

EDUARDO MACHADO CRUZ

**SELEÇÃO DE FAMÍLIAS DE MILHO-PIPOCA AVALIADAS COM
TESTEMUNHAS INTERCALARES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2001

EDUARDO MACHADO CRUZ

**SELEÇÃO DE FAMÍLIAS DE MILHO-PIPOCA AVALIADAS COM
TESTEMUNHAS INTERCALARES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 14 de dezembro de 2001.

Prof. José Marcelo Soriano Viana
(Conselheiro)

Prof. Pedro Crescêncio Souza Carneiro
(Conselheiro)

Prof. Eduardo Rezende Galvão

Prof. José Ivo Ribeiro Júnior

Prof. Cosme Damião Cruz
(Orientador)

AGRADECIMENTO

À Cristiane Aparecida Marota Barbosa.

À minha família, por estar sempre comigo.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização deste curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelas bolsas de estudo concedidas.

Ao professor Cosme Damião Cruz, pela amizade, pela confiança, pelo incentivo, pela orientação e pela paciência.

Ao Centro Nacional de Pesquisas de Milho e Sorgo (CNPMS), da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), pelo auxílio na condução dos experimentos.

Aos professores de graduação e de pós-graduação, pelos ensinamentos transmitidos.

Aos pesquisadores Cleso Antônio Patto Pacheco e Elto Eugênio Gomes e Gama, pela amizade, pelo apoio e pelas informações sobre melhoramento de milho-pipoca.

Aos funcionários Sebastião, Vicente, Márcio e Antônio, do setor de genética, pela convivência, pela amizade e pela ajuda indispensável nos trabalhos de campo.

Aos amigos Ana Paula, André, Gisele, João Francisco, Samuel e Vander, pela amizade, pelo companheirismo e pelo incentivo.

Aos demais amigos e colegas da Universidade Federal de Viçosa, pela convivência.

À Black Isle Studios, pelo auxílio no alívio do estresse.

À 3 Corações, pelo café extra forte que foi de muita ajuda nas noites de estudos em grupo.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

EDUARDO MACHADO CRUZ, filho de José Carlos Cruz e Elva do Carmo Machado Cruz, nasceu em Belo Horizonte, Minas Gerais, em 25 de março de 1975.

Em 13 de agosto de 1999, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, em seguida o Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, na mesma Instituição.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	vii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Origem do Milho-Pipoca	3
2.2. Características do Milho-Pipoca.....	4
2.3. Parâmetros Genéticos	7
2.4. Correlação	9
2.5. Correção de Dados	12
2.6. Seleção Simultânea de Caracteres	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1. Avaliação de Famílias de Meios-Irmãos Obtidas da População de Pipoca “Branco” em Viçosa.....	17
3.2. Avaliação de Famílias de Meios-Irmãos Obtidas da População de Pipoca “Branco” em Sete Lagoas.....	18
3.3. Características Avaliadas.....	18
3.4. Correção dos Dados	19
3.5. Análises Estatísticas.....	21
3.6. Estimativa de Parâmetros Genéticos e Ambientais	24
3.7. Estudo de Correlação	26
3.8. Ganhos por Seleção	27
3.8.1. Seleção Direta e Indireta	27
3.8.2. Seleção Simultânea de Caracteres	29

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1. Análise de Variância.....	32
4.2. Ajuste de Médias em Função do Gradiente Ambiental	37
4.3. Parâmetros Genéticos e Ambientais	40
4.4. Correlações	43
4.5. Predição de Ganhos por Seleção.....	47
4.5.1. Ganho por Seleção Direta e Indireta em CE e PE.....	47
4.5.2. Seleção Simultânea Visual	52
4.5.3. Seleção Simultânea Visando Ganhos em Várias Caracte- rísticas	54
5. CONCLUSÕES	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

RESUMO

CRUZ, Eduardo M., M.S., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2001.
Seleção de famílias de milho-pipoca avaliadas com testemunhas intercalares. Orientador: Cosme Damião Cruz. Conselheiros: José Marcelo Soriano Viana e Pedro Crescêncio Souza Carneiro.

Este trabalho visou avaliar o desempenho de famílias de meios-irmãos de milho-pipoca branco, utilizando delineamento sem repetições com testemunhas intercalares. Dentro deste objetivo, deu-se ênfase principalmente à capacidade de expansão e produção, nas regiões de Viçosa e de Sete Lagoas, Minas Gerais. Outro objetivo foi estimar parâmetros genéticos e predição do ganho de seleção. Foram utilizadas famílias de meios-irmãos de milho-pipoca branco originárias do banco de germoplasma do Programa de Melhoramento de Milho do Setor de Genética, do Departamento de Biologia Geral da Universidade Federal de Viçosa. Os dados obtidos, por meio de ensaios de competição conduzidos em Viçosa e em Sete Lagoas, foram usados na estimação de parâmetros genéticos, como variância fenotípica média, variância fenotípica, variância genotípica, herdabilidade, coeficiente de variação genético e correlações, a fim de que fosse possível avaliar o potencial das famílias para o melhoramento. A seleção das famílias foi feita utilizando-se seleção direta e indireta, seleção simultânea visual

e índice de seleção, com o objetivo de obter ganhos na capacidade de expansão e na produtividade. Os ganhos preditos foram obtidos por dois métodos: um baseado no número de famílias selecionadas e o outro no diferencial de seleção. Neste trabalho, observou-se que a capacidade de expansão apresentou variabilidade significativa a 7,76%, podendo, portanto, ser aumentada. A seleção para aumento na capacidade de expansão também poderá proporcionar aumento no peso de espiga, que é outra característica de grande importância, já que é ligada diretamente à produtividade; para isso, foi empregado o índice de seleção.

ABSTRACT

CRUZ, Eduardo M., M.S. Universidade Federal de Viçosa, December, 2001.
Selection of popcorn evaluated with intercalary controls. Adviser: Cosme
Damião Cruz. Committee Members: José Marcelo Soriano Viana and Pedro
Crescêncio Souza Carneiro.

This work aimed to evaluate the performance of half-sibling families of “white popcorn”, using a design without repetitions with intercalary controls. Emphasis was given to increasing popping expansion and production in the regions of Viçosa and Sete Lagoas, Minas Gerais. Another objective was to estimate the genetic parameters and selection gain prediction. Half-sibling white popcorn families were used, originated from a germplasm bank of the Maize Breeding Program, Genetics Sector of the Department of General Biology of the Federal University of Viçosa. The data, obtained by means of competition assays conducted in Viçosa and Sete Lagoas, were used to estimate genetic parameters – such as medium genotypic variance, phenotypic variance, genotypic variance, heritability, genetic variation coefficient and correlations – to evaluate the families’ potential for improvement. Family selection was performed by using direct and indirect selection, visual simultaneous selection and selection index to obtain added popping expansion and productivity. The predicted gains were

obtained through two methods: the first was based on the number of families selected and the second on selection differential. Popping expansion capacity was found to present a significant variability at 7.76%, thus, possible of being increased. The selection aiming to popping expansion volume increase can also provide corn ear weight increase, which is another very important characteristic, since it is directly associated to productivity. The selection index was applied for this purpose.

1. INTRODUÇÃO

A história de domesticação do milho confunde-se com o próprio surgimento da agricultura. Desde épocas pré-colombianas o milho já vinha sendo plantado em uma faixa de terra que ia desde o sul do Canadá até a parte central do Chile (GOODMAN, 1987). Apesar de poder ter havido algum contato dos Europeus com as Américas, possivelmente a introdução do milho no Velho Mundo se deve a Colombo (GOODMAN, 1987).

O milho-pipoca caracteriza-se por apresentar sementes duras e pequenas, que, sob ação do calor, "estouram", originando a pipoca. A capacidade que o milho-pipoca tem de "estourar" é explicada pela presença de óleo e umidade, os quais, sob aquecimento à temperatura apropriada, exercem pressão sobre o pericarpo até que este se rompe, expondo o endosperma.

Muito ligado à tradição popular, o milho desperta hoje a atenção dos melhoristas, visando o desenvolvimento de variedades que atendam às exigências de qualidade por parte do mercado consumidor.

No melhoramento do milho-pipoca, além da produtividade, é levada em consideração a qualidade da pipoca produzida, que afeta diretamente o valor comercial do produto. Alguns parâmetros de qualidade, como maciez e volume de pipoca expandida ou capacidade de expansão (CE), que normalmente não são considerados no melhoramento do milho comum assumem importância considerável no melhoramento do milho-pipoca.

Um fator de grande importância no melhoramento, não só no milho-pipoca como também em outras culturas, é a disponibilidade de recursos e a

quantidade de materiais a serem analisados. O pesquisador pode dispor de número muito grande de materiais a serem avaliados ou número insuficiente de sementes para montar um delineamento experimental com número adequado de repetições. Além disso, pode haver outros tipos de restrições, como limitação de mão-de-obra, de recursos financeiros, de locais para plantio, entre outras. Assim, faz-se necessária a utilização de delineamentos apropriados na avaliação, que contornem esses problemas.

Um dos métodos que permitem a estimação das variações ambientais, na avaliação de famílias com número reduzido de sementes, é a utilização de testemunhas intercalares. Neste método, cada uma das famílias ou linhagens é representada uma única vez, enquanto se repetem apenas as testemunhas.

As análises referentes às famílias são feitas apenas com base nas informações individuais, recorrendo-se aos dados obtidos com as testemunhas para realizar análises de variância mais apuradas.

Este trabalho teve como objetivos:

- Avaliar o desempenho de famílias de meios-irmãos de milho-pipoca branco, quanto à produtividade e capacidade de expansão, na região de Viçosa (campo experimental da Genética) e de Sete Lagoas (campo experimental da EMBRAPA/CNPMS), em Minas Gerais, utilizando testemunhas intercalares.
- Estimar parâmetros genéticos para o estabelecimento de estratégias eficazes de melhoramento e predição de êxito do programa.
- Identificar famílias com potencial para serem recombinadas, visando a formação de uma população melhorada.
- Estimar os ganhos de seleção, pelos métodos baseados na intensidade de seleção e diferencial de seleção, que seriam obtidos a partir das recombinações das famílias selecionadas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Origem do Milho-Pipoca

O milho-pipoca, assim como os outros tipos de milho, pertence à espécie botânica *Zea mays* L.; sendo a capacidade de expansão, ou a capacidade de formar pipoca, a diferença entre este tipo de milho e os outros (ZINSLY e MACHADO, 1978).

A origem geográfica do milho apresenta divergência de opiniões. Para aqueles que consideram o teosinto como o seu mais próximo ancestral ou como um dos ancestrais, o México e a América Central, onde o teosinto cresce, são considerados o centro geográfico de origem (MANGELSDORF, 1974). GOODMAN (1978, 1987) defende posição semelhante, afirmando que o provável centro de origem do milho é o México ou a Guatemala.

Para GALINAT (1977), das hipóteses levantadas até então sobre a origem do milho, apenas três eram aceitáveis. A primeira é a de que o teosinto atual é o ancestral do milho. A outra hipótese é a de que um teosinto selvagem primitivo seria o antepassado comum tanto do milho quanto do teosinto atual. A última diz que uma forma extinta de milho tunicado foi o ancestral do milho e o teosinto surgiu como uma mutação deste milho tunicado.

O mais primitivo exemplar de milho descoberto foi relatado por MANGELSDORF e SMITH JR. (1949). Este milho era do tipo pipoca e estima-se que seja datado de 2.500 a.C.; sendo encontrado no sítio arqueológico de Bat Cave, Novo México.

Segundo ERWIN (1949), o milho-pipoca originou-se recentemente como uma mutação do milho “Flint”, mas essa hipótese não é provável, pelo fato de que a capacidade de expansão é um caráter poligênico.

2.2. Características do Milho-Pipoca

Quando comparado com o milho comum, o milho-pipoca é mais precoce e prolífico (pode dar até seis ou mais espigas/planta), tem plantas mais baixas, com mais folhas e colmos delicados (ZINSLY e MACHADO, 1978), cresce mais lentamente, produzindo espigas menores, e possui maior suscetibilidade ao acamamento, a pragas e doenças, menor produtividade e maior produção de pólen (ZIEGLER e ASHMAN, 1994).

O tamanho (de 0,5 a 1,0 cm), a forma (redonda, chata, pontuda) e a cor (branca, rosa, creme, vermelha, preta, roxa, azul, amarela) dos grãos possuem grande variabilidade, sendo os redondos e os amarelos os preferidos pelo consumidor (ZINSLY e MACHADO, 1978; SAWAZAKI, 1996). Nos EUA, segundo ZIEGLER e ASHMAN (1994), existem duas formas de grãos comerciais: alongado, lembrando o arroz, ou redondo, do tipo pérola.

Para o consumo doméstico, os grãos são geralmente pequenos (76 a 105 grãos em 10 g) e amarelos e a pipoca é do tipo borboleta, com flocos de formatos irregulares com asas para todos os lados, sendo esta a mais macia. O comércio de pipoca, fresca ou embalada, prefere os grãos maiores (52 a 67 grãos em 10 g), porque atraem os consumidores, e com flocos do tipo cogumelo, de formato arredondado, com pouca asa, que são mais resistentes a quebras durante o preparo e empacotamento (ZIEGLER e ASHMAN, 1994).

O endosperma é quase totalmente formado por amido duro (BANDEL, 1987), sendo esse tipo de amido um dos caracteres que permitem o pipocamento (ROBBINS JR. e ASHMAN, 1984).

Capacidade de expansão é a capacidade de formar pipoca, sendo essa característica a que atrai os consumidores, levando-os a escolher entre uma ou outra marca. A medida mais usada para avaliar a capacidade de expandir e a qualidade do milho-pipoca é a capacidade de expansão (CE) ou índice de CE (ICE), razão entre o volume de pipoca e o volume dos respectivos grãos (PACHECO et al., 1996), sendo por isso adimensional. Nos EUA, a capacidade de expansão é medida pela razão entre o volume da pipoca e o peso dos grãos (DOFING et al., 1990, 1991), sendo expressa em cm^3/g . Os valores da CE medida em volume/volume são ligeiramente inferiores aos medidos em cm^3/g .

Por ser a capacidade de expansão um caráter relativamente fácil de se medir e por estar relacionado com a maciez, que é de avaliação subjetiva, prefere-se na avaliação da qualidade da pipoca a quantificação da CE (ANDRADE, 1996). Quanto maior o valor da CE, maior o valor comercial da variedade. As variedades não-melhoradas têm ICE entre 8 e 12, sendo 15 o valor mínimo para a comercialização (ZINSLY e MACHADO, 1987). Nos EUA, os melhoristas de milho-pipoca conseguiram $30 \text{ cm}^3/\text{g}$ de ICE em 1947, tendo chegado a $44 \text{ cm}^3/\text{g}$ em 1982 (SAWAZAKI, 1996). O valor mínimo de ICE em híbridos comerciais americanos dos anos 90 é de $40 \text{ cm}^3/\text{g}$ (ZIEGLER e ASHMAN, 1994).

Segundo ZIEGLER e ASHMAN (1994), qualquer rachadura na superfície do pericarpo pode diminuir o valor da CE. Por esse motivo, a colheita do milho-pipoca exige maiores cuidados que a do milho comum, tanto nas parcelas de ensaios de programas de melhoramento quanto nos campos comerciais. Usando colheitadeiras, a colheita deve ser feita quando a umidade do grão estiver entre 16 e 18%, o que acarreta menores danos. Com apanhadoras mecânicas de espigas, pode-se colher com o grão a 25% de umidade, deixando-as secar lentamente em seguida. A colheita manual permite menos rigidez no valor da umidade no momento de colher. Em qualquer dos casos, quando o grão atingir umidade relativa de 14% na espiga, deverá ser debulhado, limpo e embalado hermeticamente, para garantir a melhor qualidade da CE comercial. O tratamento de pipoca recém-colhida é recomendado por ZIEGLER e ASHMAN (1994), antes da avaliação da CE, para reduzir as causas da sua variação. Os grãos colhidos

com umidade entre 15 e 25% são secos à umidade ótima de 13,5 a 14%, de preferência mantendo-os na espiga durante pelo menos quatro a seis semanas. A secagem na espiga fornece valores de CE ligeiramente superiores aos dos grãos secos e armazenados em embalagens herméticas; provavelmente isso ocorra em razão do menor dano no pericarpo por ocasião da debulha, devido à menor umidade deste.

