

JOSÉ BRANCO DE MIRANDA FILHO

Professor Assistente do Departamento de
Genética da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"
da Universidade de São Paulo

**CRUZAMENTOS DIALÉLICOS E SÍNTESE DE COMPOSTOS
DE MILHO [*Zea mays L.*] COM ÊNFASE NA PRODUTIVIDADE
E NO PORTE DA PLANTA.**

Orientador : Prof. Dr. Roland Vencovsky

Tese apresentada à Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universi-
dade de São Paulo, para obtenção do
título de Doutor.

PIRACICABA
Est. São Paulo - Brasil
1974

À minha espôsa
Aos meus pais
Aos meus irmãos

DEDICO

= II =

AGRADECIMENTOS

O autor deseja expressar sinceros agradecimentos a:

Professores Dr. Ernesto Paterniani, Dr. Roland Vencovsky e Dr. João Rubens Zinsly pela elaboração do projeto do qual este estudo faz parte e pelas sugestões na sua execução. Em especial ao Dr. Roland Vencovsky, pela orientação na realização deste trabalho.

Professor Dr. Vivaldo F. da Cruz pela preciosa colaboração na elaboração de programas para computação dos dados.

Aos senhores Ayrton Razera e Oswaldo Peres, pela sua colaboração na análise dos dados.

Aos funcionários do Instituto de Genética, ESAIQ-USP, que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho

ÍNDICE

	Pág.
LISTA DAS TABELAS	VI
LISTA DAS FIGURAS	IX
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1. Estudos sobre a altura da planta e da espiga e suas re- lações com a produtividade	5
2.2. Cruzamentos dialélicos: aspectos teóricos e aplicados ...	10
2.3. Heterose em cruzamentos intervarietais de milho	14
2.4. Predição de médias em cruzamentos	19
3. MATERIAL	32
4. METODOS	35
4.1. Execução Experimental	35
4.2. Análise das tabelas dialélicas e estimação de parâmetros.	37
5. RESULTADOS	47
5.1. Análise geral dos dados	47
5.2. Análise dos cruzamentos dialélicos	48
5.3. Estimação dos parâmetros e das médias das variedades e seus híbridos com emprego de modelos reduzidos	49
5.4. Médias estimadas das populações e variâncias das estima- tivas	51
5.5. Correlações entre as médias dos híbridos e as médias das respectivas variedades parentais	51
5.6. Predição de médias de compostos	52
6. DISCUSSÃO	55
6.1. Avaliação do material e do seu potencial heterótico	55

	Pág.
6.2. Avaliação do material com base no modelo de GARDNER e EBERHART (1966)	59
6.3. Predição de médias de compostos	71
6.4. Relação entre média e variabilidade do composto	74
7. RESUMO E CONCLUSOES	76
8. SUMMARY AND CONCLUSIONS	81
9. BIBLIOGRAFIA	85

LISTA DAS TABELAS

Tabela nº		Pág.
1	Análise conjunta de três caracteres (produção de grãos, altura da planta e altura da espiga) em blocos casualizados com oito repetições em três locais (duas em Piracicaba, duas em Cosmópolis e quatro em Jaboticabal), 1972/73	98
2	Médias observadas de produção de grãos (t/ha) de nove variedades e seus híbridos em cruzamentos dialélicos. Médias de oito repetições (1972/73)	99
3	Médias observadas de altura de planta (m) de nove variedades e seus híbridos em cruzamentos dialélicos. Médias de oito repetições (1972/73)	99
4	Médias observadas de altura da espiga (m) de nove variedades e seus híbridos em cruzamentos dialélicos. Médias de oito repetições (1972/73)	100
5	Análise da variância da tabela dialélica referente às variedades do conjunto I, para os caracteres: produção (t/ha), altura da planta (m) e altura da espiga (m) ...	100
6	Análise da variância da tabela dialélica referente às variedades do conjunto II para os caracteres: produção (t/ha), altura da planta (m) e altura da espiga (m) ...	101
7	Estimativas dos parâmetros u (média das variedades parentais) v_j (efeito de variedades) em dois conjuntos de variedades para os caracteres: P: produção (t/ha), AP: altura da planta (m) e AE: altura da espiga (m)	101
8	Valores da heterose da produção de grãos (t/ha) em relação à média dos pais, observadas nos híbridos intervarietais. Abaixo da diagonal as heteroses em porcentagem da média dos pais	102

9	Valores da heterose da altura da planta (m) em relação à média dos pais, observadas nos híbridos intervarietais. Abaixo da diagonal, as heteroses em porcentagem da média dos pais	102
10	Valores da heterose da altura da espiga (m) em relação à média dos pais, observadas nos híbridos intervarietais. Abaixo da diagonal, as heteroses em porcentagem da média dos pais	103
11	Estimativa dos parâmetros h_j (heterose de variedades) e \bar{h} (heterose média) em dois conjuntos de variedades para os caracteres: P: produção (t/ha), AP: altura da planta (m) e AE: altura da espiga (m)	103
12	Intervalos de confiança (Pr: 95%) de médias observadas e médias estimadas de variedades e híbridos em dois conjuntos de variedades (conjunto I e II, sendo que $I \subset II$), para três caracteres	104
13	Médias observadas e estimadas de produção de grãos (t/ha), altura da planta (m) e altura da espiga (m), em dois conjuntos (I e II) de variedades e seus híbridos. Médias de oito repetições (duas em Piracicaba, duas em Cosmópolis e quatro em Jaboticabal). 1972/73	105
14	Amplitude de variação e desvio padrão entre médias de compostos possíveis entre sete variedades de porte baixo, e características do composto amplo, dos compostos mais promissores e das testemunhas	106

