, 67: 113-125, 1993.
- LEROY, T.; MONTAGNON, C.; CILAS, C.; CHARRIER, A.; ESKES, A. B. Reciprocal recurrent selection applied to *Coffea canephora* Pierre. II. Estimation of genetic parameters. *Euphytica*, 71: 121-128, 1994.
- LEROY, T. MONTAGNON, C.; CILAS, C.; YAPO, A.; CHARMETANT, P.; ESKES, A. B. Reciprocal recurrent selection applied to *Coffea canephora* Pierre. III. Genetic gains and results of first cycle intergroup crosses. *Euphytica*, 95:347-354, 1997.
- LEWIS, D. Incompatibility in flowering plants. *Biol. Rev*, 24, p. 472-496, 1949.
- LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Canadian Journal of Plant Science*. Ottawa, v. 68, n. 3. p. 193-198, 1988.
- LOCKWOOD, G.; PANG, J. T. Y. Utilization of cocoa germplasm in breeding for yield. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CONSERVATION, CHARACTERIZATION AND UTILIZATION OF CACAO GENETIC RESOURCES IN THE 21 ST CENTURY, *Proceedings...* CRU/ The University of the West Indies, St Augustine, p. 198-214, 1993.
- MENDES, A J. T. *Duplicação do número de cromossomos em café, algodão e fumo, pela ação da colchicina*. Campinas, SP: IAC, 1939 (IAC, Boletim Técnico, 57).
- MONACO, L. C.; CARVALHO, A. Incompatibilidade em *Coffea recemosa*. *Ciência cultural*, 24: 150-151, 1972.
- MONACO, L. C.; CARVALHO, A. Coffee breeding for leaf rust resistance. *Colloque international sur la Chimie cafés*. Assis Hambourg, p. 437-445, 1975.
- MONTAGNON, C.; LEROY, L.; KÉBÉ, I.; ESKES, A. B. Importance de la rouille orangée et facteurs impliqués dans l'évaluation de la résistance au champ de *Coffea canephora* en Côte d'Ivoire. *Café Cacao Thé*, 38(2): 103-112, 1994.
- MONTAGNON, C. T.; GUYOT, B.; CILAS, C.; LEROY, T. Genetic parameters of several biochemical compounds from green coffee, *Coffea canephora*. *Plant Breeding*, v. 117, p. 576-578, 1998a.
- MONTAGNON, C.; LEROY, T.; ESKES, A. B. Varietal improvement of *Coffea canephora*: criteria and breeding methods. *Coffee, plantations, recherche, développement*, 1998b.
- MONTAGNON, C.; CILAS, C.; LEROY, T.; YAPO, A.; CHARMETANT, P. Genotype – location interactions for *Coffea canephora* yield in the Ivory Coast. *Agronomie*, v. 20, p. 101-109, 2000.

MORAIS, O. P. *Adaptabilidade, estabilidade de comportamento e correlações fenotípicas, genotípicas e de ambiente em variedades e linhagens de arroz (Oryza sativa, L.)*. 1980, 64 f. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1980.

MOSCHETTO, D.; MONTAGNON, C.; GUYOT, B.; PERRIOT, J. J.; LEROY, T.; ESKES, A. B. Studies on the effect of genotype on cut quality of *Coffea canephora*. *Trop. Sci.*, 36, p. 18-31, 1996.

NAMKOONG, G.; KANG, H. C.; BROUARD, J. S. *Tree breeding: principles and strategies*. Springer-Verlag, New York, 1998.

NASSAR, R.; HÜHN, M. Studies on estimations of phenotypic stability of significance for non parametric measures of phenotypic stability. *Biometrics*, v. 43, p. 45-53, 1987.

PAILLARD, M.; LASHERMES, P.; PÉTIARD, V. Construction of a molecular linkage map in coffee. *Theor Appl. Genet*, v. 93, p. 41-47. 1996.

PATERNIANI, E.; MIRANDA FILHO, J. B. Melhoramento de populações. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P (Eds.). *Melhoramento e produção de milho*. Campinas: Fundação Cargill, v. 2, p. 216-274, 1987.

PAULA, R. C. *Avaliação de diferentes critérios de seleção aplicados em melhoramento florestal*. 1997. 74 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1997.

PAULIN, D. Les méthodes de sélection du cacaoyer. In: CIRAD (Ed.). *Traitements statistiques des essais de sélection: stratégies d'amélioration des plantes pérennes. Actes du séminaire de biométrie et génétique quantitative*. CIRAD, Montpellier, p. 243-257, 1994.

PEREIRA, A. P.; MOURA, W. de M.; ZAMBOLIM, L.; SAKIYAMA, N. S.; CHAVES, G. M. Melhoramento genético do cafeeiro no Estado de Minas Gerais: cultivares lançados e em fase de obtenção. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). *O estado da arte de tecnologias na produção de café*. Viçosa, MG: UFV, Departamento de fitopatologia, 2002. cap. 7, p. 253-295.