O trabalho de WHITE et al. (1980) teve como objetivos estudar a relação entre a CE e o teor de umidade dos grãos, considerando amostras colhidas com elevado teor e depois secas e amostras secadas até teor abaixo do ideal e depois reidratadas. Os resultados obtidos nesse trabalho indicaram que grãos colhidos com elevado teor de umidade devem ser secados até teor abaixo de 14%, mas acima de 11%, antes de se avaliar a CE. Os maiores valores de CE foram em torno de 40 cm³/g. Amostras secadas até 11% e depois reidratadas só apresentaram redução no valor de CE quando o teor de umidade aproximou-se de 16%. Estas amostras, com os maiores valores em torno de 35, apresentaram CE inferior ao material não-reidratado, o que foi atribuído a fraturas no endosperma. Em um segundo experimento, visando estudar a influência do teor de umidade inicial da amostra e da temperatura de secagem sobre a CE, esses autores verificaram que, quanto maior o teor de umidade inicial dos grãos e maior a temperatura de secagem usada para reduzir o teor a 13%, menor o valor de CE. Em um terceiro experimento, observaram que secagem e armazenamento rápidos produzem fraturas no endosperma. Também verificou que secagem lenta em condições de ambiente pode reduzir a porcentagem de fraturas no endosperma a valores inferiores a 10%.

O milho-pipoca pode ser preparado do modo tradicional, aquecido em uma panela com uma colher de sopa de óleo ou manteiga por cada xícara de chá de grãos (ZINSLY e MACHADO, 1978), bem como em pipocadoras de ar ou óleo quente ou em fornos de microondas. Esses novos eletrodomésticos obrigam os melhoristas a criar variedades com características físico-químicas, gustativas e calóricas adequadas para se obter a melhor pipoca com cada uma dessas tecnologias (ZIEGLER e ASHMAN, 1994).

A CE é tão importante na avaliação do milho-pipoca que, em trabalhos para a escolha de métodos de irrigação e de quantidades ideais de água, é levada em consideração (STEELE et al., 1997). As adubações nitrogenadas não aumentam a CE, embora aumentem o teor de proteína. Por esse motivo, ZIEGLER e ASHMAN (1994) consideram possível o aumento da qualidade nutricional da pipoca sem que haja perda de CE.

2.3. Parâmetros Genéticos

O trabalho de melhoramento exige do melhorista contínua avaliação do material genético que está sendo gerado. Com isso, são utilizados diversos delineamentos experimentais para avaliar características quantitativas, a fim de que sejam feitas comparações entre famílias segregantes ou linhagens já melhoradas (GOMES, 1985).

O objetivo de um programa de melhoramento de milho-pipoca é, geralmente, aumentar a qualidade da pipoca e, simultaneamente, a produção de grãos, vindo em seguida as melhorias na resistência a doenças e pragas e no tamanho da espiga e do grão. Nos EUA, os caracteres agronômicos sobre os quais incide maior esforço dos melhoristas, segundo ZIEGLER e ASHMAN (1994), são a não-diminuição do estande, o aumento da prolificidade e a redução da altura de inserção das espigas. O melhoramento do estande é considerado importante porque reduz as perdas de rendimento, uniformiza a secagem do grão e facilita a colheita, reduzindo os danos das colheitadeiras.

BRUNSON (1931) confirma a existência de correlação positiva entre CE e maciez. Segundo esse autor, alta CE é observada em grãos com endosperma denso e elástico. Também é relatado que a seleção para alta CE tende a produzir aumento no grau de resistência das populações às doenças. Nesse trabalho são discutidas estratégias de melhoramento de milho-pipoca, como seleção massal, seleção espiga por fileira e produção de híbridos. Brunson informa que os testes de avaliação de CE devem ser feitos com grãos com cerca de 14% de umidade em amostras de 25 cm³ de grãos. É relatado pelo autor que houve ganhos significativos quanto à CE durante seis anos, utilizando-se apenas seleção massal. A CE

de uma população aumentou de 19 para 26, provavelmente em cm^3/g . Infelizmente, os ganhos posteriores foram irrelevantes. O autor ressalta ainda que é possível selecionar para maior CE a partir da observação da quantidade de amido branco e macio no centro do grão. Em trabalho anterior, verificou-se correlação de $-0,6$ entre essas duas características. Portanto, grãos com menor quantidade de amido branco no centro tendem a apresentar maior CE.

Com base em seus trabalhos, BRUNSON (1937) informa que a perda de vigor em decorrência de endogamia é menor no milho-pipoca, comparativamente ao milho normal, mas ainda recomendando cruzar linhagens derivadas de diferentes populações. O autor discute a importância de se proceder ao melhoramento das populações para resistência às doenças e pragas. Outra preocupação é a alteração no sabor da pipoca em decorrência da presença de fungos. Embora desconhecendo programas específicos de melhoramento para resistência, ele verificou que os híbridos produzidos tenderam a apresentar maior resistência que as populações-base.

Para o processo de seleção e predição do comportamento das gerações segregantes, o conhecimento da natureza e da magnitude dos efeitos gênicos que controlam um caráter é primordial. As principais estatísticas que podem ser empregadas em caracteres quantitativos são a média, a variância e a covariância, porém na variância é que estão centralizados os estudos dos caracteres quantitativos. Além disso, é importante conhecer a magnitude da variância genética em relação à variância total, bem como a natureza da variabilidade genética disponível na população segregante (MOLL e STUBER, 1974; FALCONER, 1987; CRUZ e REGAZZI, 1997).

Nos caracteres de importância agrônômica, na maioria das espécies cultivadas predomina a variância aditiva. A não-aditiva quase sempre existe para a maioria dos caracteres, mas geralmente é de menor magnitude (MOLL e STUBER, 1974).

Encontrou-se predominância dos efeitos genéticos aditivos nos estudos de herança realizados por DOFING et al. (1991), que avaliaram o modo de herança da CE, da produção, do número de fileiras de grãos, do comprimento da espiga,

do diâmetro da espiga e do peso de 50 grãos em dois cruzamentos de milho-pipoca com milho dentado. Os efeitos devidos à dominância foram significativos para CE no cruzamento de Ia28 x Mo17 e para rendimento de grãos, comprimento e diâmetro da espiga e peso de 50 grãos nesse mesmo cruzamento e no Ia53 x B73, provocando a diminuição da CE e o aumento das outras características. Os efeitos epistáticos foram significativos para rendimento de grãos no cruzamento Ia53 x 873. Esses autores também obtiveram estimativas de correlações negativas entre CE e outros caracteres, com exceção do número de fileira de grãos. Eles recomendam o uso de métodos que explorem a variância aditiva da CE em conjunto com a variância devida à dominância na produção de grãos, para o incremento das duas características.

2.4. Correlação

Correlação é uma medida da associação linear entre as variáveis, ou uma medida do grau em que duas variáveis variam juntas, podendo ocorrer de forma sinérgica ou antagônica. Portanto, a correlação pode ser positiva ou negativa, quando ocorre aumento nas duas variáveis ou acréscimo de uma e decréscimo de outra, respectivamente (STEEL e TORRIE, 1980).

A correlação que pode ser diretamente mensurada a partir das medidas de dois caracteres, em certo número de indivíduos da população, é a fenotípica. Essa correlação tem causas genéticas e ambientais, porém só as genéticas envolvem uma associação de natureza herdável (CRUZ e REGAZZI, 1997).

Segundo FALCONER (1987), citado por CRUZ e REGAZZI (1997), a causa da correlação genética é, principalmente, a pleiotropia. Ligações gênicas, que é dada pela localização de genes no mesmo par cromossômico, são causas transitórias, especialmente entre populações derivadas de cruzamento entre linhagens divergentes. Se dois caracteres apresentam alta correlação genética, sendo positiva ou negativa, é possível obter ganho para um deles por meio da seleção indireta no outro associado. Em alguns casos a seleção indireta, com base na resposta correlacionada, pode levar a progressos mais rápidos do que a seleção direta do caráter desejado. Entretanto, se um caráter se correlaciona

negativamente com alguns e positivamente com outros, deve-se tomar o cuidado de, ao selecionar esse, não provocar mudanças indesejáveis em outros caracteres (CRUZ e REGAZZI, 1997).

A correlação ambiental acontece quando dois caracteres são influenciados pelas mesmas diferenças de condições ambientais. Valores negativos dessa correlação indicam que o ambiente favorece um caráter em detrimento do outro, e valores positivos indicam que os dois caracteres são beneficiados ou prejudicados pelas mesmas causas de variações ambientais (CRUZ e REGAZZI, 1997).

De maneira geral, as correlações genéticas e ambientais apresentam o mesmo sinal; entretanto, nos casos em que isso não ocorre, há indicativo de que as causas da variação genética e ambiental influenciam os caracteres por meio de diferentes mecanismos fisiológicos (FALCONER, 1987). Os sinais dos coeficientes de correlação fenotípica e genotípica podem, eventualmente, ser diferentes, sendo o fato, em geral, atribuído a erros de amostragem (CRUZ e REGAZZI, 1997).

O conhecimento da correlação é muito importante no melhoramento de plantas, pois indica como a seleção em um caráter pode causar efeito simultâneo em outros caracteres. No melhoramento, busca-se aprimorar não um, mas sim um conjunto de caracteres, de modo a ter um equilíbrio de atributos desejáveis. Daí a necessidade de avaliação dos efeitos indiretos da seleção. Outra grande utilidade da correlação pode ser observada quando a seleção de um caráter é dificultada pela baixa herdabilidade e, ou, por dificuldades de mensuração. Nesses casos, pode-se optar pela seleção correlacionada em um caráter de alta herdabilidade e de mais fácil mensuração (FALCONER, 1987; CRUZ e REGAZZI, 1997).

A resposta correlacionada será maior do que o ganho direto se a herdabilidade do caráter auxiliar multiplicado pela correlação genética entre os dois caracteres for maior do que a herdabilidade do caráter principal. Ou seja, a seleção indireta somente proporcionará maior ganho se a herdabilidade do caráter auxiliar for substancialmente mais alta do que a do caráter principal e a correlação genética entre os dois caracteres for alta (FALCONER, 1987).

No que se refere ao coeficiente de correlação, podem-se fazer as seguintes observações: é adimensional e seu valor absoluto não ultrapassa a unidade (positiva ou negativa); o coeficiente zero reflete a falta de relação linear e não a falta de associação entre as duas variáveis; e dois caracteres independentes apresentam coeficiente de correlação nulo, mas coeficiente de correlação nulo não implica que os caracteres sejam independentes (CRUZ e REGAZZI, 1997). Entretanto, em diversos trabalhos científicos é comum encontrar estimadores de coeficiente de correlação genética superior à unidade.

Diversos autores (LONNQUIST, 1967; ROBINSON et al., 1951; REGAZZI, 1978) obtiveram correlação positiva entre prolificidade e produção, em milho, de modo que a seleção para prolificidade proporcionou ganho indireto para a produtividade. A seleção para aumento de outros caracteres, como o número de fileiras de grãos e de grãos por fileira na espiga, e a resistência à helmintosporiose e ao “enfazamento”, são fatores importantes para o aumento da produtividade. No entanto, só devem ser utilizados se os caracteres não apresentarem correlação negativa com a capacidade de expansão (SAWAZAKI, 1995).

A produção de grãos de milho e os componentes primários de produção correlacionam-se positivamente com uniformidade e velocidade de germinação, prolificidade, número total de folhas, número de folhas acima da espiga e eficiência de produção e negativamente com número de dias para florescimento, acamamento, número de ramificações do pendão, relação altura da espiga/altura da planta e ângulo de inserção foliar. O ideótipo de milho-pipoca teria as seguintes características: planta precoce, maior período de enchimento de grãos, prolificidade, área foliar, folhas eretas, relação altura espiga/altura planta de 0,45 a 0,50, pendão com menor número de ramificações e número de folhas acima da espiga (SAWAZAKI, 1995).

Estudos de correlações entre caracteres da planta, da espiga e do grão com CE têm sido efetuados em diversas populações de milho-pipoca. Observa-se que os valores do coeficiente de correlação variam de uma população para outra e, de modo geral, verifica-se que os caracteres de maior importância agrônoma correlacionam-se negativamente com a CE. Apenas a densidade, a relação

largura/espessura dos grãos, o número de fileiras na espiga e a prolificidade apresentam valores positivos de correlação (SAWAZAKI, 1996).

SHI (1992) constatou correlação positiva entre tamanho do grão e tamanho da pipoca, mas correlação negativa entre a primeira variável e CE. Também foi verificado efeito negativo do teor de umidade, do grau de maturidade e da presença de fissuras nos grãos sobre a CE.

2.5. Correção de Dados

No melhoramento genético, o processo seletivo envolve a comparação de diferentes genótipos a partir de valores mensurados na parcela experimental. Em alguns casos é inapropriado realizar a comparação a partir dos valores de uma característica, em razão de ela ser influenciada por outras. De maneira geral, para características relacionadas à produção de grãos, têm sido feitos dois tipos de correções em função dos caracteres estande e teor de umidade.

Um dos problemas da análise e interpretação de dados experimentais é a desuniformidade de estande. Por isso, é comum a semeadura em excesso e posterior desbaste para o estande desejado, quando as plantas ainda estão em estágio inicial de desenvolvimento. Entretanto, mesmo com essa prática, a parcela pode apresentar falhas por ação de pragas, doenças, técnicas culturais, excesso ou falta de chuvas e outras eventualidades, o que afeta a realização de certas análises estatísticas, em particular quando o caráter não é medido apenas em plantas competitivas (VENCOVSKY e CRUZ, 1991).

MORAIS et al. (1986), analisando sete alternativas de correção em milho, relataram que a correção por análise de covariância, adequada à produção de grãos de milho para o estande ideal, e a correção pelo fator de correção médio parecem ser as mais indicadas para a correção da produção de grãos de milho. A análise de correção por covariância com o uso de um fator de correção médio é relatada por STEEL e TORRIE (1980). A expressão é dada por: $Z_{ij} = Y_{ij} - b(X_{ij} - \bar{X}_{..})$, em que Z_{ij} corresponde ao valor do rendimento corrigido para o cultivar i na parcela j ; Y_{ij} corresponde ao rendimento observado do cultivar i na parcela j ; X_{ij} é o estande do cultivar i na parcela j , correspondente ao

rendimento Y_{ij} ; $\bar{X}..$ corresponde ao estande médio do ensaio; e b é o coeficiente de regressão residual de Y_{ij} em função de X_{ij} . Na correção por análise de covariância, corrigindo-se a produção para o estande ideal, o estande médio ($\bar{X}..$) sugerido por STEEL e TORRIE (1980) é substituído pelo estande ideal (H) e a expressão é representada por $Z_{ij} = Y_{ij} - b(X_{ij} - H)$. VENCOVSKY e CRUZ (1991), trabalhando com dados simulados, concluíram que o método de correção da produção de parcelas pelo método de covariância para o estande ideal foi o mais eficiente em qualquer situação estudada (níveis de falhas e diferentes precisões experimentais).

SCHMILDT (2000) avaliou oito métodos de correção de estande, objetivando determinar qual deles mais se adequava aos dados de produtividade na cultura do milho. Para isso foram usados dados de produtividade de milho obtidos de ensaios avaliados no Espírito Santo, pela Empresa Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (EMCAPER), e em Minas Gerais, pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Foram avaliados 33 cultivares de milho precoce, em oito ambientes, na safra agrícola 1996/97. Os métodos de correção foram, após correção de umidade para 15,5%: SC = sem correção; RT = regra de três; Z = método de ZAUBER (1942); COVM = covariância para estande médio; COVI = covariância para estande ideal; C = método proposto por CRUZ (1971) e modificado por VENCOVSKY e CRUZ (1991); VC = método proposto por VENCOVSKY e CRUZ (1991); e CE = correção estratificada com base no agrupamento de cultivares para a característica estande final por parcela pelo teste de Scott e Knott. Avaliou-se inicialmente, pelo teste F, a característica estande final por parcela nos oito ambientes e, posteriormente à correção, a eficiência dos métodos em cada ambiente, pelo menor coeficiente da variação experimental e maior valor da estatística F, além da produtividade média. Uma das conclusões desse trabalho foi de que os métodos que se mostraram mais eficientes quanto ao menor valor do coeficiente de variação foram COVI, CE, COVM e VC.