15	Amplitude de variação e desvio padrão entre médias de compostos possíveis envolvendo o "Composto Dent" em cruzamento com sete variedades de porte baixo, e características do composto amplo, dos compostos mais promissores e das testemunhas	106
16	Amplitude da variação e desvio padrão entre médias de compostos possíveis envolvendo o "Composto Flint" em cruzamento com sete variedades de porte baixo, e características do composto amplo, dos compostos mais promissores e das testemunhas	107
17	Decomposição da covariância entre as estimativas \hat{v}_j e \hat{h}_j em seus componentes genéticos e ambiental, para a produção de grãos (P), a altura da planta (AP) e a altura da espiga (AE), em dois conjuntos de variedades	108
18.	Decomposição da média predita de três caracteres no composto formado a partir do "Composto Dent" em cruzamento com sete variedades de porte baixo	108
19	Decomposição da média predita de três caracteres no composto formado a partir do "Composto Flint" em cruzamento com sete variedades de porte baixo.....	109

LISTA DAS FIGURAS

Figura nº		Pág.
1	Correlação entre médias de produção de grãos (t/ha) de híbridos intervarietais e das respectivas variedades parentais	110
2	Correlação entre médias de altura da planta (m) de híbridos intervarietais e das respectivas variedades parentais	111
3	Correlação entre médias de altura de espiga (m) de híbridos intervarietais e das respectivas variedades parentais	112
4	Distribuição das médias preditas de produção (t/ha) para os compostos A, B e C	113
5	Distribuição das médias preditas de altura da planta (m) para os compostos A, B e C (.....	114
6	Distribuição das médias preditas de altura da espiga (m) para os compostos A, B e C	115
7	Relação entre produção de compostos e heterose média dos híbridos que participam da sua formação	116

1. INTRODUÇÃO

O melhoramento de populações tem merecido, ultimamente, especial atenção de melhoristas de milho, em contraposição à adoção do método clássico do milho híbrido. Esse interesse surgiu em decorrência de algumas modificações em métodos já conhecidos de melhoramento de populações (GARNDER, 1961; LONNQUIST, 1964; PATERNIANI, 1968, entre outros). Alguns aspectos vantajosos de tais métodos são o seu dinamismo (melhoramento gradativo e contínuo) e a exploração mais ampla da variabilidade genética. As populações melhoradas podem ser utilizadas na prática, pelos agricultores, ou para a obtenção de híbridos intervarietais, bem como para a extração de linhagens endogâmicas com vistas à obtenção de híbridos de linhagens. Além disso essas populações apresentam boa estabilidade adaptativa devido à sua ampla base genética sendo, assim, especialmente recomendadas em programas iniciais de melhoramento para áreas geográficas amplas.

No melhoramento de populações, a população base é de fundamental importância para o sucesso do programa. Os melhoristas consideram como materiais básicos promissores as populações que apresentam um alto potencial para produtividade associado a uma ampla base genética, resultando numa variabilidade suficiente para permitir progressos satisfatórios tanto para produção como para outras características agronômicas.

Renomados melhoristas de milho (LONNQUIST, 1969, PATERNIANI, 1967c, EBERHART, HARRISON e OGADA, 1967, entre outros) têm sugerido a utilização de compostos de variedades como material básico para o melhoramento de populações, em virtude da ampla variabilidade genética presente, fator esse que determina, em grande parte, o progresso a ser conseguido por seleção. A inclusão, nos compostos, de germoplasmas de origens diversas (inclusive raças exóticas) tem sido sugerida como um meio de se conseguir variabilidade genética ainda maior (TIMOTHY, 1963, WELLHAUSEN, 1965).

Um composto é obtido do inter cruzamento de diversas populações (variedades ou raças) em todas as combinações possíveis, seguido de várias gerações de cruzamento ao acaso com o fim de se obter uma população em equilíbrio e com alto grau de homogeneização. Para a formação de compostos, o melhorista orienta-se pelo conhecimento da origem dos germoplasmas, inter cruzando populações com certa divergência genética. Por outro lado, contudo, é de importância iniciar-se um programa com uma população base a um nível razoável de produtividade, além da presença da variabilidade genética. Como o número de compostos possíveis é muito elevado para um certo número de populações parentais, uma solução alternativa e prática é proceder-se à escolha do composto inicial através de predições de médias, conforme tem sido sugerido por EBERHART e col. (1967) e VENCOVSKY e col. (1973).

A predição de médias de compostos pode ser feita com auxílio de computador eletrônico utilizando-se os dados de médias de produção (ou de qualquer caráter quantitativo) das populações parentais e dos híbridos entre elas. Estes dados são obtidos de ensaios de um cruzamento dialélico, e constituem uma tabela dialélica.

Os cruzamentos dialélicos, além de fornecerem dados que permitem a predição de médias, constituem metodologia bastante adequada para o conhecimento das propriedades genéticas intrínsecas do material em

estudo. Vários métodos de análise de cruzamentos dialélicos têm sido desenvolvidos. Porém entre os métodos mais recentes, o de GARDNER e EBERHART (1966) parece ser o mais adequado para o estudo de cruzamentos intervarietais, como estes que são avaliados no presente trabalho. Baseia-se o referido método em um modelo constituído de componentes de médias, cujos efeitos podem ser avaliados pela análise da variância. Os componentes podem também ser estimados permitindo uma melhor avaliação do potencial genético das variedades.