PESEK, J.; BAKER, R. J. Desired improvement in relation to selected indices. *Can. J. Plant. Sci.*, v. 49, p. 803-804, 1969.

PIRES, J. L.; MONTEIRO, W. R.; PINTO, L. R. M.; FIGUEIRA, A.; YAMADA, M. N.; AHNERT, D. A proposal for caçoa breeding. In: INTERNATIONAL CACAO RESEARCH CONFERENCE, 12, 1999. *Proceedings...* Cocoa producer's Alliance, Lagos, p. 287-292. 1999.

RAMALHO, M. A. P. Emprego de seleção recorrente no melhoramento de essências florestais. In: *Workshop Métodos de Seleção*. CTGMF-SIF, Belo Horizonte: p. 1-18, 1994.

RAMALHO, M.; SANTOS, J. B. dos.; PINTO, C. B. *Genética na agropecuária*. Lavras, MG: Globo, 1990. 359 p.

RAMALHO, M. A. P.; GONÇALVES, F. M. A.; SOUZA SOBRINHO, F. Seleção recorrente no melhoramento do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, 3., 1999, Lavras, MG. *Anais...* Lavras: UFLA, p. 66-81, 1999.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. *Simpósio sobre fatores que afetam a produtividade do cafeeiro*. Poços de Caldas, MG, 1984.

RESENDE, M. D. V.; HIGA, A. R. Estratégias de melhoramento para eucaliptos visando a seleção de híbridos. *Boletim de Pesquisa Florestal*. 21:49-60, 1990.

RESENDE, M. D. V. Melhoramento de essenciais florestais. In: BORÉM, A. (Ed). *Melhoramento de espécies cultivadas*. Viçosa, MG: UFV, p. 589-647, 1999.

RESENDE, M. D. V. Melhoramento de espécies perenes. In: NASS, L. L.; VELOIS, A. C.; MELO, I. S. de; VALADARES-INGLIS, M. C. (Eds.). *Recursos genéticos e melhoramento de plantas*. Rondonópolis, MT: Fundação MT, 2001. 1183p.

ROBERTSON, A. *Experimental design on the measurement of heritabilities and genetic correlations – biometrical genetics*. New York: Pergamon Press, 1959. 186 p.

RUAS, P. M.; DINIS, L. E. C.; RUAS, C. E.; SERA, T. Variabilidade genética obtida por RAPD em espécies e híbridos de Coffea. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE BIOTECNOLOGIA NA AGROINDÚSTRIA CAFEIRA. 2., 1999, Londrina, PR. *Anais...* Londrina: p. 165-170, 1999.

SMITH, H. F. A discriminant function for plant selection. *Annals of engenies*, v. 7. p. 240-250, 1936.

SNOECK, J. Méthodologie des recherches sur la fertilization minérale du café Robusta en Côte d'Ivoire. I. Influence du matériel végétal. In: X COLLOQUE SCIENTIFIQUE INTERNATIONAL DU CAFÉ, Bahia, Brasil: ASIC Paris, p. 467-476, 1983.

SYBENGA, J. Genetics and cytology of coffee: a literature review. *Bibliographia genetica*, 19:217-316, 1960.

TEXEIRA, T. A.; ZAMBOLIM, L.; SAKIYAMA, N. S.; PEREIRA, A. A.; SILVA, D. G da. Padrão molecular de clones de cafeeiro diferenciadores de *Hemileia vastatrix* Berk. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE BIOTECNOLOGIA CAFEIRA, 3., 1999. Londrina, PR. *Anais...* Londrina, 1999. p. 141-143.



TURNER, H. N.; YOUNG, S. Y. *Quantitative genetics in sheep breeding*. Ithaca: Cornell University, 1969. 332 p.

VAN DER VOSSEN, H. A. M. Coffee selection and breeding. In: CLIFFORD, M. N.; WILSON, K. C. (Eds.). *Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage*. London: Croom Helm; Westport Conn. 1985 p. 48-96, 1985.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P (Eds.). *Melhoramento de milho*. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1987, p. 137-214.

VINCENT, J.C.; GUENOT, M. C.; PERRIOT, J. J.; GUELE, D.; HAHN, J. Influence de différents traitements technologiques sur les caractéristiques chimiques et organoleptiques des cafés Robusta et Arabusta. *8 th International Scientific Colloquium on Coffee*, ASIC, Abidjan, p. 271-283, 1977.

WRICKE, O. Über eine method zur erfassung der ökologischen streubreit in feldversuchen. *Z. Pflanzenzucht*, v. 47, n. 1, p. 92-96, 1965.