2.6. Seleção Simultânea de Caracteres

Os caracteres de importância econômica e constantemente considerados como objetivos principais em programas de melhoramento, como produção, apresentam, em sua maioria, herança complexa, e o processo seletivo baseado apenas em uma característica leva, em grande parte dos casos, ao desenvolvimento de tipos vegetais insatisfatórios.

Várias outras características, de importância econômica relativamente menor, encontram-se correlacionadas, em diferentes graus de magnitude e sinal, com os caracteres mais importantes. Como muitas vezes essas características apresentam herança mais simples, elas são, por isso, utilizadas pelos melhoristas no processo de seleção indireta, o que também pode não levar ao desenvolvimento de tipos vegetais satisfatórios. Todavia, tendo-se disponível vários desses caracteres, ao mesmo tempo, é mais vantajoso trabalhar com a combinação linear destes, na forma de índice de seleção (PELUZIO, 1999).

A idéia básica é de que cada indivíduo ou família apresenta um valor genético e que os melhoristas, ao praticarem a seleção com base nos valores fenotípicos, devem escolher aqueles indivíduos que tenham os melhores valores genéticos, para serem usados no estabelecimento da geração seguinte. De maneira geral, para serem obtidas estimativas fidedignas de um índice, é necessário dispor de matrizes de variâncias e covariâncias bem estimadas e de pesos econômicos, relativos a cada caráter, bem estabelecidos (CRUZ, 1990).

O índice de seleção constitui caráter adicional, estabelecido pela combinação ótima de vários caracteres, que permite efetuar, com eficiência, a seleção simultânea de caracteres múltiplos (CRUZ, 1990).

Genericamente, o princípio de formulação do índice clássico introduzido por Smith e Hazel pode ser descrito como se segue: seja um grupo de características, para as quais medidas fenotípicas x_j ($j = 1, 2, \dots, n$) estão disponíveis, e os respectivos valores genéticos, desconhecidos, em que se deseja efetuar mudanças no sentido desejado pelo melhorista, por meio de seleção. Então duas combinações lineares podem ser construídas: o índice fenotípico $I = \sum_{i=1}^n b_i x_i = x' b$ ou

$I = b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n$, e o agregado genotípico $H = \sum_{i=1}^n a_i g_i = g'a$ ou $H = a_1g_1 + a_2g_2 + \dots + a_n g_n$, em que os coeficientes a_i são chamados de pesos econômicos e devem ser estabelecidos pelo melhorista tendo em vista a importância relativa e a herdabilidade de cada característica. Os coeficientes b_j , no entanto, são estimados de forma que seja maximizada a correlação entre I e H.

LIN (1978) relata que a teoria do índice de seleção tem encontrado limitações, principalmente na imprecisão das estimativas das variâncias e covariâncias, na mudança dos parâmetros genéticos com a seleção e na estimação do limite de seleção.

As alterações nos parâmetros genéticos provocadas pela seleção com base no índice o tornam uma medida dinâmica, sendo, portanto, necessária a sua reconstrução a cada ciclo de seleção. Assim, o índice de seleção é específico da população, o que é considerado uma desvantagem por LIN (1978). Outro inconveniente apresentado pelo índice de seleção, relatado por LIN (1978), refere-se à possibilidade de se atingir o limite de seleção no índice sem que a variabilidade genética disponível tenha se esgotado. Isso pode ocorrer, uma vez que o índice, sem restrições, não leva em consideração as variações de cada caráter. Assim, o ganho total poderá ser zerado por um balanço entre ganhos expressos em sinais positivos e negativos.

Estudos comparativos de ganhos por diferentes critérios de seleção permitiram a CRUZ (1990) concluir que, apesar de a seleção direta proporcionar maior ganho no caráter principal, a seleção com base em índice proporciona maior percentual de ganhos totais com melhor distribuição dos ganhos para os caracteres, individualmente. Em seu trabalho, essa observação ficou evidenciada pela ocorrência de ganho de 19,21% para o rendimento de espigas e de 25,99% em termos totais pela seleção direta no rendimento, em comparação com o ganho de 18,32% no rendimento de espiga e de 27,54% em termos totais pela seleção por meio do índice clássico proposto por Smith e Hazel. Outras comparações que apontam maiores vantagens do uso do índice de seleção em relação à seleção direta foram feitas pelo autor. CRUZ (1990) concluiu ainda que os procedimentos multivariados proporcionam enriquecimento das informações disponíveis,

apresentam maior capacidade de discriminação genotípica, permitem melhor identificação de unidades seletivas em termos de maximização de ganhos e são eficientes em termos de predição genética, de forma que sua utilização tem grande importância no melhoramento de plantas.

MATTA (2000), trabalhando com seleção entre famílias de milho-pipoca “Beija-Flor”, concluiu que o índice de seleção livre de pesos ou parâmetros proposto por ELSTON (1963) demonstrou ser satisfatório. Os resultados obtidos concordaram com as previsões de ganhos obtidas no teste de progênie.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A população de milho-pipoca utilizada neste trabalho é originária do banco de germoplasma do Programa de Melhoramento de Milho do Setor de Genética, do Departamento de Biologia Geral da Universidade Federal de Viçosa.

Foram utilizadas 183 famílias de meios-irmãos de milho-pipoca “branco” e três testemunhas: Pipoca Viçosa, do banco de germoplasma do Programa de Melhoramento de Milho do Setor de Genética; Pipoca Branco, constituída da população que originou as famílias de milho-pipoca branco avaliadas neste trabalho; e uma terceira população, que seria avaliada em outro trabalho.

3.1. Avaliação de Famílias de Meios-Irmãos Obtidas da População de Pipoca “Branco” em Viçosa

As 183 famílias de meios-irmãos foram avaliadas no campo experimental da Agronomia (aeroporto) da Universidade Federal de Viçosa. Foram plantadas duas fileiras com 5 m de comprimento de cada família de meios-irmãos e duas fileiras, de mesmo tamanho, das testemunhas. O espaçamento entre fileiras foi de 0,9 m, e dentro das fileiras as plantas foram espaçadas de 0,20 m. Foi feito o desbaste, deixando 25 plantas por fileira.

Os tratos culturais consistiram de capinas, sempre que necessárias, e aplicação de fertilizantes na proporção de 400 kg/ha da formulação 4-14-8, mais 60 kg/ha de nitrogênio, aplicado em cobertura logo após o desbaste das plantas.

3.2. Avaliação de Famílias de Meios-Irmãos Obtidas da População de Pipoca “Branco” em Sete Lagoas

As 183 famílias de meios-irmãos também foram avaliadas no campo experimental do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS). Foi plantada uma fileira de 4 m de comprimento de cada família de meio-irmão, sendo feito o mesmo para cada uma das testemunhas. O espaçamento entre fileiras foi de 0,9 m, e dentro das fileiras as plantas foram espaçadas de 0,20 m. Foi feito o desbaste, deixando 20 plantas por fileira.

Tanto os critérios de desbaste quanto os de condução da cultura seguiram a metodologia adotada no CNPMS/EMBRAPA.

3.3. Características Avaliadas

As seguintes características foram avaliadas:

1. Altura de planta (AP): medida, em cm, após o pendoamento, do nível do solo à inserção da folha bandeira, em seis plantas competitivas por parcela.
2. Altura de espiga (AE): medida, em cm, após o pendoamento, do nível do solo até a inserção da espiga superior no colmo, nas mesmas seis plantas por parcela.
3. Número de plantas acamadas (NPA): obtido pela contagem de plantas que apresentaram ângulo de inclinação superior a 45° em relação à vertical em cada parcela, por ocasião da colheita.
4. Número de plantas quebradas (NPQ): obtido pela contagem de plantas que apresentaram o colmo quebrado abaixo da espiga superior em cada parcela, por ocasião da colheita.
5. Número de plantas ou estande (NP): obtido pela contagem de todas as plantas existentes na parcela, por ocasião da colheita.

6. Número de espigas (NE): obtido pela contagem de todas as espigas existentes na parcela, após a colheita.
7. Prolificidade (PF): obtida dividindo-se o número de espigas por parcela pelo número de plantas da respectiva parcela.
8. Peso das espigas (PE): obtido pela pesagem das espigas, após a retirada da palha, em g/parcela.
9. Umidade dos grãos (UM): obtida em porcentagem, em uma amostra de grãos de cada parcela.
10. Capacidade de expansão (CE): obtida como a razão entre o volume da pipoca expandida e o volume dos grãos crus. Para cada parcela, avaliada em Sete Lagoas e em Viçosa, uma amostra de 30 ml de grãos, medida em proveta graduada de 100 ml, foi estourada em uma pipoqueira elétrica, com controle automático de temperatura, pertencente ao Centro Nacional de Pesquisa do Milho e Sorgo, da EMBRAPA, regulada para uma temperatura de 280 °C, durante quatro minutos. O volume da pipoca expandida foi medido em uma proveta graduada de 1.000 ml.

Devido aos métodos de condução e avaliação da cultura adotados pelo CNPMS, algumas características, como EME- número de espigas mal empalhadas, ED- espigas doentes por parcela e PG- peso de grãos após a debulha, em g por parcela, não foram avaliadas nos ensaios conduzidos em Sete Lagoas. A característica FLF (florescimento feminino), medida em dias a partir do plantio, não foi avaliada no ensaio conduzido em Viçosa.

3.4. Correção dos Dados

a. Correção no rendimento para teor de umidade constante

Segundo ZIEGLER e ASHMAN (1994), quando os grãos atingirem umidade relativa de 14% na espiga, eles deverão ser debulhados, limpos e embalados hermeticamente, para garantir a melhor qualidade da capacidade de expansão

comercial. Assim, os dados referentes ao peso de espiga e peso de grãos foram corrigidos para uma umidade de 14%.

Foi utilizada a seguinte fórmula:

$$P\% = \frac{Pc(1-U)}{(1-0,14)}$$

em que

P% = peso corrigido para 14% de umidade;

Pc = peso de campo (por parcela); e

U = umidade dos grãos expressa em decimais, por parcela.

Esta fórmula difere da regra de três simples, por permitir que seja calculada a alteração no peso, em função da variação da umidade, sem alterar o peso da matéria seca, que não se altera.

b. Correção do rendimento de parcelas com estande variado

Foi realizada uma análise de variância preliminar da característica estande, como não-significativo a 1 ou 5% de probabilidade pelo teste F, constatando-se que as diferenças nas falhas dentro das parcelas foram devidas ao acaso. Nessa situação, adotou-se o critério de comparar o rendimento das parcelas de diferentes famílias após ser realizada a correção dos dados das características PE e NE, por meio da seguinte expressão:

$$Z_{ij} = Y_{ij} - b.(X_{ij} - H)$$

em que

Z_{ij} = valor do rendimento corrigido para a progênie i na parcela j;

Y_{ij} = rendimento observado da progênie i na parcela j;

X_{ij} = estande da progênie i na parcela j;

H = estande considerado ideal no ensaio; e

b = coeficiente de regressão residual de Y_{ij} em função de X_{ij} , dado por:

$$b = [C\hat{ov}(X_{ij}, Y_{ij}) / \hat{V}(X_{ij})]$$

O estande considerado ideal no ensaio, H, é diferente em Sete Lagoas e Viçosa, sendo de 20 plantas por parcela e 25 plantas por parcela, respectivamente.

As características AP e AE não foram corrigidas, por terem sido obtidas a partir de seis plantas competitivas por parcela.

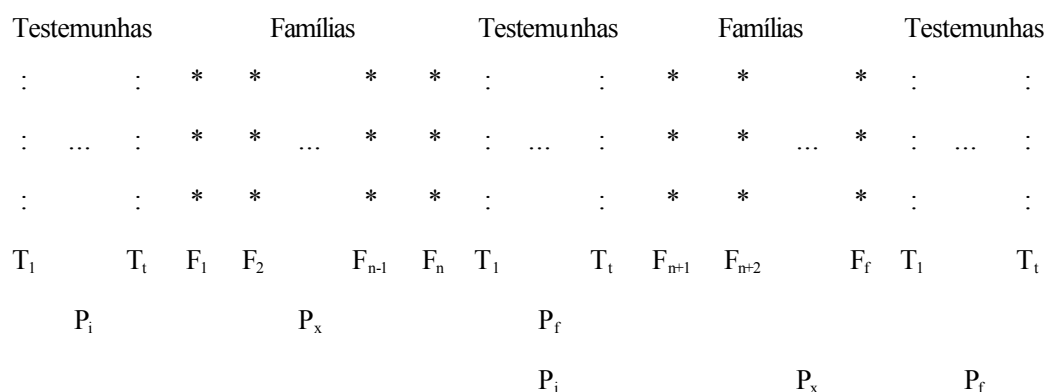
3.5. Análises Estatísticas

Todas as análises foram realizadas utilizando-se o programa GENES (CRUZ, 2001).

Análise de Variância

Foi feita análise de variância segundo o modelo de famílias com testemunhas intercalares. Desse modo, as famílias puderam ser avaliadas em parcelas sem repetições, utilizando-se testemunhas intercalares avaliadas com repetições, como auxílio para avaliação de variação ambiental.

As análises das famílias com testemunhas intercalares foram feitas considerando-se delineamento inteiramente ao acaso, com número desigual de repetições para as testemunhas, sendo as avaliações realizadas em nível de média ou total de parcelas (CRUZ, 2001). O croqui do ensaio é assim ilustrado:



P_i: posição inicial anterior à posição da família (P_x) a ser corrigida;
P_f: posição final posterior à posição da família (P_x) a ser corrigida; e
P_x: posição da família a ser corrigida.

O valor de cada observação, para as testemunhas, é dado pelo seguinte modelo:

$$Y_{ij} = \mu_t + T_i + \hat{a}_{ij},$$

em que

Y_{ij} : valor da característica na i -ésima testemunha na j -ésima repetição;

μ_t : média paramétrica das testemunhas;

T_i : efeito da testemunha i ($i = 1, 2, \dots, t$); e

\hat{a}_{ij} : erro experimental associado à observação Y_{ij} .

Pressupõe-se que $\hat{a}_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

O valor de cada observação, para as famílias, é dado pelo modelo:

$$y_i = \mu_f + F_i + \hat{a}_i,$$

em que

y_i : valor da característica para a i -ésima família;

μ_f : média geral das famílias;

F_i : efeito da i -ésima família; e

\hat{a}_i : erro aleatório que incide sobre as famílias.

Pressupõe-se que $\hat{a}_i \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$.

A análise de variância foi realizada conforme esquema descrito no Quadro 1.

Quadro 1 - Esquema da análise de variância para experimentos conduzidos com famílias (de meios-irmãos) intercaladas por testemunhas com r_i repetições

FV	GL	SQ	QM	E(QM)	F
Famílias	$f-1$	SQF	QMF	$\sigma^2 + \sigma_g^2$	QMF/QMR
Testemunhas	$t-1$	SQT _e	QMT _e	$\sigma^2 + k\phi_t$	QMT _e /QMR
Resíduo	$\sum_{i=1}^t r_i - t$	SQR	QMR	σ^2	

Para as testemunhas, tem-se:

$$k = \frac{N - \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^t r_i^2 \right)}{t-1} \text{ em que } N = \sum_{i=1}^t r_i$$

Como as famílias são avaliadas sem repetições, existe a necessidade de ser feita a correção dos dados. Para isso, considera-se um gradiente ambiental que atua de forma diferenciada sobre cada família. Os efeitos ambientais são estimados a partir das informações das testemunhas cujas fileiras foram intercaladas no ensaio.

Primeiramente são calculadas as médias das testemunhas em cada posição, ou repetição, do ensaio. Assim, tem-se:

\bar{Y}_j : média de todas as testemunhas na posição j;

\bar{Y} : média geral de todas as testemunhas; e

$\theta_j = \bar{Y}_j - \bar{Y}$.