No melhoramento genético é de fundamental importância estabelecer as prioridades do programa, no que diz respeito aos caracteres que devem ser alterados no sentido desejável. No Brasil, o melhoramento de milho tem sido dirigido principalmente para a alta produtividade. Porém, pouca ênfase tem sido dada a outros caracteres como a altura da planta ou da espiga, razão pela qual os cultivares existentes, embora com boa produtividade, deixam muito a desejar no que diz respeito à arquitetura da planta. Em outras culturas como o trigo, o arroz e o sorgo, grandes progressos têm sido conseguidos com o desenvolvimento de tipos de porte reduzido. Em milho existem grandes possibilidades de progresso neste sentido, haja vista a ampla variabilidade genética existente. De fato, existem genes maiores (qualitativos), como o braquítico-2, que apresentam possibilidades de utilização no melhoramento para ideotipos. Além disso, existem germoplasmas que apresentam ampla variabilidade poligênica (quantitativa) para o porte da planta e para a altura da espiga.

A utilização de cultivares de porte reduzido pode apresentar uma série de vantagens como a resistência ao acamamento, a facilidade de colheita, a maior densidade populacional, etc. Tais perspectivas justificam a atribuição de prioridade ao melhoramento para porte reduzido em milho.

O presente trabalho tem por objetivo principal o estudo do comportamento de uma série de germoplasmas em cruzamentos dialélicos com ênfase na produtividade e na altura da planta e da espiga. Utilizando-se os resultados obtidos como informações subsidiárias, pretende-se também prever o comportamento dos compostos possíveis, com vistas à síntese dos mais promissores para fins de seleção para a produtividade e para a altura da planta e da espiga como características poligênicas. Tal esquema de seleção apresenta duas alternativas, ou seja, seleção principalmente para alta produção em populações com altura média reduzida e seleção principalmente para porte reduzido em populações de alta produtividade média. Por esta razão, para predição do comportamento dos compostos, serão considerados estes dois tipos de população base. Para esse fim, um conjunto de variedades de porte baixo será utilizado como fonte de genes para porte reduzido, enquanto que um outro grupo de populações se constituirá como fonte de genes para alta produtividade.

Como informações colaterais, outros aspectos dos cruzamentos intervarietais serão analisados.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Uma revisão da literatura foi realizada enfocando vários tópicos, com o fim de abordar os vários aspectos relacionados com o presente trabalho. Em primeiro plano está o estudo da altura da planta e da espiga, razão pela qual são mencionados os trabalhos relacionados com estes caracteres e, principalmente, de suas relações com a produtividade. Um outro aspecto estudado é o que se refere aos cruzamentos intervarietais em esquemas dialélicos; assim, são apresentados um breve histórico sobre os cruzamentos dialélicos e um levantamento de trabalhos realizados sobre cruzamentos intervarietais. Resultados de cruzamentos intervarietais em esquemas não dialélicos, existem em grande número na literatura, os quais foram também apresentados salientando-se os resultados referentes aos efeitos heteróticos nesses cruzamentos. Finalmente, um dos tópicos julgados mais importantes do presente trabalho, é o que diz respeito à predição de médias de compostos; por esta razão, foi feita uma breve revisão dos métodos de predição de médias que têm sido utilizados em milho, onde também são mostrados superficialmente os fundamentos teóricos dos referidos métodos.

2.1. Estudos sobre a altura da planta e da espiga e suas relações com a produtividade

Estudos e observações sobre a altura da planta e da espiga

em milho têm sido realizados desde há muito tempo, principalmente relacionados com os resultados da seleção ou com a associação com outros caracteres. Já em 1909, SMITH^{1/} obteve, a partir de uma população base, duas sub-populações com altura da espiga de 0,82m e 1,70m. Na população de espiga alta, houve também aumento da altura da planta, do número total de internódios e do número de internódios abaixo da espiga, enquanto que na outra houve diminuição destes caracteres, sendo que não houve diferenças aparentes na produção. Em 1922, KISSELBACH^{1/} relatou que depois de cinco anos de seleção para "espiga alta" e "espiga baixa", esta última produziu 3,9% mais grãos do que a população de espiga alta, mas 3% menos do que a população original.

A seleção para diminuição da altura da espiga também mostrou-se eficiente no trabalho realizado por PATERNIANI (1967a) através de seleção entre e dentro de famílias de meios irmãos na variedade Dente Paulista, simultaneamente com seleção para maior produção. Igualmente eficiente foi a seleção efetuada por VERA e CRANE (1970) para diminuição da altura da espiga em duas populações (A e E). Em ambas as populações, foram observados progressos da ordem de 4,5% por ciclo, mesmo a uma intensidade de seleção baixa (50%). O processo de seleção nestas duas populações foi continuado por mais dois ciclos, e os resultados foram relatados por ACOSTA e CRANE (1972). Na população A, a seleção foi eficiente em diminuir a altura da espiga em cerca de 32 cm ou 25% nos quatro ciclos. Na população E, a seleção foi igualmente eficiente, resultando um decréscimo de 33 cm ou 23% na altura da espiga em quatro ciclos. Constataram também que a altura da planta seguiu o mesmo padrão de variação e que a produtividade diminuiu em cerca de 30,5% na população A e 19,8% na população E.