A correção dos dados foi feita utilizando-se a seguinte expressão:

$$V_{cx} = V_{ox} - \theta_f + \frac{p_f - p_x}{p_f - p_i} (\theta_f - \theta_i)$$

em que

V_{cx} : valor corrigido da família na posição P;

V_{ox} : valor original da família na posição P;

θ_i : valor do efeito ambiental que ocorre nas testemunhas que se encontram na posição p_i;

θ_f : valor do efeito ambiental que ocorre nas testemunhas que se encontram na posição p_f;

p_i: posição extrema inicial, onde se encontram as testemunhas;

p_f: posição extrema final, onde se encontram as testemunhas; e

p_x: posição ocupada pela família, cujo valor está sendo corrigido.

Nessa correção é levada em consideração a posição das famílias em relação às testemunhas iniciais e finais, que estão no início e no fim de cada grupo de famílias, respectivamente. Assim, cada família será corrigida por um valor único, tendo maior influência do efeito ambiental identificado por um grupo de testemunhas mais próximo e menor influência do efeito ambiental identificado por um grupo de testemunhas mais distante. Com isso, pode-se imaginar que a correção terá efeito sobre as famílias correspondente ao gradiente de efeito ambiental que deve existir no campo.

O efeito do processo de correção foi avaliado por meio da correlação entre os valores originais e corrigidos. A consequência da correção sobre os parâmetros genéticos e fenotípicos foi avaliada a partir da comparação dos valores da média geral, da herdabilidade, do coeficiente de variação genético e da correlação fenotípica, considerando-se os dados originais e corrigidos.

3.6. Estimação de Parâmetros Genéticos e Ambientais

Para testemunhas, têm-se:

- Variância fenotípica média:

$$\hat{\sigma}_{ft}^2 = \frac{QMTe}{k}$$

- Componente quadrático que expressa a variabilidade genotípica:

$$\hat{\phi}_t = \frac{QMTe - QMR}{k}$$

- Coeficiente de determinação genotípico, baseado na média de testemunhas:

$$h^2_t = \frac{\hat{\phi}_t}{\hat{\sigma}_f^2}$$

- Coeficiente de variação genético:

$$CV_g \% = \frac{\left(100 \sqrt{\hat{\phi}_t}\right)}{m_t}, \text{ em que } m_t \text{ é a média das testemunhas.}$$

- Coeficiente de variação experimental:

$$CV_e \% = \frac{(100\sqrt{\hat{\sigma}^2})}{m_t}$$

- Razão CV_{gt}/CV_{et} :

$$\frac{CV_{gt}}{CV_{et}} = \sqrt{\frac{\hat{\phi}_t}{\hat{\sigma}^2}}$$

Para as famílias, têm-se:

- Variância fenotípica:

$$\hat{\sigma}_f^2 = QMF$$

Foi também obtida a variância fenotípica entre famílias de meios-irmãos a partir dos valores corrigidos, tendo-se uma nova estimativa dada por $\hat{\sigma}_{faj}^2$.

- Variância genotípica:

$$\hat{\sigma}_g^2 = QMF - QMR$$

- Herdabilidade:

Foram obtidas duas estimativas de herdabilidade, considerando os valores originais e corrigidos, tendo-se:

$$h^2 = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{\hat{\sigma}_f^2} \quad \text{e} \quad h_{cor}^2 = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{\hat{\sigma}_{faj}^2}$$

- Coeficiente de variação genético:

Obtiveram-se duas estimativas, dadas por:

$$CV_g \% = \frac{100\sqrt{\hat{\sigma}_g^2}}{\hat{m}_f}, \quad \text{em que } \hat{m}_f \text{ é a média geral das famílias, considerando}$$

os dados originais; e

$$CV_{gcor} \% = \frac{100\sqrt{\hat{\sigma}_g^2}}{\hat{m}_{fc}}, \text{ em que } \hat{m}_{fc} \text{ é a média geral das famílias, considerando}$$

os dados corrigidos.

- Razão CV_g/CV_e :

$$\frac{CV_{gcor}}{CV_e} = \sqrt{\frac{\hat{\sigma}_g^2}{\hat{\sigma}^2}}$$

3.7. Estudo de Correlação

A estimação do coeficiente de correlação entre duas características, X e Y, necessita das análises de variância de X, de Y e de X+Y, de modo que a covariância entre as duas características (X e Y) seja dada por:

$$C\hat{o}v(X, Y) = \frac{\hat{V}(X + Y) - \hat{V}(X) - \hat{V}(Y)}{2}$$

em que

$C\hat{o}v(X, Y)$: covariância entre X e Y;

$\hat{V}(X + Y)$: variância da soma de X com Y; e

$\hat{V}(X)$ e $\hat{V}(Y)$: variâncias de X e de Y, respectivamente.

A decomposição da covariância é feita à semelhança da decomposição das variâncias, com a identificação das esperanças dos quadrados médios e dos produtos médios.

As expressões que fornecem os produtos médios (PM) associados aos tratamentos (T) e aos resíduos (R), em função dos respectivos quadrados médios (QM), são:

$$PMT_{XY} = (QMT_{X+Y} - QMT_X - QMT_Y)/2$$

$$PMR_{XY} = (QMR_{X+Y} - QMR_X - QMR_Y)/2$$

As correlações fenotípicas (r_f), genéticas (r_g) e as ambientais (r_a) são obtidas a partir dos produtos médios das características X e Y:

$$r_f = \frac{PMT_{XY}}{\sqrt{QMT_X QMT_Y}}$$

$$r_g = \frac{\hat{\sigma}_{gXY}}{\sqrt{\hat{\sigma}_{gX}^2 \hat{\sigma}_{gY}^2}}$$

$$r_a = \frac{PMR_{XY}}{\sqrt{QMR_X QMR_Y}}$$

em que

$\hat{\sigma}_{gXY}$: estimador da covariância genética entre X e Y; e

$\hat{\sigma}_{gX}^2$ e $\hat{\sigma}_{gY}^2$: estimadores das variâncias genéticas de X e de Y, respectivamente.

Para a correlação fenotípica foram obtidas duas estimativas, considerando os valores originais e aqueles obtidos pela correção a partir das informações das testemunhas intercaladas. Nas discussões utilizaram-se apenas as informações das correlações fenotípicas obtidas com os valores corrigidos.

3.8. Ganhos por Seleção

Uma das contribuições da genética quantitativa para o melhoramento é a possibilidade de predição de ganhos. Por meio dessas informações é possível orientar de maneira mais efetiva o programa de melhoramento, prever o sucesso do esquema seletivo adotado e decidir, com base científica, por técnicas que possam ser mais eficazes (CRUZ e REGAZZI, 1997).

3.8.1. Seleção Direta e Indireta

A seleção direta e indireta permite que sejam escolhidas as características potenciais para a seleção e para determinar o sentido da seleção. Neste último caso, se a seleção será dos genótipos com valores maiores ou daqueles com os menores valores.

Os ganhos esperados pela seleção direta e indireta no *i*-ésimo caráter podem ser assim estimados:

i) Com base na intensidade de seleção

$$GS_i = pk\hat{\sigma}_{gi}h_i$$

em que

p: controle parental (admitido ser igual a 1);

k: intensidade de seleção ou diferencial de seleção em unidade do desvio-padrão fenotípico;

$\hat{\sigma}_{gi}$: desvio-padrão genético aditivo do caráter i; e

h_i : raiz quadrada da herdabilidade, em nível de média das famílias ou progênies, para o caráter i.

O controle parental, p, pode assumir os valores de ½ quando a unidade de seleção for igual à unidade de recombinação e são utilizados todos os genótipos (selecionados e não-selecionados) na obtenção da população melhorada; pode ser igual a 1,0 se a unidade de seleção for também igual a unidade de recombinação, mas a população melhorada é originada pelos inter cruzamentos entre apenas os indivíduos selecionados; e, se a unidade de seleção for diferente da unidade de recombinação, p será igual a 2 (CRUZ e REGAZZI, 1997).

Neste trabalho o ganho de seleção foi calculado considerando recombinação entre as famílias selecionadas; adotou-se 1 como controle parental.

O ganho indireto no caráter j, pela seleção no caráter i, é dado por:

$$GS_{j(i)} = pkh_jr_g\hat{\sigma}_{gj}$$

em que r_g é a correlação genética entre os caracteres i e j.

ii) Baseado no diferencial de seleção

$$GS_i = (\bar{X}_{si} - \bar{X}_{oi})h_i^2 = DS_ih_i^2$$

em que

\bar{X}_{si} : média dos indivíduos selecionados para o caráter i;

\bar{X}_{oi} : média original da população;

DS_i : diferencial de seleção praticado na população; e

h_i^2 : herdabilidade, em nível de média de famílias ou progênes, para o caráter i.

O ganho indireto no caráter j, pela seleção no caráter i, é dado por:

$$GS_{j(i)} = DS_{j(i)} h_j^2$$

em que $DS_{j(i)}$ é o diferencial de seleção indireto para o caráter j, obtido em função da média do caráter daqueles indivíduos cuja superioridade foi evidenciada com base no caráter i, sobre o qual se pratica a seleção direta.

3.8.2. Seleção Simultânea de Caracteres

Foram preditos os ganhos a serem obtidos pela seleção simultânea de caracteres, adotando-se como critérios os valores para pesos econômicos propostos por CRUZ (1990) e HANSON e JOHNSON (1957); também foram utilizados pesos aleatórios.

O índice de seleção pode ser entendido como uma combinação ótima de várias características, permitindo seleção simultânea eficiente.

Sejam o índice de seleção (I) e o agregado genotípico (H) descritos como a seguir:

$$I = b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n = b'x$$

$$H = a_1 g_1 + a_2 g_2 + \dots + a_n g_n = a'g$$

em que

n: número de caracteres avaliados;

b: vetor de dimensão n x 1 dos coeficientes de ponderação do índice de seleção, a serem estimados;

x: matriz p x n de valores (ou médias) fenotípicos dos caracteres;

a: vetor n x 1 de pesos econômicos previamente estabelecidos;

g : matriz $p \times n$ de valores atípicos, desconhecidos dos n caracteres considerados; e

p : número de famílias ou progênies avaliadas.

Portanto, para a estimação dos índices de seleção de cada família é necessária a estimação do vetor b , o qual é estimado de tal forma que a correlação entre I e H seja maximizada. Dessa forma, tem-se:

$$\hat{b} = P^{-1}Ga$$

em que

\hat{b} : estimador do vetor de dimensão $n \times 1$ dos coeficientes de ponderação do índice de seleção;

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

G : matriz $n \times n$ de covariâncias atípicas entre os caracteres.

Assim, segundo CRUZ e REGAZZI (1997), a estimação de índices de seleção fidedignos é dependente da disponibilidade de matrizes de variâncias e covariâncias genéticas e fenotípicas bem estimadas e de pesos econômicos, relativos aos vários caracteres, bem estabelecidos. Uma vez estabelecido o índice, o grande interesse é avaliar o ganho de seleção em cada caráter avaliado e, ou, no conjunto. O ganho esperado para o caráter j , quando a seleção é praticada sobre o índice, é expresso por:

$$\Delta g_{j(I)} = DS_{j(I)} h_j^2$$

em que

$\Delta g_{j(I)}$: ganho esperado para o caráter j , com seleção baseada no índice I ;

$DS_{j(I)}$: diferencial de seleção do caráter j , com seleção baseada no índice I ;

e

h_j^2 : herdabilidade do caráter j .

Também foi estimado o ganho indireto pela expressão:

$$\Delta g_{j(I)} = \hat{\beta}_{gil} DS = G_j \hat{b} \frac{DS}{\hat{V}(I)}$$

$$\hat{V}(I) = \hat{b}' P \hat{b}$$

em que

$\hat{\beta}_{gil}$: estimador do coeficiente de regressão dos valores atípicos do caráter j em função do índice I;

DS = $\bar{I}_S - \bar{I}_O$; \bar{I}_S representa a média dos indivíduos selecionados e \bar{I}_O representa a média original das progênes em relação ao índice; e

G_j : j-ésima linha da matriz G, cujos elementos são a variância genética do caráter j e as covariâncias genéticas entre este caráter e os demais.

A imprecisão nas estimativas dos elementos das matrizes P e G e o despreparo de muitos melhoristas ao estabelecer os pesos econômicos relativos aos vários caracteres têm inviabilizado a utilização deste índice de seleção.

Hanson e Johnson (1957), citados por MATTA (2000), dizem que não há necessidade de designar valores econômicos para todas as características. Para melhorar uma característica primária toma-se o peso econômico desta como 1,0 (um) e as características secundárias como 0 (zero).

A seleção simultânea de caracteres também pode ser feita utilizando-se um gráfico de dispersão. Neste caso, o método é chamado de Seleção Visual Bivariada, pois é feito utilizando-se duas características. O gráfico é dividido em quadrantes por dois eixos, um vertical e outro horizontal, que marcam o valor mínimo desejado da respectiva característica.

Neste estudo foram consideradas três estratégias de uso de seleção simultânea, considerando-se os seguintes objetivos:

- i. Testar a funcionalidade de um experimento sem repetições e com testemunhas intercalares.
- ii. Utilizar índice de seleção e seleção simultânea visual na seleção de famílias com potencial para serem recombinadas com o objetivo de ser formada uma população melhorada.
- iii. Obter ganhos simultâneos na capacidade de expansão e produtividade, com diminuição da porcentagem de quebramento e acamamento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise de Variância

A seguir estão apresentados os quadros contendo o resumo das análises de variâncias dos ensaios conduzidos em Sete lagoas (Quadro 2) e em Viçosa (Quadro 3). É interessante notar que, com os problemas de condução do ensaio em Viçosa, os coeficientes de variação geral, das famílias e das testemunhas, para a característica altura de planta foram os mais baixos. No entanto, em Viçosa-MG, os coeficientes de variação tiveram magnitudes superiores a 28%, que, segundo GOMES (1990), podem ser considerados altos para ensaios agrícolas.

No Quadro 2 é apresentado o resumo das análises de variâncias das características avaliadas nas famílias de meios-irmãos de milho-pipoca branco, referentes ao ensaio conduzido no CNPMS.

Verifica-se, pela análise de variância das características avaliadas em Sete Lagoas, a existência de variabilidade significativa a um valor menor que 1%, entre as famílias de meios-irmãos de milho-pipoca branco, em relação às características AP, AE, NE e NPA, e variabilidade significativa a um valor menor que 5% de probabilidade pelo teste F para a característica PE. A CE só foi significativa a 7,76% de probabilidade pelo teste F, que pode ser considerado um valor aceitável na experimentação agrícola.

Quadro 2 - Resumo da análise de variâncias das características avaliadas em famílias de meios-irmãos de milho-pipoca branco, referentes ao ensaio conduzido em Sete Lagoas

FV	GL	Q.M.									
		AP	AE	FLF	NPA	NPQ	NE	PF	ED	PE	CE
Famílias ^{1/}	182	465,56 ^{0,00}	315,78 ^{0,00}	7,18 ^{10,94}	4,38 ^{0,95}	4,67 ^{9,09}	37,37 ^{0,01}	0,08 ^{42,07}	2,76 ^{100,00}	374951,65 ^{3,51}	14,62 ^{7,76}
Testemunhas	2	61,67	131,67	6,87	0,27	5,00	37,07	0,05	0,07	602143,42	7,81
Resíduo	12	43,33	35,83	3,83	1,27	2,37	4,90	0,07	3,4	147296,38	7,07
Média geral		221,01	125,75	55,82	0,92	1,99	26,36	1,42	2,00	1834,03	17,57
Média de famílias		221,72	126,17	55,79	0,95	2,00	26,41	1,42	2,03	1845,30	17,65
Média de testemunhas		212,33	120,67	56,13	0,53	1,8	25,73	1,39	1,73	1696,47	16,64
CV (%) Geral		2,98	4,76	3,51	122,44	77,31	8,39	18,70	91,96	20,93	15,13
CV (%) Famílias		2,97	4,74	3,51	118,37	76,71	8,37	18,67	90,95	20,80	15,06
CV (%) Testemunhas		3,10	4,96	3,49	211,02	85,47	8,60	19,06	106,38	22,62	15,98

^{1/} níveis de probabilidade em porcentagem, pelo teste F.

AP: altura de plantas (cm); AE: altura de espigas (cm); FLF: florescimento feminino (dias); NPA: número de plantas acamadas; NPQ: número de plantas quebradas; NE: número de espigas por parcela; PF: prolificidade; ED: espigas doentes; PE: peso de espigas (g); CE: capacidade de expansão (ml/ml).

A relação entre as médias das características AE e AP foi de aproximadamente 56,89%, ou seja, valores de AE foram aproximadamente metade dos de AP, como esperado. Entretanto, os valores médios de AP e de AE estão altos: 221,72 e 126,17 cm, respectivamente. Esse fato evidencia maior possibilidade de haver problemas com o acamamento e o quebramento das plantas, o que não aconteceu neste trabalho, apesar de este último apresentar variabilidade significativa a 9,09%, sendo possível sua redução por seleção; tanto para a característica AP quanto para a característica AE houve variabilidade significativa (Quadro 2), o que indica uma situação favorável ao melhoramento, possibilitando que seja feita seleção visando a diminuição do porte das plantas.

Uma das características que diferenciam a planta de milho-pipoca da planta de milho normal é a prolificidade. Segundo MATTA (2000), o milho-pipoca caracteriza-se geralmente por apresentar plantas prolíficas, com pelo menos duas espigas. Observa-se, pelo Quadro 2, que a média das famílias avaliadas foi de 1,42 para esta característica. Este é um valor baixo tendo em vista o milho-pipoca; além disso, a PF não apresentou variabilidade genética que indicasse situação favorável ao melhoramento - 42,07%, não sendo possível aumentar o rendimento de grãos por meio destes componente a partir destas famílias de meios-irmãos.

A característica NE apresenta variabilidade significativa a 0,019% de probabilidade pelo teste F, demonstrando que existe variabilidade e que pode ser feito trabalho de melhoramento visando o aumento da produtividade pelo aumento do número de espigas por planta.

O valor médio da característica PE (Quadro 2) é de 1.845,30 g, ou aproximadamente 5.125 kg/ha. Este valor não é baixo, tomando como referência resultados obtidos por ANDRADE (1996) e por MATTA (2000), os quais obtiveram, na característica produtividade em peso de grãos, de 3.180,052 a 5.762,616 kg/ha. A característica PE mostra situação favorável, uma vez que apresenta variabilidade; portanto, valores superiores poderão ser obtidos com os ciclos de seleção.

O valor médio da característica CE - 17,65 ml/ml - ficou acima do mínimo exigido para a comercialização, que é de 15, e o valor máximo encontrado foi de 27,33 ml/ml. ANDRADE (1996), em seu trabalho, obteve CE média de 12,5 e valor máximo de 19,0, trabalhando com as variedades de milho-pipoca Amarela, Roxa, Branca, Rosa claro, Beija-Flor e Viçosa.

A característica CE foi significativa pelo teste F a 7,767% de probabilidade, o que indica certa dificuldade para o trabalho de melhoramento, porém é ainda possível obter algum aumento desta característica. Uma maneira de se conseguir esse aumento é através da seleção simultânea, que possibilita ganho em várias características simultaneamente, desde que estas tenham variabilidade significativa e sejam correlacionadas com a CE.

No Quadro 3 é apresentado o resumo das análises de variâncias das características avaliadas nas famílias de meios-irmãos de milho-pipoca branco, referentes ao ensaio conduzido em Viçosa-MG.

O coeficiente de variação de todas as características foi extremamente alto; o valor mais baixo foi de 28,12%, que é o coeficiente de variação em nível de famílias para a característica AP. O mais alto foi de 115,41%, que é o coeficiente de variação em nível de famílias para a característica NPA. Essa imprecisão experimental tão alta torna impraticável qualquer inferência sobre os dados analisados.

Também é mostrado no Quadro 3 que não houve possibilidade de se detectar a variabilidade genética da população a 5% de probabilidade, pelo teste F, para nenhuma das características avaliadas em Viçosa.

Tanto os altos valores dos coeficientes de variação quanto a não-significância da variabilidade devem-se, provavelmente, à má condução do experimento em campo, a fatores técnicos, como falta de capina e controle inadequado de insetos, à indisponibilidade de meio de transporte para se chegar ao local e também a fatores ambientais, como excesso de água de chuva e outros. Dessa forma, recomenda-se, no futuro, maior atenção na escolha da área experimental, condução dos ensaios e, principalmente, coleta dos dados mais segura.

Quadro 3 - Resumo da análise de variância das características avaliadas em famílias de meios-irmãos de milho-pipoca branco, referentes ao ensaio conduzido em Viçosa

FV	GL	Q.M.									
		AP	AE	NPA	NPQ	EME	NE	PF	ED	PE	CE
Famílias	182	0,05 ^{100,00}	0,03 ^{100,00}	42,66 ^{100,00}	3,32 ^{32,80}	8,56 ^{38,81}	153,34 ^{28,55}	0,17 ^{100,00}	5,99 ^{100,00}	296240,65 ^{100,00}	12,42 ^{100,00}
Testemunhas	2	1,05	0,39	108,11	1,61	8,46	416,69	0,08	14,68	242594,15	16,37
Resíduo	11	0,19	0,06	65,36	2,54	7,09	111,05	0,26	7,30	321699,53	23,30
Média geral		153,00	0,88	7,14	2,19	4,21	28,98	1,19	3,11	1585,81	14,71
Média de famílias		155,00	0,89	7,00	2,20	4,27	29,33	1,19	3,05	1586,47	14,62
Média de testemunhas		119,00	0,73	7,35	1,64	2,93	22,07	1,19	3,86	1488,10	14,67
CV (%) Geral		28,46	28,65	113,20	72,75	63,28	36,36	42,37	86,86	35,77	32,81
CV (%) Famílias		28,12	28,39	115,41	72,45	62,39	35,92	42,55	88,48	35,75	33,02
CV (%) Testemunhas		36,56	34,89	109,89	97,11	90,92	47,74	42,43	70,07	38,11	32,91

¹ níveis de probabilidade em porcentagem, pelo teste F.

AP: altura de plantas (cm); AE: altura de espigas (cm); NPA: número de plantas acamadas; NPQ: número de plantas quebradas; EME: espigas mal empalhadas; NE: número de espigas por parcela; PF: prolificidade; ED: espigas doentes; PE: peso de espigas (g); CE: capacidade de expansão (ml/ml).

4.2. Ajuste de Médias em Função do Gradiente Ambiental

No Quadro 4 são apresentadas as médias das testemunhas, para as características avaliadas, utilizadas como referenciais para o processo de correção dos dados obtidos com as famílias de meios-irmãos conduzidas em delineamento sem repetições com testemunhas intercalares. Como pode ser visto, para algumas características, como AP, AE, FLF, NE e NP, os valores das médias estão bem próximos ao longo do ensaio.

No Quadro 5 são apresentadas as médias originais e corrigidas e a correlação entre os valores originais e corrigidos de algumas características avaliadas em famílias de meios-irmãos de milho-pipoca branco. Como é visto, as médias originais e corrigidas apresentam valores muito próximos; a alta correlação entre os valores originais e corrigidos confirma essa observação. Provavelmente essa proximidade entre os valores das médias aconteceu devido à homogeneidade do ambiente, que não apresentou diferença muito grande entre os referenciais.

Para melhor visualização do efeito da correção nas médias, pode-se observar a Figura 1, em que é exposta, em forma de gráfico, a alteração nas médias.

Verifica-se na Figura 1 que as correções feitas levaram ao aumento nas médias próximas ao primeiro referencial e a uma diminuição próxima ao último referencial. Essa diminuição nas médias permite que seja visualizado um gradiente de influência dos efeitos ambientais.

O efeito da correção será diferente para cada característica e local; a variação das médias não seguirá o mesmo gradiente observado para a característica PE, tendo, cada uma, um gradiente próprio, com maior ou menor alteração nas médias.

A Figura 2 permite a visualização do efeito da correção das médias da característica PE do ensaio conduzido em Viçosa.

Exemplificando o que já foi dito para a Figura 1, o gradiente na Figura 2 teve efeito diferente, mesmo sendo para a mesma característica (PE), porém no ensaio conduzido em Viçosa. Neste caso, houve diminuição das médias próximas aos primeiros referenciais, numa área mais central houve aumento das médias e no final do ensaio estas ficaram muito próximas dos valores originais.

Quadro 4 - Médias das testemunhas em cinco pontos de referência, para as características avaliadas em famílias de meios-irmãos de milho-pipoca branco, em Sete Lagoas

Referencial	Corrigidas	Média das testemunhas									
		AP	AE	FLF	NP A	NP Q	NP	NE	PF	PE	CE
1	1 – 49	211,6	120,0	55,0	0,3	2,3	18,6	25,6	1,4	1893,4	16,5
2	50 – 99	211,6	120,0	55,0	0,3	2,3	18,6	25,6	1,4	1893,4	16,5
3	100 – 148	215,0	120,0	57,3	1,3	1,3	16,3	26,6	1,6	1665,4	17,5
4	149 - 183	208,3	120,0	54,6	0,3	1,6	20,0	25,3	1,2	1509,6	14,5
5		215,0	123,3	58,6	0,3	1,3	20,6	25,3	1,2	1520,2	17,9

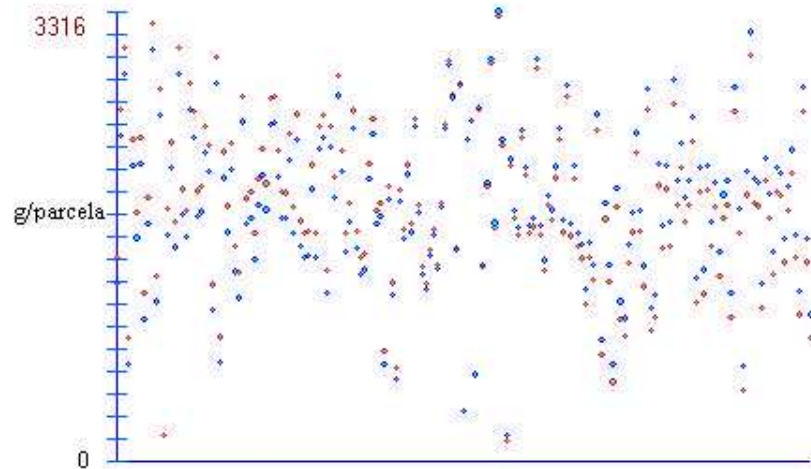
AP: altura de plantas (cm); AE: altura de espigas (cm); FLF: florescimento feminino (dias); NPA: número de plantas acamadas; NPQ: número de plantas quebradas; NP: número de plantas por parcela; NE: número de espigas por parcela; PF: prolificidade; PE: peso de espigas (g); CE: capacidade de expansão (ml/ml).

Quadro 5 - Médias originais e corrigidas e a correlação entre os valores de algumas características avaliadas em famílias de meios-irmãos de milho-pipoca branco em Sete Lagoas

Características	Médias		Correlação
	Original	Corrigida	
AP	221,72	221,93	0,9974**
AE	126,17	126,52	0,9992**
FLF	55,79	56,02	0,9442**
NPA	0,95	0,88	0,9878**
NPQ	2,00	1,99	0,9849**
NP	18,68	19,01	0,9342**
NE	26,41	26,32	0,9979**
PF	1,42	1,39	0,9250**
PE	1845,30	1833,75	0,9683**
CE	17,65	17,79	0,9815**

AP: altura de plantas (cm); AE: altura de espigas (cm); FLF: florescimento feminino (dias); NPA: número de plantas acamadas; NPQ: número de plantas quebradas; NP: número de plantas por parcela; NE: número de espigas por parcela; PF: prolificidade; PE: peso de espigas (g); CE: capacidade de expansão (ml/ml).

** : significativo pelo teste t a 1% de probabilidade.



Pontos vermelhos: médias corrigidas.
Pontos azuis: médias não-corrigidas.

Figura 1- Médias corrigidas e não-corrigidas da característica PE, do ensaio conduzido no CNPMS/ EMBRAPA.

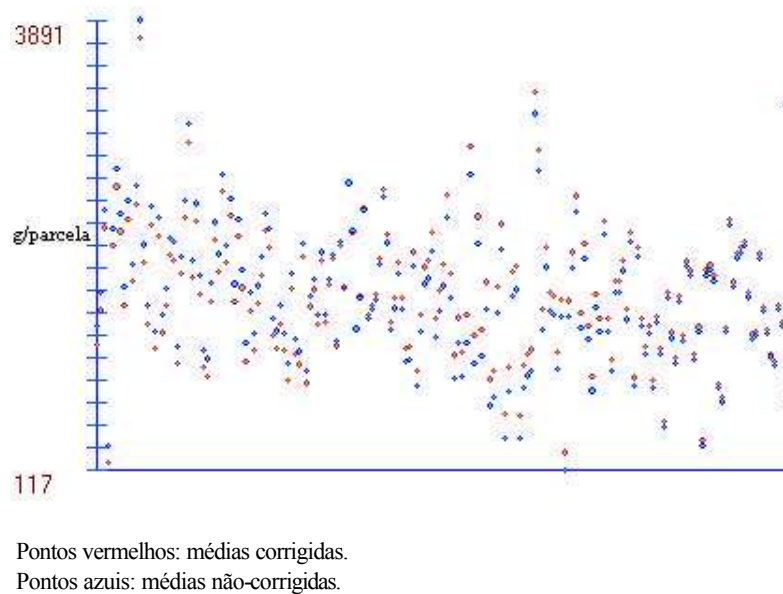


Figura 2 - Médias corrigidas e não-corrigidas da característica PE, do ensaio conduzido em Viçosa.

Deve ser levado em consideração que este método de correção assume que as fileiras estão dispostas paralelas umas às outras.

4.3. Parâmetros Genéticos e Ambientais

No Quadro 6 estão apresentadas as estimativas de parâmetros genéticos e ambientais das famílias de meios-irmãos de milho-pipoca branco, referentes ao ensaio conduzido em Sete Lagoas-MG.

A herdabilidade expressa a confiança do valor fenotípico como um guia para o valor genético, ou o grau de correspondência entre valor fenotípico e valor genético, ou seja, mede a confiabilidade do valor fenotípico mensurado em prever o verdadeiro valor genotípico (FALCONER, 1987; CRUZ e REGAZZI, 1996). Assim, pode-se saber se as diferenças detectadas são de natureza predominantemente genética e se a seleção proporcionará ganhos em programas de melhoramento genético.

Quadro 6 - Estimativas de parâmetros genéticos e ambientais de famílias de meios-irmãos de milho-pipoca branco, referentes ao ensaio conduzido em Sete Lagoas

Característica	Ho: $\sigma_g^2 = 0$	Coef. de variação CVg		CVg/CVe Cor	Herdabilidade	
		Original	Corrigido		Original	Corrigido
AP	0,000**	9,2676	9,26	2,9868	0,9069	0,9230
AE	0,000**	13,2607	13,22	2,6648	0,8865	0,8605
FLF	10,949 ^{ns}	3,2772	3,26	0,9346	0,4658	0,4178
NPA	0,954**	185,4742	200,33	0,9493	0,7106	0,7266
NPQ	9,099 ^{ns}	75,772	76,31	0,8929	0,4938	0,4807
NP	50,005 ^{ns}	3,795	3,73	0,2312	0,0514	0,0467
NE	0,019**	21,5738	21,65	2,5168	0,8689	0,8671
PF	42,076 ^{ns}	7,2412	7,40	0,3882	0,1307	0,1157
PE	3,51*	25,8566	26,02	1,1501	0,6072	0,6443
CE	7,767 ^{ns}	15,5576	15,44	0,9659	0,5160	0,5094

** : significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

* : significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

^{ns} : não-significativo.

CVg: coeficiente de variação genético (%); CVg/CVe: relação entre os coeficientes de associação genético e experimental; Ho: $\sigma_g^2 = 0$: significância, pelo teste F, associada à hipótese testada; AP: altura de plantas (cm); AE: altura de espigas (cm); FLF: florescimento feminino (dias); NPA: número de plantas acamadas; NPQ: número de plantas quebradas; NP: número de plantas ou estande; NE: número de espigas por parcela; PF: prolificidade; PE: peso de espigas (g); CE: capacidade de expansão (ml/ml).