^{1/} Citados por ACOSTA e CRANE (1972).

Por outro lado, a seleção para alta produção também tem resultado em variação na altura da planta ou da espiga, conforme tem sido verificado em muitos casos. Através de seleção para capacidade geral e específica de combinação, HORNER e col. (1963) verificaram um acréscimo na altura da espiga juntamente com a produção. Ao mesmo tempo, através de seleção massal para redução da altura da espiga, verificaram uma queda de produção correspondente a 16,4 kg/ha por centímetro de redução na altura. Resultados semelhantes foram obtidos por HALLAUER e SEARS (1969), constatando um aumento da altura da espiga depois de vários ciclos de seleção para produtividade. Por esta mesma época, GARDNER (1969) relatou também que, depois de dez ciclos de seleção para produção de grãos em duas populações (irradiada e não irradiada), a altura da espiga aumentou em cerca de 23% em ambas. Do mesmo modo, DARRAT, EBERHART e PENNY (1972) constataram aumento da altura da espiga em um híbrido intervarietal (em gerações avançadas) submetido a seleção para alta produção, em Quênia. Porém, em duas outras populações observaram variação em sentido contrário, ou seja, redução da altura da espiga através de seleção para alta produção.

Resultados menos consistentes foram obtidos por MOLL e ROBINSON (1966) em um estudo de respostas esperadas e observadas à seleção em duas variedades de milho. Verificaram que em uma das variedades ("Jarvis") a altura da espiga não seguiu o padrão de variação esperado quando a seleção foi feita para alta produção, enquanto que na variedade "Indian Chief" praticamente não houve variação na altura da espiga no primeiro ciclo de seleção.

Estudos de associação entre a altura da espiga e outros caracteres têm sido realizados por diversos pesquisadores. Porém, de especial interesse são os que relacionam a altura da espiga e a resistência

ao acamamento. De fato, HALL (1934)^{2/} verificou que, de um modo geral, os tipos classificados como resistentes ao acamamento exibiam, entre outros caracteres, altura reduzida das espigas. Por outro lado, ACOSTA e CRANE (1972) verificaram que a seleção para altura reduzida aumentou a resistência ao acamamento (em relação à população controle) em uma das populações, mas diminuiu na outra. Concluíram que, devido ao comportamento diferente das duas populações, não se pode generalizar sobre a associação entre a altura da espiga e a resistência ao acamamento.

Além dos trabalhos até então mencionados, inúmeros outros foram conduzidos visando determinar quantitativamente as correlações entre a produção de grãos e a altura da planta e/ou da espiga. Neste aspecto, correlações positivas e significativas foram detectadas por EWING (1910)^{3/}, JENKINS (1929)^{3/}, KISSELBACH (1922)^{3/}, ROBINSON e col. (1951), GREEN (1955), MURTY e ROY (1957), JUGENHEIMER (1958), HOEN e ANDREW (1959), LINDSEY, LONNQUIST e GARDNER (1962), GOODMAN (1965), CAMPOS (1966), ELROUBY e PENNY (1967), LONNQUIST e CASTRO (1967), PATIL, HAYAVADAN e MAHADEVAPPA (1969)^{2/}, TAVARES e ZINSLY (1971) e por JOHNSON (1973). Em outros casos não foram significativas as correlações entre a altura da planta e/ou da espiga com a produção de grãos, conforme os resultados relatados por VILLANO (1966)^{3/}, HALLAUER e WRIGHT (1967), QUEIROZ (1969), HALLAUER (1971)^{4/} e por OBILANA e HALLAUER (1974).

Com os resultados até então relatados, conclui-se que os caracteres produção e altura da planta e/ou da espiga apresentam uma certa tendência de correlação, embora na maioria dos casos a um baixo nível.

^{2/} Citado por VERA e CRANE (1970).

^{3/} Citados por QUEIROZ (1969).

^{4/} Citado por OBILANA e HALLAUER (1974).

Esta associação de caracteres também pode ser avaliada pela variação de um caráter decorrente de seleção em outro, como tem sido observada em muitos casos. Porém, esta dependência de caracteres parece variável de acordo com o material em estudo, podendo-se ter possibilidades de melhoramento para produção com controle na variação da altura. É também provável que a correlação destes caracteres seja propriedade intrapopulacional ou intraracial, mas deve ser menos expressiva ao nível interpopulacional, haja vista a existência de variedades naturalmente de portes baixos e com produtividades relativamente altas.

A literatura sobre estudos relacionados com a herança da altura da planta e da espiga é bastante extensa, não sendo de interesse, neste trabalho, uma revisão detalhada sobre o assunto. Porém, pode-se dizer que a base genética destes caracteres já é definida, pelo menos no que diz respeito à herdabilidade e ao tipo predominante de ação gênica. Os estudos sobre o assunto têm demonstrado que a altura da planta e da espiga apresentam herdabilidade relativamente alta, conforme pode ser constatado nos trabalhos de ROBINSON, COMSTOCK e HARVEY (1949), QUEIROZ (1969).

Por outro lado, os estudos sobre os componentes da variância genética têm mostrado que estes caracteres são controlados predominantemente por genes aditivos (GARDNER e col., 1953; ROBINSON, COMSTOCK e HARVEY, 1955), e estimativas do grau médio de dominância têm indicado a presença de dominância apenas parcial, o que reforça a hipótese da predominância de genes aditivos (COMSTOCK e ROBINSON, 1948; GARDNER e col., 1953).

Um estudo também relacionado com a herança da altura da espiga em milho, foi realizado por GIESBRECHT (1957), onde determinou o número de genes envolvidos no controle do caráter. Concluiu que estão envolvidos seis fatores genéticos, dos quais dois controlam o comprimento

do intermediário. Constatou também dominância parcial para este caráter na geração F_1 .

2.2. Cruzamentos dialélicos: aspectos teóricos e aplicados

Os cruzamentos dialélicos, que correspondem a todos os cruzamentos possíveis entre um grupo de n linhagens ou variedades, têm sido amplamente utilizados pelos melhoristas de um modo geral. A análise dos dados baseia-se em tabelas dialélicas que, nos dialélicos completos, contém dados relativos aos n tipos parentais e aos $n(n-1)/2$ híbridos entre eles, além dos respectivos híbridos recíprocos. As bases dos cruzamentos dialélicos já foram discutidas por SCHMIDT (1919)^{5/} sob o título de "Métodos de Cruzamento Dialélico". Schmidt considerou também o "cruzamento teste" como uma forma de cruzamento dialélico, embora parcial. HINKELMAN e KEMPTHORNE (1963)^{5/} definiram como cruzamento dialélico parcial os cruzamentos envolvendo apenas parte dos genótipos, mas sua utilização já havia sido relatada em 1934 por KUDRJAWZEW^{5/}.

Com os conceitos de capacidade geral e capacidade específica de combinação estabelecidos por SPRAGUE e TATUM (1942), os métodos de análise dos cruzamentos dialélicos desenvolveram-se largamente. YATES (1947) apresentou a análise da variância de dados obtidos de todos os cruzamentos possíveis entre um conjunto de linhagens homozigóticas. Em 1954, HAYMAN desenvolveu a análise da variância de tabelas dialélicas de modo a permitir detectar a variação genética aditiva e desvios de dominância em cruzamentos envolvendo linhagens homozigóticas. Entretanto, HULL (1946) e GRIFFING (1950) já haviam analisado cruzamentos dialélicos entre linhagens homozigóticas utilizando técnicas de regressão. JINKS e HAYMAN

^{5/} Citados por FEDERER (1967).

(1953), JINKS (1954 e 1955) e HAYMAN (1954b, 1957, 1958 e 1960) desenvolveram métodos para a análise e interpretação de cruzamentos dialélicos de linhagens homozigóticas, seguindo a notação de MATHER (1949) e introduzindo algumas interpretações baseadas em parâmetros geométricos.

GRIFFING (1956 a e b) apresentou um método de análise da variância para estimação dos parâmetros de capacidade geral e capacidade específica de combinação em cruzamentos dialélicos, considerando dois modelos: fixo e aleatório. Considerou também quatro tipos de tabelas dialélicas, sendo uma completa (com os tipos parentais, seus híbridos e recíprocos) e as outras incompletas em relação à primeira.

Inúmeros outros trabalhos referentes a cruzamentos dialélicos são mencionados na literatura. As referências sobre o assunto podem ser encontradas principalmente nos trabalhos de FEDERER (1967) e VENCOVSKY (1970), entre outros.

Nos trabalhos de cruzamentos dialélicos até então mencionados, os autores referem-se principalmente a cruzamento entre linhagens endogâmicas. Mais recentemente, com a importância que têm adquirido as variedades de polinização livre e os cruzamentos intervarietais em milho, GARDNER (1965), GARDNER e EBERHART (1966), e EBERHART e GARDNER (1966) preocuparam-se em apresentar uma metodologia de análise de cruzamentos dialélicos de variedades. O modelo adotado por estes autores permite uma análise mais ampla dos dados, não só relacionada com a análise da variância em si, mas fornecendo informações úteis aos melhoristas com base nos componentes de médias de populações. Baseia-se o referido modelo nos componentes aditivo (a_j) e de dominância (d_j) do efeito de variedades (v_j) e no componente heterótico ($h_{jj'}$) que aparece nos cruzamentos. Assim, a média de uma variedade pode ser representada por $Y_j = u + v_j$ e a média de um híbrido de variedades por $Y_{jj'} = u + \frac{1}{2} (v_j + v_{j'}) + h_{jj'}$. Numa

expressão geral estes dois casos podem ser representados por $Y_{jj'} = u + \frac{1}{2} (v_j + v_{j'}) + \theta h_{jj'}$, onde $\theta = 0$ para $j = j'$ e $\theta = 1$ para $j \neq j'$. Outras expressões (por exemplo, média da geração F_2 obtida por autofecundação ou por cruzamentos ao acaso) são derivadas do modelo básico acima mencionado. Além disso, o componente $h_{jj'}$ pode ser decomposto em: heterose média (\bar{h}), heterose de variedades (h_j) e heterose específica ($s_{jj'}$), como componentes de médias. Os diversos componentes de médias podem, assim, ser estimados pelo método dos quadrados mínimos. Na análise da variância, é possível verificar a significância da variação devida a cada um dos componentes. Assim, como fontes de variação tem-se os efeitos de variedades, de heterose média, de heterose de variedades e de heterose específica, que podem ser testados com o resíduo do experimento reduzido ao nível de médias.