Os valores das características observadas têm duas naturezas, uma ambiental e a outra genética. Interessa ao melhorista que as variações sejam determinadas por fatores genéticos, pois são estes fatores que podem ser fixados e passados de uma geração para as gerações seguintes. No Quadro 6 verificam-se valores acima de 60% de herdabilidade para as características AP (92,30%), AE (86,05%), NPA (72,66%), NE (86,71%) e PE (64,43%). Já a CE apresentou herdabilidade de 50,94%.

É interessante observar que, com a correção das médias, houve aumento no valor da herdabilidade apenas para as características AP, NPA e PE e diminuição no valor da herdabilidade das demais características (Quadro 6). A herdabilidade é obtida pela razão entre a variância genética, que não é alterada com a correção, e a variância fenotípica, que é alterada com a correção das médias. Assim, os valores das herdabilidades das características avaliadas também serão alterados.

Como as herdabilidades das características NE e PE são altas (a correlação é de 0,8404), como será visto no Quadro 8, e as características possuem variabi-

lidade significativa a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, é viável a realização de um trabalho de melhoramento visando o aumento da produtividade.

Outro indicativo da superioridade das variações atribuídas a causas genéticas é a relação CVg/CVe , que, quando superior à unidade, traduz situação favorável ao melhoramento (VENCOVSKY, 1978). Neste estudo, essa relação foi acima de 1,15 para as características AP, AE, NE e PE; assim, existe situação favorável ao melhoramento visando alteração no porte e na produtividade.

No Quadro 7 estão apresentadas as estimativas de parâmetros genéticos e ambientais das famílias de meios-irmãos de milho-pipoca branco, referentes ao ensaio conduzido em Viçosa-MG.

Os valores das herdabilidades, para a maioria das características, mesmo após a correção, foram indeterminados, ou seja, não foi possível calcular a herdabilidade, da maioria das características avaliadas, em razão de o valor estimado para a variância genética ter sido negativo com os dados de Viçosa. Além disso, os valores de herdabilidade conseguidos não são confiáveis, já que os coeficientes de variação, que medem a precisão experimental, foram todos altos (Quadro 3).

Quadro 7 - Estimativas de parâmetros genéticos e ambientais de famílias de meios-irmãos de milho-pipoca branco, referentes ao ensaio conduzido em Viçosa

Característica	Ho: $\sigma_g^2 = 0$	Coef. de variação		CVg/Cve Cor.	Herdabilidade	
		CVg Orig.	CVg Cor.		h ² Orig.	h ² Cor.
AP	100,00 ^{ns}	0	0	0	0	0
AE	100,00 ^{ns}	36,46	0	0	0	0
NPA	100,00 ^{ns}	0	0	0	0	0
NPQ	32,802 ^{ns}	39,86	38,08	0,3921	0,2324	0,2260
EME	38,819 ^{ns}	28,40	28,84	0,3172	0,1716	0,1746
NE	28,559 ^{ns}	22,17	22,14	0,4637	0,2758	0,2011
PF	100,00 ^{ns}	0	0	0	0	0
ED	100,00 ^{ns}	0	0	0	0	0
PE	100,00 ^{ns}	0	0	0	0	0
CE	100,00 ^{ns}	0	0	0	0	0

^{ns}: não significativo.

CVg: coeficiente de variação genético (%); CVg/CVe: relação entre os coeficientes de associação genético e experimental; $H_0: \sigma_g^2 = 0$: significância, pelo teste F, associada à hipótese testada; AP: altura de plantas (cm); AE: altura de espigas (cm); NPA: número de plantas acamadas; NPQ: número de plantas quebradas; EME: espigas mal empalhadas; NE: número de espigas por parcela; PF: prolificidade; ED: espigas doentes; PE: peso de espigas (g); CE: capacidade de expansão (ml/ml).

4.4. Correlações

O conhecimento da associação entre caracteres é de grande importância nos trabalhos de melhoramento, principalmente se a seleção em um deles apresenta dificuldades, em razão da baixa herdabilidade, e, ou, tenha problemas de medição e identificação (CRUZ e REGAZZI, 1997).

Segundo PELUZIO (1999), a grande maioria das características de importância econômica apresenta herança complexa, quantitativa e de baixa herdabilidade, podendo ser de difícil medição ou identificação. Características mais simples, ou de menor importância econômica, porém mais facilmente identificadas e medidas com elevados coeficientes de herdabilidade, podem estar associadas às características de maior importância econômica, e a medida dessa associação é a correlação.

Uma vez conhecidos a magnitude e o sinal, a correlação com uma característica secundária pode auxiliar no trabalho de melhoramento se esta característica tiver alta herdabilidade e alta correlação, positiva ou negativa, com a característica principal desejada. No caso deste trabalho, foram considerados como características principais o PE e a CE.

No Quadro 8 estão apresentadas as estimativas de correlações genética, fenotípica e ambiental corrigidas das famílias de meios-irmãos de milho-pipoca branco, referentes ao ensaio conduzido em Sete Lagoas. Nesse caso, considerou-se como características de maior interesse o PE e a CE, de forma que as correlações obtidas serão indicativo da viabilidade de obter ganhos indiretos nessas características por meio das demais, consideradas características secundárias ou auxiliares.

Quadro 8 - Estimativas de correlações genética, fenotípica e ambiental corrigidas de famílias de meios-irmãos de milho-pipoca branco, referentes ao ensaio conduzido em Sete Lagoas

Característi cas	Peso de Espiga			Capacidade de Expansão		
	r _f	r _g	r _a	r _f	r _g	r _a
AP	0,3456**	0,5643	0,1502	0,2682**	0,6068	-0,5267
AE	0,2976**	0,4206	0,3937	0,2802**	0,6834	-0,6213
FLF	-0,1182 ^{ns}	0,1398	-0,4376	0,3433**	0,2418	0,4329
NPA	-0,0783 ^{ns}	0,1207	-0,4027	-0,02 ^{ns}	-0,3973	0,6792
NPQ	-0,48**	-0,0644	-0,0299	-0,0789 ^{ns}	0,1458	-0,341
NE	0,5178**	0,8404	0,7281	0,2037**	0,4542	-0,3821
PF	0,3536**	0,8946	0,2258	0,2039**	1,3935	-0,2225
ED	-0,1168 ^{ns}	-	-0,2965	-0,0492 ^{ns}	-	0,2228
PE	1,0	1,0	1,0	0,1916**	0,4879	-0,1926
CE	0,1916**	0,4879	-0,1926	1,0	1,0	1,0

** : significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

* : significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

ns: Não-significativo.

- : variância genética de pelo menos uma das variáveis da associação é nula ou negativa.

r_f: correlação fenotípica; r_g: correlação genética; r_a: correlação ambiental.

AP: altura de plantas (cm); AE: altura de espigas (cm); FLF: florescimento feminino (dias); NPA: número de plantas acamadas; NPQ: número de plantas quebradas; NE: número de espigas por parcela; PF: prolificidade; ED: espigas doentes; PE: peso de espigas (g); CE: capacidade de expansão (ml/ml).

De modo geral, as correlações genotípicas foram maiores do que aos de ambiente; desse modo, fica evidenciada a maior influência das causas genéticas na determinação da correlação fenotípica (Quadro 8).

Observa-se também, no Quadro 8, que nem todas as correlações genotípicas e ambientais apresentam o mesmo sinal; segundo FALCONER (1987), nos casos em que isso acontece, há indicativo de que as causas da variação genética e ambiental influenciaram os caracteres por meio de diferentes mecanismos fisiológicos. Outra explicação é de que geralmente essa diferença entre os sinais das correlações genéticas e ambientais ocorre devido a erros de amostragem (CRUZ e REGAZZI, 1997).

Como já visto em revisão, geralmente, os caracteres de maior importância agrônômica correlacionam-se negativamente com a capacidade de expansão, o

que neste estudo não aconteceu. Como é visto no Quadro 8, a capacidade de expansão teve correlação genética positiva com as características PE (0,4879) e NE (0,4542), que são características determinantes da produtividade, ou traduzem uma situação favorável ao melhoramento, já que, selecionando-se famílias com maior produção, poderá haver aumento da CE.

Segundo alguns autores, como BRUNSON (1931), DOFING et al. (1991) e LIMA et al. (1971), uma das dificuldades do melhoramento de milho-pipoca é a correlação negativa encontrada entre as características capacidade de expansão e produção. No entanto, são encontrados valores diferentes de correlações em diferentes trabalhos, significando que existe maior ou menor dificuldade no melhoramento da capacidade de expansão quando se deseja melhorar também a produtividade. Como já visto, a correlação genética entre as características CE e PE, neste trabalho, foi positiva (0,4879), indicando não existir dificuldade no melhoramento simultâneo para essas duas características.

As características relacionadas ao porte da planta - AP e AE - estão positivamente correlacionadas com a produção e com a CE, indicando que a seleção para plantas de porte menor, objetivando a diminuição do acamamento e quebraimento, poderá diminuir também a produção e, em menor escala, a capacidade de expansão.

Patemiani (1968), citado por PELUZIO (1999), observou que plantas mais altas tendiam a ter maior altura de espiga e também maior produtividade, já que elas possuíam maior número de folhas que estaria associado à produção. É de se esperar, portanto, que a seleção feita no sentido de diminuir o porte da planta pode levar a uma diminuição, não desejada, na produtividade. Neste trabalho, selecionando-se plantas com menor porte também poderá haver diminuição na CE, uma vez que esta característica é altamente correlacionada com o porte.

No Quadro 9 estão apresentadas as estimativas de correlações genéticas, fenotípicas e ambientais não-corrigidas das famílias de meios-irmãos de milho-pipoca branco, referentes ao ensaio conduzido em Sete Lagoas.

Comparando as estimativas das correlações corrigidas e não-corrigidas apresentadas nos Quadros 8 e 9, respectivamente, verifica-se diminuição geral no

valor das correlações genética, fenotípica e ambiental, após a correção, para a maioria das características. Entretanto, houve aumento nas estimativas das correlações genéticas entre a característica PE e as demais características, a não ser em relação às características PF e CE.

Quadro 9 - Estimativas de correlações genotípica, fenotípica e ambiental não-corrigidas de famílias de meios-irmãos de milho-pipoca branco, referentes ao ensaio conduzido em Sete Lagoas

Característica	Peso de Espiga			Capacidade de Expansão		
	r_f	r_g	r_a	r_f	r_g	r_a
AP	0,4475	0,5326	0,2147	0,3033	0,7852	-0,5244
AE	0,3917	0,4152	0,3671	0,3166	0,8772	-0,6172
FLF	-0,1261	0,1119	-0,3871	0,3387	0,1506	0,4494
NPA	-0,0565	0,0938	-0,3381	0,0137	-0,6144	0,6749
NPQ	-0,0486	-0,0273	-0,0708	-0,0952	0,205	-0,3225
NE	0,7756	0,8228	0,7169	0,2078	0,5877	-0,4097
PF	0,384	2,0766	0,2961	0,2176	4,7246	-0,184
ED	-0,0801	-	-0,191	0,0189	-	0,2258
PE	1,0	1,0	1,0	0,1891	0,5598	-0,1861
CE	0,1891	0,5598	-0,1861	1,0	1,0	1,0

-: variância genética de pelo menos uma das variáveis da associação é nula ou negativa.

r_f : correlação fenotípica; r_g : correlação genética; r_a : correlação ambiental.

AP: altura de plantas (cm); AE: altura de espigas (cm); FLF: florescimento feminino (dias); NPA: número de plantas acamadas; NPQ: número de plantas quebradas; NE: número de espigas por parcela; PF: prolificidade; D: espigas doentes; PE: peso de espigas (g); CE: capacidade de expansão (ml/ml).

No Quadro 10 estão apresentadas as estimativas de correlações genotípica, fenotípica e ambiental de famílias de meios-irmãos de milho-pipoca branco, referentes ao ensaio conduzido em Viçosa.

Não foi possível determinar a correlação genética da maioria das características em razão de a variabilidade de uma das variáveis da associação ser nula ou negativa.

Quadro 10 - Estimativas de correlações genotípica, fenotípica e ambiental de famílias de meios-irmãos de milho-pipoca branco, referentes ao ensaio conduzido em Viçosa

Características	Peso de Espiga			Capacidade de Expansão		
	r_f	r_g	r_a	r_f	r_g	r_a
AP	0,5004	-	0,6246	0,0105	-	0,4178
AE	0,4828	-	0,5823	0,1332	-	0,5122
FLF	0,0851	-	0,4021	-0,0856	-	0,2195
NPA	0,1165	-1,6663	0,5457	-0,0476	-	0,3484
NPQ	0,2597	-	0,318	-0,0818	-	-0,035
NE	0,5584	-	0,6287	-0,051	-	0,3709
PF	0,512	-	0,8668	-0,134	-	0,8615
ED	0,3306	-	0,4398	0,1101	-	0,633
PE	1,0	1,0	1,0	0,0962	-	0,8751
CE	0,0962	-	0,8751	1,0	1,0	1,0

-: variância genética de pelo menos uma das variáveis da associação é nula ou negativa.

r_f : correlação fenotípica; r_g : correlação genotípica; r_a : correlação ambiental.

AP: altura de plantas (cm); AE: altura de espigas (cm); NPA: número de plantas acamadas; NPQ: número de plantas quebradas; EME: número de espigas mal empalhadas; NE: número de espigas por parcela; PF: prolificidade; D: espigas doentes; PE: peso de espigas (g); CE: capacidade de expansão (ml/ml).

4.5. Predição de Ganhos por Seleção

4.5.1. Ganho por Seleção Direta e Indireta em CE e PE

Neste trabalho foram utilizados dois métodos para obtenção das estimativas dos ganhos, sendo o primeiro (método 1) baseado na quantidade de indivíduos selecionados, que foi considerada como de 36 plantas, e o segundo (método 2), no diferencial de seleção. Em geral, verifica-se boa concordância dos resultados, indicando que ambos são adequados ao melhoramento. Esse fato é esperado principalmente para características quantitativas que seguem distribuição normal.

No Quadro 11 são apresentados os ganhos de seleção direto e indireto obtidos para características CE e PE e o ganho indireto através da seleção para as características AP, AE, NPA e NE.

Quadro 11 - Ganhos de seleção direto e indireto nas características CE e PE e ganho indireto em CE e PE com seleção em AP, AE, NPA e NE

Seleção em:	Resposta em CE				Resposta em PE			
	Método 1		Método 2		Método 1		Método 2	
	GS	GS%	GS	GS%	GS	GS%	GS	GS%
AP	2,2574	12,69	-0,1781	-1,00	364,7197	19,89	-141,7721	-7,73
AE	2,4546	13,80	-0,3221	-1,81	262,455 2	14,31	-110,3821	-6,02
NPA	-1,3112	-7,37	-0,2239	-1,26	69,2270	3,78	60,305	3,29
NE	1,6376	9,20	0,8968	5,04	526,460 5	28,71	395,5925	21,57
PE	1,5163	8,52	0,8666	4,87	540,006 6	29,45	523,8299	28,57
CE	2,7636	15,53	2,7789	15,62	234,250 9	12,77	207,9037	11,34

AP: altura de plantas; AE: altura de espigas; NPA: número de plantas acamadas; NE: número de espigas por parcela; PE: peso de espigas, CE: capacidade de expansão.

Quando se deseja selecionar apenas em uma característica, é recomendável o uso da seleção direta, a não ser que a herdabilidade desta característica seja muito baixa e, ou, seja uma característica de difícil mensuração. Neste caso, pode se utilizar seleção em uma característica secundária, porém que tenha alta herdabilidade e que seja altamente correlacionada com a característica que se queira melhorar.

Como é visto no Quadro 11, a seleção direta para a característica PE proporciona ganho para as duas características, porém os ganhos para CE são bem menores, tanto no método 1 como no método 2.

Quando a seleção direta é feita para a característica CE, os ganhos se mostram maiores, acima do que seria obtido com a seleção indireta, apresentando situação mais favorável ao melhoramento da CE, porém o ganho a ser obtido em PE é reduzido para valor inferior à metade do que seria obtido pela seleção direta nesta característica.