GARDNER (1967) fornece fórmulas simplificadas para a estimação dos componentes de médias e para a análise da variância, para um modelo completo.

Diversos trabalhos de cruzamentos dialélicos entre variedades têm sido realizados, principalmente em milho, e que demonstram a utilidade do método para o melhoramento, principalmente no que diz respeito a informações sobre o potencial genético das variedades. Assim, GARDNER e EBERHART (1966), através de cruzamentos dialélicos entre seis variedades, detectaram significância para os efeitos de variedades (v_j) e para a heterose média (\bar{h}), mostrando que as variedades diferem entre si quando avaliadas como tais, mas não diferem quanto ao seu potencial heterótico nos cruzamentos. Resultados semelhantes foram obtidos por outros autores, que utilizaram também as populações F_2 nas análises dos cruzamentos dialélicos. Tais resultados foram relatados em 1965 por GARDNER, (que também avaliou os efeitos aditivos e dominantes), em 1967 por GARDNER e

PATERNIANI (onde avaliaram os efeitos epistáticos do tipo aditivo por aditivo) e em 1968 por CASTRO, GARDNER e LONNQUIST (onde verificaram significância dos componentes aditivos e dominantes dos efeitos de variedades).

Diferenças significativas entre heteroses, detectadas pela significância das heteroses de variedades (h_j), além da significância dos efeitos de variedades e da heterose média, foram obtidas por HALLAUER e EBERHART (1966) em cruzamentos dialélicos entre nove variedades sintéticas. Constataram, porém, que a heterose média contribuiu com 73% da soma de quadrados total, enquanto que a contribuição da heterose de variedades foi de apenas 11%. Resultados semelhantes, no que diz respeito à significância dos efeitos, foram relatados por VENCOVSKY (1970) através de análise de cruzamentos interraciais realizados por PATERNIANI (1961), mostrando que as raças estudadas diferem não só quanto aos seus valores como tais, mas também pelas suas heteroses quando cruzadas entre si. BARRIGA e VENCOVSKY (1973) também obtiveram resultados semelhantes em cruzamentos intervarietais, onde salientam a síntese de populações base (compostos) onde os genes para alta produção possam estar associados com caracteres favoráveis relacionados com arquitetura da planta.

A significância para todos os efeitos do modelo completo de GARDNER e EBERHART (1966), ou seja, para os efeitos de variedades (v_j), de heterose média (\bar{h}), de heterose de variedades (h_j) e de heterose específica (s_{jj}), foi constatado por HALLAUER e SEARS (1968) em uma segunda fase de avaliação de variedades sintéticas. Os autores observaram que, embora o quadrado médio de heterose específica tenha revelado significância, somente três dos cruzamentos apresentaram efeitos específicos significativos. Resultados semelhantes foram obtidos por TROYER e HALLAUER (1968) em uma avaliação de dez variedades precoces e de endosperma duro, e posteriormente por HALLAUER (1972) em uma terceira fase de avaliação de

variedades sintéticas.

Resultados um pouco diferentes foram obtidos por JOHNSON (1973), analisando o caráter "índice de área foliar" em cruzamentos dialélicos entre dez linhagens endogâmicas de milho. Verificou significância para os efeitos de linhagens (v_j), para a heterose média e para a heterose específica (s_{jj}). Salientou que, no melhoramento para este caráter, deve ser dada ênfase para os efeitos gênicos não aditivos.

2.3. Heterose em cruzamentos intervarietais de milho

Os primeiros resultados de cruzamentos intervarietais em milho foram relatados por BEAL (1877)^{6/}, mostrando a existência de vigor de híbrido nos cruzamentos. A partir desta época houve grande interesse dos melhoristas pelos cruzamentos intervarietais, até o início deste século quando, por volta de 1920, o interesse concentrou-se nos cruzamentos de linhagens endogâmicas. Este fato sucedeu depois dos trabalhos com híbridos de linhagens endogâmicas realizados por SHULL (1909)^{6/} e EAST (1909)^{6/} e posteriormente devido à obtenção de híbridos duplos por JONES (1918)^{6/}. RYCHEY (1922)^{6/} apresentou um resumo dos resultados de 244 comparações entre a produção de variedades e seus híbridos F_1 , obtidos até esta época. Nesta amostra, 82,4% dos cruzamentos superaram a média dos pais e 55,7% excederam o pai mais produtivo. Verificou que os melhores cruzamentos envolviam os tipos "dent" x "flint" ou "dent" x "flour" e que havia uma certa correlação entre a produtividade das variedades e seus híbridos.

^{6/} Citados por SPRAGUE (1955).

Em uma revisão menos ampla efetuada por GRIFFE (1922), o autor relata dados obtidos por diversos autores no período de 1892 a 1919, onde se pôde observar que as heteroses da produção variaram de -1,9% a 81% em relação à média dos pais, e de -3,0% a 43,7% em relação ao pai mais produtivo. Dos 157 híbridos intervarietais, 123 apresentaram-se superior à média dos pais e 84 apresentaram-se superiores ao respectivo pai mais produtivo. Resultados obtidos pelo próprio GRIFFE (1922), em ensaios envolvendo 12 populações e 6 híbridos, mostraram uma variação de heterose de 2,9% a 11,7% e com uma média de 6,9% em relação ao pai mais produtivo.

Os resultados de cruzamentos intervarietais realizados em épocas posteriores, têm mostrado também a ocorrência de heteroses relativamente altas para a produção de grãos. No Brasil, KRUG e col. (1943) relataram valores médios de heterose de 47% e 38% (em relação à média dos pais) em cruzamentos de variedades brasileiras com variedades mexicanas e americanas, respectivamente. Outros pesquisadores também tem obtido altos valores de heterose em cruzamentos envolvendo tipos geneticamente divergentes ou de origens geográficas diferentes, conforme pode ser constatado pelos valores médios de heterose obtidos. Assim, PATERNIANI e LONNQUIST (1963) verificaram uma heterose média de 33% em cruzamentos envolvendo 12 raças das Américas Central e do Sul. Do mesmo modo, WELHAUSEN (1965) detectou alta heterose média (64%) em 18 cruzamentos entre raças mexicanas. Em cruzamentos intervarietais, os resultados obtidos por PATERNIANI (1967b) em 26 híbridos indicam uma heterose média da ordem de 40%. Do mesmo modo, os resultados relatados por PATERNIANI (1968a) indicam valores médios de heterose da ordem de 68% e 33% em dois experimentos de cruzamentos envolvendo diversas raças e variedades. Em cruzamentos entre dez variedades de endosperma tipo duro ("flint") TROYER e HALLAUER (1968) verificaram uma heterose média de 72% em relação à média dos pais. Valores

de heteroses ainda mais expressivos foram verificados por CASTRO e col. (1968), com uma heterose média de 82,6% em cruzamentos envolvendo cinco variedades, cada uma sendo representativa de um grupo racial diferente.

Valores menos expressivos de heterose foram obtidos por ROBINSON e col. (1956) que observaram uma heterose média de cerca de 20%, com uma variação de -3% a 46%, em cruzamentos envolvendo seis variedades. Em um único cruzamento intervarietal ("Jarvis" x "Indian Chief"), ROBINSON e col. (1958) verificaram uma heterose (média de quatro anos) de 26% em relação à média dos pais. Este mesmo híbrido havia sido estudado por POLLAK, ROBINSON e COMSTOCK (1957), onde apresentou uma heterose de 9%, enquanto que os híbridos entre estas duas com uma terceira variedade - ("Weekley") apresentaram heteroses ao redor de 20%. Valores médios de heterose um pouco menores (em torno de 8%) foram obtidos por LONNQUIST e GARDNER (1961) e por LONNQUIST e GARDNER (não publicado)^{7/} em cruzamentos intervarietais. Heteroses médias mais ou menos com esta magnitude foram obtidas também por outros pesquisadores. Assim, COMPTON, GARDNER e LONNQUIST (1965) verificaram, em um cruzamento intervarietal, uma heterose de apenas 7% em relação à média dos pais ("Barber Reid" e "Golden Republic").

Igualmente baixas foram as heteroses observadas por PATERNIANI (1970), indicando uma heterose média de 2,5% em cruzamentos entre populações de grãos duros e populações de grãos dentados, embora tenham ocorrido cruzamentos mais promissores com heteroses de até 23%. Em um outro experimento envolvendo apenas três populações de grãos dentados e três de grãos duros, os resultados foram mais promissores com heterose média de 16%. GARDNER e PATERNIANI (1967) também haviam verificado uma

^{7/} Citado por GARDNER e LONNQUIST (1966).

heterose média de apenas 7,6% em cruzamentos dialélicos entre seis variedades. Em uma sequência de avaliações do potencial genético de variedades sintéticas, HALLAUER e EBERHART (1966), HALLAUER e SEARS (1968) e HALLAUER (1972) obtiveram valores não muito altos das heteroses nos cruzamentos dialélicos, sendo que as heteroses médias foram de 11%, 9,8% e 14%, respectivamente. Mais recentemente, TAVARES (1972) encontrou valores de heterose variando de 6,7% a 18,2% e BARRIGA e VENCovsky (1973) verificaram uma heterose média de 14% (em relação à média dos pais) em cruzamentos intervarietais.

Um relato de resultados de cruzamentos intervarietais realizados na Colômbia, foi apresentado por TIMOTHY (1963). Os cruzamentos entre dez variedades, realizados por TORREGROSSA, mostraram uma heterose média de 17% em relação à média dos pais, com uma variação de 1 a 20%. Em outro experimento, realizado por TORREGROSSA e VARELA (não publicado), envolvendo 12 variedades em cruzamentos dialélicos, obtiveram uma heterose média de 10% em relação à variedade parental mais produtiva. Em um outro cruzamento dialélico envolvendo oito variedades, as heteroses médias de cada variedade variaram de 17% a 52% em relação à média dos pais. Um outro resultado promissor foi obtido por CASSALET, onde constatou que populações resultantes de cruzamentos intervarietais se equiparavam em produção aos melhores cultivares recomendados na época.