Os ganhos foram calculados levando-se em consideração a seleção visando diminuição das médias das características altura de plantas, altura de espigas e acamamento e aumento das médias das características número de espigas, peso de espigas e capacidade de expansão.

Como pode ser visto no Quadro 11, a seleção para diminuir o porte, AP e AE, proporcionou ganho negativo na CE e no PE, considerando o método 2. Provavelmente isso aconteceu devido à correlação genética positiva entre estas características.

Um fato interessante a ser observado é que a seleção direta nas características ligadas à produção, como NE e PE, proporcionou ganhos positivos, por ambos os métodos, na característica capacidade de expansão.

Ao ser feita seleção direta em PE, o ganho predito foi de 29,45% pelo método 1 e 28,57% pelo método 2, porém o ganho indireto para a característica CE foi de apenas 8,52% pelo método 1 e 4,87% pelo método 2, que são valores inferiores aos valores de ganho de seleção obtidos com seleção direta em CE. Apesar de a produção ser característica importante, os baixos valores de ganhos na característica CE não são interessantes.

No Quadro 12 é apresentado o efeito da seleção em CE e PE sobre as características AP, AE, NPA e NE.

Como pode ser visto neste quadro, com a seleção, praticada ou para aumento em CE ou em PE, haverá ganhos nas características AP, AE e NE, que são características ligadas à produtividade. Os ganhos nas características AP e NPA, que são indesejáveis, foram bem próximos quando feita seleção em CE, pelo método 1, e em PE, pelo método 2. Já o ganho para a característica NE foi maior quando foi feita seleção em PE, pelo método 1, chegando a ser quase o dobro do ganho obtido com a seleção em CE, pelo método 1. O ganho indireto predito para a característica NPA foi negativo, a não ser pelo método 1 com seleção direta em PE, quando foi feita seleção em CE e também quando foi feita seleção em PE. Provavelmente isso acontece devido à baixa correlação genotípica com essas características. Esse fato será mais bem esclarecido com a

visualização das Figuras 3, 4 e 5. Cada figura é dividida em quatro partes, denominadas quadrante, por dois eixos, um vertical e outro horizontal.

Quadro 12 - Seleção direta e indireta em famílias de meios-irmãos de milho-pipoca branco em Sete Lagoas

Respost a em:	Seleção em CE				Seleção em PE			
	Método 1		Método 2		Método 1		Método 2	
	GS	GS%	GS	GS%	GS	GS%	GS	GS%
AP	12,548 5	5,65	9,3808	4,23	13,1239	5,91	12,5224	5,64
AE	11,506 4	9,09	8,4968	6,72	7,9642	6,29	12,0136	9,5
NPA	-0,7050	-80,09	-0,0259	-2,95	0,2409	27,37	-0,2955	-33,57
NE	2,6046	9,9	2,2297	8,47	5,4204	20,59	4,9737	18,9
PE	234,25 09	12,77	207,90 37	11,34	540,006 6	29,45	523,8299	28,57
CE	2,7636	15,53	2,7789	15,62	1,5163	8,52	0,8666	4,87

AP: altura de plantas; AE: altura de espiga; NPA: plantas acamadas; NE: número de espigas por parcela; PE: peso de espigas, CE: capacidade de expansão.

Na Figura 3, as famílias de meios-irmãos estão plotadas de acordo com os valores médios das características NPA e CE. Desse modo, pode ser explicada mais facilmente a diferença de sinais no GS% dos métodos 1 e 2, no Quadro 12.

Uma correlação de -1 , na Figura 3, seria representada por uma reta que cortaria o primeiro e o quarto quadrante, com todas as famílias pertencendo a esses dois quadrantes apenas. No entanto, como a correlação genética entre as características capacidade de expansão e acamamento foi de $-0,3973$, existem famílias de meios-irmãos também nos outros quadrantes. Ao ser feita seleção para aumento da CE, algumas das famílias de meios-irmãos que estão fora do primeiro e quarto quadrantes foram selecionadas; com isso, os sinais do GS% no método 1 e no método 2 são divergentes.

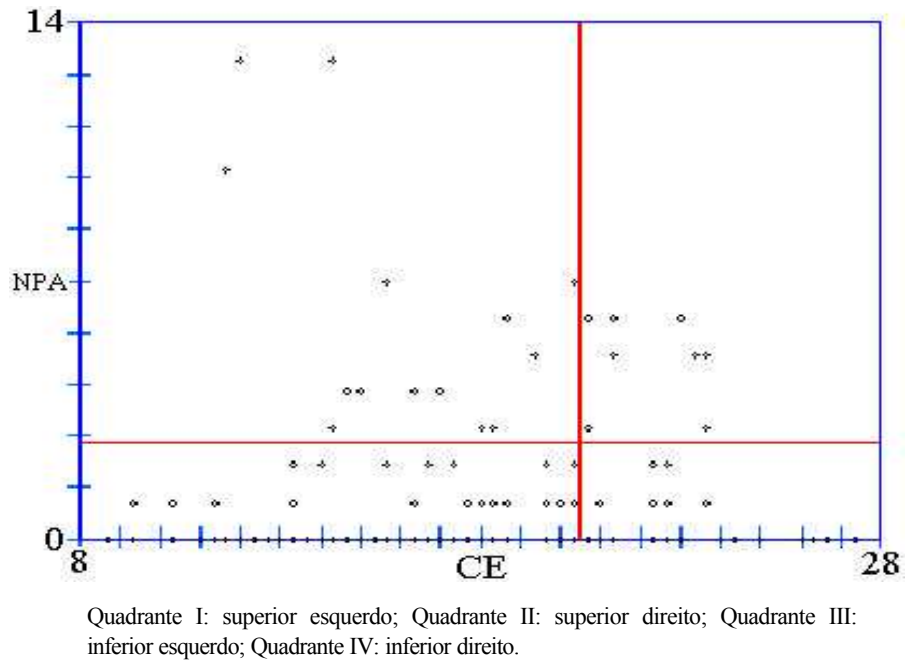


Figura 3 - Gráfico representativo dos valores obtidos das famílias de meios-irmãos de milho-pipoca branco, para as características NPA e CE.

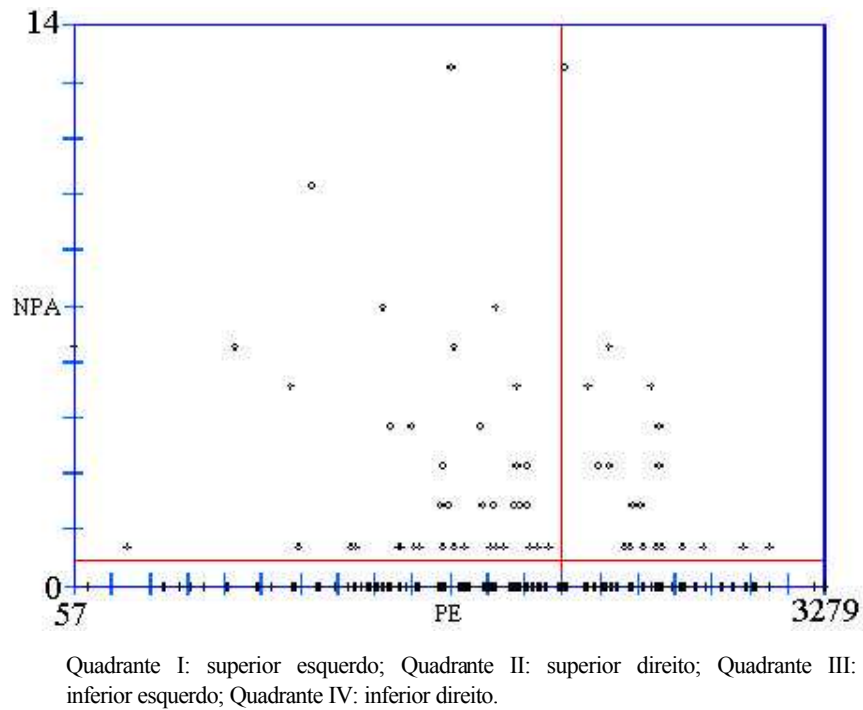


Figura 4 - Gráfico representativo dos valores obtidos das famílias de meios-irmãos de milho-pipoca branco, para as características NPA e PE.

Na Figura 4 é mostrada situação semelhante à apresentada na Figura 1. Mesmo sendo positiva, existem famílias de meios-irmãos que não demonstram essa correlação, ou seja, apresentam valores acima do eixo para uma característica e abaixo para a outra. Como visto no Quadro 12, o GS% do método 1 teve sinal diferente do GS% obtido com o método 2. Esse fato provavelmente aconteceu em virtude de a correlação genética entre as características NPA e PE ser muito baixa (0,1207), como pode ser observado (Quadro 8), significando maior dispersão das famílias, como é visto na Figura 4.

No método 2, o GS% foi negativo (-33,57), provavelmente devido ao cálculo do diferencial de seleção, uma vez que as famílias selecionadas possuíam média menor para a característica NPA do que as médias de todas as famílias da população original. No método 1, o GS% foi positivo devido ao valor positivo da correlação (0,1207), que foi calculado considerando-se todas as famílias.

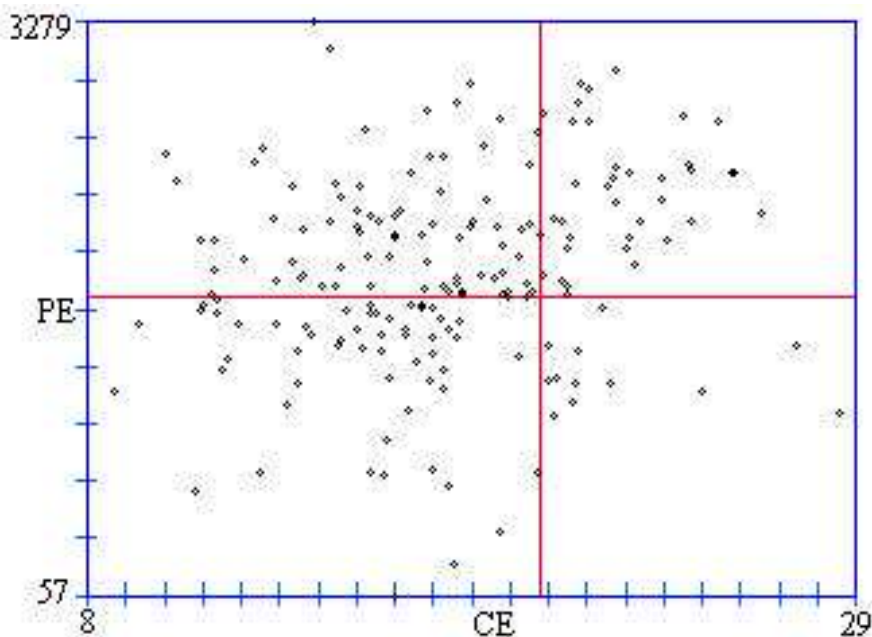
Considerando o motivo da diferença dos sinais entre os métodos, tanto para a característica CE quanto para a característica PE, deve ser referido em um trabalho de melhoramento o método 2, uma vez que este é baseado no diferencial de seleção e apresenta resultado mais confiável. O método 1 deve ser usado como uma comparação, já que não é muito confiável; mas, neste caso, apresentou GS% razoavelmente próximo ao obtido pelo método 2, para as características AP, AE, NE, PE e CE.

4.5.2. Seleção Simultânea Visual

Na Figura 5 é mostrado o gráfico que permite visualizar as conseqüências da seleção direta e indireta de famílias de meios-irmãos de milho-pipoca branco, incluindo apenas as características CE e PE.

Como já explicado anteriormente, as famílias de meios-irmãos de milho-pipoca branco, na Figura 5, estão divididas em quatro quadrantes, de acordo com o PE e com a CE de cada família. Os valores de PE variam de 57 a 3.279 g/parcela no eixo das ordenadas (Y), e os valores de CE variam de 8 a 28 ml/ml no eixo das abscissas (X). Por seleção simultânea, seriam selecionadas apenas as famílias mostradas no segundo quadrante do gráfico; estas famílias

satisfazem ambas as características desejadas, apesar de, nestes quadrantes, não conterem as famílias com os maiores valores de PE e de CE.



Quadrante I: superior esquerdo; Quadrante II: superior direito; Quadrante III: inferior esquerdo; Quadrante IV: inferior direito.

Figura 5 - Gráfico representativo dos valores obtidos de famílias de meios-irmãos de milho-pipoca branco, para as características CE e PE.

Como também pode ser visto pela Figura 5, as famílias com valores altos em apenas uma das duas características não seriam selecionadas, como a família que apresentou maior valor de PE e a que apresentou maior valor de CE. Apesar de um dos objetivos deste trabalho ser o aumento da produtividade, se forem selecionadas famílias de alta produtividade, mas com baixa CE, esta última será prejudicada e a qualidade da pipoca diminuirá.

No Quadro 13 estão apresentadas as médias das características do grupo original e do grupo de famílias selecionadas por seleção visual, feita com base na dispersão gráfica obtida em relação às características CE e PE. Neste quadro foi utilizado o método baseado no diferencial de seleção para o cálculo do GS%.

Quadro 13 - Média das famílias e média das famílias selecionadas após a seleção simultânea visual feita nas famílias de meios-irmãos de milho-pipoca branco do ensaio conduzido em Sete Lagoas

Média	Características									
	AP	AE	FLF	NPA	NPQ	NP	NE	PF	PE	CE
M _f	221,93 3	126,52 3	56,020	0,880	1,991	19,011	26,320	1,391	1833,747	17,79 2
M _s	237,75 6	138,40 2	57,213	0,957	1,508	19,475	29,981	1,532	2321,33 3	22,56 8
h ²	92,30	86,05	41,78	72,66	48,07	4,67	86,71	11,57	64,43	50,94
GS%	6,58	8,07	0,88	6,35	-11,66	0,11	12,06	1,17	17,13	13,67

M_f: média das famílias; M_s: média das famílias selecionadas; h²: herdabilidade (%); GS%: ganho de seleção (%).

Comparando o GS% do Quadro 13 com os obtidos no Quadro 12, usando-se o método 2, é observado que, através da seleção simultânea visual feita nas características CE e PE, as características relacionadas ao porte da planta - AP e AE - tiveram maior GS%, exceto para a característica AE, quando feita seleção direta em PE. As características ligadas à produção - NE e PE - tiveram ganho maior do que o obtido com a seleção para CE, mas menor do que o obtido com a seleção para PE. A seleção direta para CE ainda proporcionou ganhos maiores para esta característica. Com a seleção simultânea visual, o GS% obtido para CE foi próximo do ganho obtido com a seleção direta e proporcionou ganho para a característica PE maior do que o obtido com a seleção direta apenas para CE.

4.5.3. Seleção Simultânea Visando Ganhos em Várias Características

Para se obter um produto satisfatório é necessário que este atenda às necessidades, tanto do produtor quanto do consumidor. Nesse caso, a seleção direta não é recomendada, uma vez que a variabilidade genética de algumas características não será aproveitada e serão obtidos ganhos inferiores em características que também seriam de interesse. Além disso, o tempo gasto no trabalho de melhoramento, selecionando-se a princípio uma característica por vez, será bem maior que o tempo gasto no trabalho de melhoramento utilizando-se um método

mais eficiente. Nesse caso, o que deve ser feito é a seleção simultânea das características desejadas.

O índice de seleção é um critério de classificação de indivíduos a serem selecionados que leva em consideração as propriedades genéticas que estão sendo estudadas; assim, em um grupo de características, todas devem ser consideradas importantes e podem contribuir no processo seletivo, permitindo melhor e mais eficiente alocação dos recursos genéticos de que dispõem.

Segundo CASTOLDI (1997), quando é utilizada a resposta correlacionada, os ganhos obtidos nas características, por meio da seleção feita em uma característica principal, se devem às associações intrínsecas entre essas variáveis, não havendo tratamento preliminar nas variáveis secundárias com o objetivo de obter genótipos com o conjunto desejado de características. Ainda segundo o autor, o fato mencionado não acontece quando se usa o índice de seleção, visto que as características recebem tratamento individualizado, permitindo assim que indivíduos ou famílias que reúnam em si, equilibradamente, características desejáveis sejam identificados e selecionados pelo melhorista. Em seu trabalho, CASTOLDI (1997) analisou três ideótipos: plantas produtivas, baixas, precoces e rústicas, plantas produtivas, baixas e precoces e plantas produtivas e rústicas. Estratégia semelhante foi utilizada neste trabalho.

Inicialmente considerou-se a possibilidade de obter ganhos simultâneos nas características de produtividade, CE e porte. Como visto anteriormente, a seleção direta para CE ou PE proporciona modificações indesejáveis no porte e na frequência de tombamento das plantas.

No Quadro 14 estão apresentados os pesos econômicos utilizados no índice clássico de SMITH (1936) e HAZEL (1943) e os ganhos esperados, com base no diferencial de seleção, calculados para as características CE e PE, levando-se em consideração as características relacionadas ao porte.

Verifica-se, no Quadro 14, que foram testados alguns pesos econômicos com o objetivo de conseguir ganhos positivos nas características CE e PE e ganhos negativos nas características AP, AE, NPA e NPQ. É interessante observar a possibilidade de obtenção de pesos que satisfaçam, ou que cheguem próximos às necessidades do melhorista, porém, em alguns casos, pode ser necessária a

escolha entre um valor de ganho desejado, em poucas características, ou a satisfação das restrições para a maioria das características, porém com menor ganho.

Quadro 14 - Pesos econômicos utilizados no índice clássico de SMITH (1936) e HAZEL (1943) e ganhos esperados para as características CE, PE, AP, AE, NPA e NPQ

Características (GS%)						Pesos Econômicos					
CE	PE	AP	AE	NPA	NPQ						
8,34	25,67	8,05	10,16	41,04	-8,5	1	1	0	0	0	0
8,16	26,42	7,72	9,6	25,94	-12,12	1	1	-1	-1	-1	-1
8,16	26,42	7,72	9,6	25,94	-12,12	15,43*	26,01*	-9,25*	-13,22*	-200,32*	-76,31*
1,81	23,46	-0,03	-1,62	15,58	-2,47	1	1	-8	-8	1	1
11,78	13,43	10,71	14,5	-44,15	-19,62	1	1	1	1	-8	-8

*: coeficiente de variação genético (CVg%), conforme sugerido por Cruz (1990).

GS%: ganho esperado baseado no diferencial de seleção; AP: altura de plantas; AE: altura de espiga; NPA: plantas acamadas; NPQ: número de plantas quebradas; PE: peso de espigas; CE: capacidade de expansão.

Uma estratégia a ser utilizada é a seleção nas características principais - CE e PE - e nas características relacionadas ao porte da planta, AP, AE, NPA e NPQ. Nesse caso, o ganho de seleção esperado em percentagem seria de no máximo 11,78% para CE, e para PE seria de 13,43%. O ganho em PE pode ser maior, porém com perda na CE. Caso a seleção seja feita visando o aumento, principalmente do PE, o maior ganho esperado a ser obtido seria de 26,42%, mas a CE seria de apenas 8,16%.

Outra estratégia de seleção simultânea considerada neste trabalho foi obter ganhos em CE, produtividade e FLF. No Quadro 15 estão apresentados os pesos econômicos utilizados no índice clássico de SMITH (1936) e HAZEL (1943) e os ganhos esperados baseados no diferencial de seleção, calculados para as características CE e PE, levando-se em consideração a característica FLF.

Quadro 15 - Pesos econômicos utilizados no índice clássico de SMITH (1936) e HAZEL (1943) e ganhos esperados para as características CE e PE

Características (GS%)			Pesos Econômicos		
CE	PE	FLF			
8,66	27,77	0,66	1	1	0
8,66	27,77	0,66	15,43*	26,01	3,26

1,26	23,06	1,79	1	1	200
------	-------	------	---	---	-----

*: coeficiente de variação genético (CVg%), conforme proposto por Cruz (1990).

GS%: ganho esperado baseado no diferencial de seleção; PE: peso de espigas; CE: capacidade de expansão; FLF: florescimento feminino.

A seleção das famílias superiores, considerando-se o FLF, permite ganho de 8,66% para a CE e de 27,77% para PE. Nesse caso, não houve precocidade, contudo a escolha de pesos econômicos que favoreceram a característica PE não proporcionou menor GS% para a característica CE.

Verifica-se, nos Quadros 14 e 15, que a utilização do coeficiente de variação genético como peso econômico, conforme CRUZ (1990), não proporcionou ganhos maiores que os pesos 1, 0 e -1.

Pelo exposto, é possível selecionar famílias que possuam simultaneamente várias características desejáveis, como duração do ciclo, melhor sanidade, menor porte, maior produtividade e maior capacidade de expansão. No entanto, pode ser necessário o aumento da intensidade de seleção, que diminuirá o número de famílias selecionadas. Neste estudo, que pode ser considerado como etapa inicial do programa de melhoramento da população milho-pipoca branco, a diminuição do número de famílias selecionadas não é desejável. A opção por alta intensidade de seleção no início de um programa de melhoramento pode levar à perda ou ao não-aproveitamento da variabilidade genética disponível.

A variabilidade disponível na população estudada e as informações contidas nos vários índices considerados permitirão, futuramente, orientar trabalhos de melhoramento da população de milho-pipoca branco para fins comerciais.

5. CONCLUSÕES

Os objetivos deste trabalho foram avaliar o desempenho de famílias de meios-irmãos de milho-pipoca branco, utilizando o delineamento sem repetições com testemunhas intercalares, quanto à produtividade e à capacidade de expansão, estimar parâmetros genéticos para o estabelecimento de métodos eficazes de melhoramento e predição de êxito no programa e, com isso, identificar famílias superiores com potencial para serem recombinadas, para formação de uma ou mais populações melhoradas.

Foram avaliadas 183 famílias de meios-irmãos de milho-pipoca branco que já haviam sido obtidas em trabalhos passados. Os dados obtidos com os ensaios realizados foram empregados na estimação de parâmetros genéticos e ambientais, como variância fenotípica, variância genotípica, herdabilidade e correlação, visando avaliar o potencial das famílias para o melhoramento.

Para a seleção das 36 famílias foram utilizados seleção simultânea visual com base apenas nas características PE e CE; o índice clássico de SMITH (1936) e HAZEL (1943), utilizando-se também como peso econômico o coeficiente de variação genético das características de interesse (CRUZ, 1990); e o método de seleção direta e indireta.

Aparentemente, a CE apresentou variabilidade significativa a 7,76% de probabilidade pelo teste F, possivelmente devido ao delineamento utilizado,

porém é possível que esta característica seja melhorada, assim como a produtividade, de maneira direta ou indireta. Isso foi comprovado pelos três métodos de estimação de ganhos empregados neste trabalho.

Pôde-se chegar às seguintes conclusões:

- Dados mal gerados produzirão dados não-confiáveis, além de perda de tempo e de recursos.
- Apesar de apresentar variabilidade significativa de 7,76%, a característica CE pode ser melhorada, simultaneamente com características ligadas à produtividade, como PE e NE.
- O delineamento experimental sem repetições com testemunhas intercalares é prático e eficiente, devendo ser usado para facilitar trabalhos de melhoramento, porém não deve ser utilizado para recomendação de variedade; nesse caso, devem ser feitos ensaios com r repetições em l locais.
- A baixa prolificidade não é limitante para a produtividade, uma vez que as características relacionadas à produção, como PE e NE, possuem variabilidade e alta herdabilidade.
- A seleção em CE não implicará diminuição na produtividade, visto que existe correlação genética positiva entre CE e as características PE e NE.
- O índice de seleção é um recurso eficiente e que deve ser usado em programas de melhoramento quando se almejam ganhos simultâneos em várias características.
- A intensidade de seleção neste trabalho foi de 36 plantas (20%). Caso o melhorista queira maior ganho, poderá aumentar a intensidade de seleção. No entanto, será selecionado menor número de famílias e haverá perda mais rápida da variabilidade genética, o que não é desejável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, R. A. **Cruzamentos dialélicos entre seis variedades de milho pipoca**. Viçosa, MG: UFV, 1996. 79 p. Dissertação. (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade federal de Viçosa, 1996.
- BANDEL, G. Genética. In: PATERNIANI, E. (Ed.) **Melhoramento e produção do milho no Brasil**. Fundação Cargill, 1987. 650 p.
- BORÉM, A. Herdabilidade. **Melhoramento de plantas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 547 p.
- BRUNSON, A. M. Popcorn selection for added popping expansion would pay large growers. **Yearbook of Agriculture**, v. 16, p. 441-443, 1931.
- BRUNSON, A. M. Popcorn breeding. **Yearbook of Agriculture**: 1937. p. 395-404.
- CASTOLDI, F. L. **Comparação de métodos multivariados aplicados na seleção em milho**. Viçosa, MG: UFV, 1997. 118 p. Dissertação (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- CRUZ, C. D. **Programa genes versão windows**: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 648 p.
- CRUZ, C. D. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas**. Piracicaba, SP: USP, 1990. 188p. Tese. (Doutorado em Agronomia)- Universidade de São Paulo, 1990.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2.ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 390 p.

DOFING, S. M.; THOMAS-COMPTON, M. A.; BUCK, J. S. Genotype x popping method interaction for expansion volume in popcorn. **Crop Sci.**, v. 30, n. 1, p. 62-65, 1990.

DOFING, S. M.; DCROZ-MASON, N.; THOMAS-COMPTON, M. A. Inheritance of expansion volume and yield in two popcorn x dent crosses. **Crop Sci.**, v. 31, n. 3, p. 715-718, 1991.

ELSTON, R. C. A weight free index for the purpose of ranking or selection with respect to several traits at a time. **Biometrics**, v. 29, p. 85-97, 1963.

ERWIN, A. T. The origin and history of popcorn, *Zea mays* L. var. *indurata* (Sturt.) Bailey mut. *Everta* (Sturt.) ERWIN. **Agron. J.**, v. 41, p. 53-56, 1949.

FALCONER, D. S. Introdução a genética quantitativa. Trad.: M.A. Silva e J.C. Silva. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1987. 279 p.

GALINAT, W. C. The origin of corn. In: SPRAGUE, G. F. (Ed.) **Corn and corn improvement**. New York: Academic Press, 1977. p. 1-48.

GOMES, F. P. Delineamentos experimentais simples: experimentos em blocos casualizados. In: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. **A estatística moderna na pesquisa agropecuária**. Piracicaba: 1985, p. 47-52.

GOMES, F. P. Coeficiente de variação. In: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: 1990, p. 7.

GOODMAN, M. M. História e origem do milho. In: PATERNIANI, E. (Ed.) **Melhoramento e produção do milho no Brasil**. Piracicaba: ESALQ; Fundação Cargill, 1978.

GOODMAN, M. M. **História e origem do milho**. In: PATERNIANI, E. **Melhoramento e produção do milho no Brasil**. Piracicaba: ESALQ; Fundação Cargill, 1987. p. 3-38.

HANSON, W. D.; JONSON, H. W. Methods for calculating and evaluating a general selection index obtained by pooling information for two or more experiments. **Genetics**, v. 42, n. 4, p. 421-432, 1957.

HAZEL, L. N. The genetic basis for constructing selection indices. **Genetics**, v. 28, p. 476-490, 1943.

LONNQUIST, J. H. Mass selection for prolificacy in maize. **Der zuchter**, v. 39, p. 185-188, 1967.

LIMA, M.; ZINSLY, J. R.; VENCOVSKY, R.; CAMPOS MELLO, M. R. Resultados parciais de um programa de melhoramento do milho pipoca (*Zea mays* L.) visando o aumento da produção, caracteres agronômicos e capacidade de expansão. **Relatório Científico da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**. Instituto de Genética, Piracicaba, n. 5, p. 84-93, 1971.

LIN, C. C. Index selection for genetic improvement of quantitative characters. **Theor. Appl. Genet.**, v. 52, p. 49-56, 1978.

MANGELSDORF, P. C. **Corn is the origin, evolution and improvement**. Cambridge: Havard University Press, 1974. 262 p.

MANGELSDORF, P. C.; SMITH JR., C. E. A discovery of remains of primitive maizen New Mexico. **J. Hered.**, v. 17, p. 39-43, 1949.

MATTA, F. P. **Seleção entre e dentro de famílias de meio-irmãos na população de milho pipoca beija-flor (*Zea mays* L.)**. Viçosa, MG: UFV, 2000. 83 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, 2000.

MOLL, R. H.; STUBER, C. W. Quantitative genetics – empirical results relevant to plant breeding. **Adv. Agron.**, v. 26, p. 277-313, 1974.

MORAIS, A. R.; OLIVEIRA, A. C.; CRUZ, J. C. Comparação de métodos de correção de produções de milho em parcelas experimentais. **Relatório Técnico Anual do CNPMS – 1980-1984**. Sete Lagoas, 1986. p.130.

PACHECO, C. A. P. **Associação das metodologias dialélica de Griffing e de análise de adaptabilidade e estabilidade de Eberhart e Russell**. Viçosa, MG: UFV, 1997. 118 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.

PATERNIANI, E.; MIRANDA FILHO, J. B. Melhoramento de populações. In: PATERNIANI, E. (Ed.). **Melhoramento e produção de milho no Brasil**. Piracicaba: Fundação Cargill, 1978, p. 202-256.

PELUZIO, J. B. E. **Utilização de Métodos Multivariados na seleção em Milho**. Viçosa, MG. UFV, 1999. 119 p. Dissertação (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.

REGAZZI, A. J. **Variâncias, covariâncias genéticas e índices de seleção num composto de milho (*Zea mays* L.)**. Viçosa, MG: UFV, 1978. 57 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, 1978.

ROBBINS JR., W. A.; ASHMAN, R. B. Parent-offspring popping expansion correlations in progeny of dent corn x popcorn and flint corn x popcorn crosses. **Crop Sci.**, v. 24, n. 1, p. 119-121, 1984.

ROBINSON, H. F.; COMSTOK, R. E.; HARVEY, P. H. Genotypic and phenotypic correlations in corn and their implications in selection. **Agronomy Journal**, v. 43, p. 282-287, 1951.

SAWAZAKI, E. **Melhoramento do milho pipoca**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1995, 21 p.

SAWAZAKI, E. **Parâmetros genéticos em milho – pipoca (*Zea mays* L.)**. Piracicaba: USP, 1996. 157 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, 1996.

SCHMILDT, E. R. **Correção de rendimento de parcelas, estratificação ambiental e adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho**. Viçosa, MG: UFV, 2000. 110 p. Tese (Doutorado Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, 2000.

SHI, Z. S. Selection of a set of new popcorn varieties in the Shenyang area of northeast China. **Journal of Shenyang Agricultural University**, v. 23, n. 3, p. 209-214, 1992.

SMITH, H. F. A discriminant function for plant selection. **Ann. Eugen.**, v. 7, p. 240-50, 1936.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistics**. New York: McGraw-Hill, 1980. 633 p.

STEELE, D. D.; GREGOR, B. L.; SHAE, J. B. Irrigation schedules methods for popcorn in the northern Great Plains. **Trans ASAV**, v. 40, n. 1, p. 149-155, 1997.

VENCOVSKY, R. Herança Quantitativa. In: PATERNIANI, E. (Ed.). **Melhoramento e produção de milho no Brasil**. Piracicaba: Fundação Cargill, 1978. p. 339-348.

VENCOVSKY, R.; CRUZ, C. D. Comparação de métodos de correção de rendimento de parcelas experimentais com estandes variados. I. Dados simulados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 5, p. 647-657, 1991.

WHITE, G. M.; ROSS, I. J.; PONELEIT, C. G. Influence of drying parameters on the expansion volume of popcorn. **TRANSACTIONS of the ASAE**, v. 23, n. 5, p. 1272-1276, 1980.

ZIEGLER, K. E.; ASHMAN, B. Popcorn. In: HALLAUER, A. R. **Specialty corns**. Ames: CRC Press, 1994. p.189-223.

ZINSLY, J. R.; MACHADO, J. A. Milho pipoca. In: PATERNIANI, E. (Ed.). **Melhoramento e produção de milho no Brasil**. Piracicaba: Fundação Cargill, 1978. p. 339-348.