Particularmente interessantes foram os resultados obtidos por MOLL e col. (1962) e por MOLL e col. (1965). No primeiro trabalho, coletaram variedades de cada uma de três regiões geográficas diferentes, para fins de associação entre heterose e diversidade genética. Os cruzamentos intervarietais indicaram que a heterose está diretamente relacionada com a diversidade genética das variedades parentais. A heterose média de cruzamentos entre variedades da mesma região foi de 4%, e em cruzamentos

entre variedades de regiões diferentes foi de 24%. Posteriormente (1965), fizeram um estudo mais amplo, tomando duas variedades de cada uma de quatro regiões diferentes, entrando nos ensaios as oito variedades, os 28 híbridos F_1 entre elas e as 28 populações F_2 correspondentes. Classificaram os cruzamentos em oito níveis, em ordem crescente de divergência genética dos progenitores, correspondendo ao nível I os cruzamentos de menor diversidade genética e o nível VIII a extrema diversidade. Constataram que a heterose para produção de grãos foi crescente até um certo nível (nível V), mas foi decrescente a níveis mais altos de diversidade genética. A heterose para outros caracteres (número de espigas e dias para flo rescimento) não mostrou o mesmo padrão de variação da produção de grãos.

Mais recentemente, ALLEONI e VENCovsky (1971) estudaram o vigor de híbrido em cruzamentos entre raças de milho de diversas origens, relacionando-o com a distância morfológica entre as raças parentais. Não constataram nenhuma relação entre a diversidade morfológica das raças e a heterose exibida pelos respectivos híbridos.

Quanto à heterose para a altura da planta e da espiga, são poucos os resultados relatados. Assim, ROBINSON e COCKERHAM (1961) relataram que em um cruzamento intervarietal ("Jarvis" x "Indian Chief") a heterose se manifestou para produção de grãos mas não para altura da espiga. Do mesmo modo, CASTRO e col. (1968) constataram baixos valores de heterose para a altura da planta, sendo a heterose média em torno de 5% em relação à média dos pais. Resultados semelhantes foram verificados por PATERNIANI (1970), cujos resultados indicam que as heteroses médias foram de 1,1% e 2,5% para a altura da planta e altura da espiga, respectivamente. Mais recentemente, BARRIGA e VENCovsky (1973) detectaram uma heterose média de apenas 2% para a altura da planta.

Dos trabalhos até então relatados, algumas conclusões gerais podem ser observadas: a) Existe uma certa correlação entre a produção das variedades "per se" e a produção de seus híbridos. b) Com base nos resultados obtidos, existe boa probabilidade de se obter heterose para produção de grãos de magnitude considerável em um cruzamento intervarietal. c) Existe uma certa relação entre a magnitude da heterose manifestada nos cruzamentos e a diversidade genética das variedades parentais. A esse respeito MOLL e col. (1962) salientam que a diferença de adaptabilidade das variedades parentais não deve influir nas comparações das heteroses e MOLL e col. (1965) acrescentam que deve existir um nível ótimo de diversidade genética para a manifestação da heterose, pois esta tende a diminuir em cruzamentos extremamente divergentes. Por outro lado, CRESS (1966) concluiu que a presença de heterose é indicativa de divergência genética (diferenças em frequências gênicas) das variedades parentais, mas a ausência de heterose não implica, necessariamente, na falta de divergência genética.

2.4. Predição de médias em cruzamentos

No melhoramento, tal como na genética de um modo geral, um aspecto de importância teórica e aplicada é o que diz respeito a predições. Neste aspecto estão envolvidos inúmeros campos de estudo, incluindo desde predições de proporções genotípicas em caracteres com herança mendeliana simples, de graus de endogamia, alterações na variância genética, previsão do progresso por seleção, etc. e culminando com um dos aspectos de grande importância que é a predição de médias resultantes de cruzamentos. Não se pretende, nesta revisão, apresentar toda a gama de variações no campo de predições, mas apenas os principais trabalhos em mi-
lho.

Um dos trabalhos pioneiros no campo de predição de médias, foi apresentado por WRIGHT (1922)^{8/} para predizer a média de produção de populações derivadas do inter cruzamento de n linhagens homozigóticas, populações estas que foram denominadas de "variedades sintéticas" por HAYES e GARBER (1919). A fórmula utilizada por WRIGHT foi a seguinte:

$$\bar{F}_2 = \bar{F}_1 - \frac{1}{n} (\bar{F}_1 - \bar{P}) \text{ onde}$$

\bar{F}_2 : média da população resultante do inter cruzamento dos híbridos;

\bar{F}_1 : média de todos os híbridos possíveis entre as n linhagens;

\bar{P} : média das linhagens parentais.

Depois do aparecimento do híbrido duplo de milho, sugerido por JONES (1918), logo se verificou a impraticabilidade de obter e comparar todos os híbridos duplos possíveis a partir de um conjunto de linhagens endogâmicas. Foi então que JENKINS (1934) verificou a possibilidade de predizer a produção de híbridos duplos com base nos híbridos simples entre as linhagens envolvidas. Esta alternativa é exequível pelo fato de os híbridos simples possíveis serem em menor número. Assim, com n linhagens homozigóticas são possíveis $n(n-1)/2$ híbridos simples e $3C_n^4$ híbridos duplos. JENKINS sugeriu quatro métodos alternativos de predição de híbridos duplos, dos quais três envolvem híbridos simples.

método A: $\bar{H}\bar{D}$ = média dos 6 híbridos simples possíveis entre 4 linhagens

método B: $\bar{H}\bar{D}$ = média dos 4 híbridos simples não parentais

método C: $\bar{H}\bar{D}$ = média de um grupo de 4 linhagens em uma série de híbridos simples

método D: $\bar{H}\bar{D}$ = média de um grupo de 4 linhagens testadas em "top crosses".

Os quatro métodos de predição envolvem diferentes suposições, com respeito ao tipo de ação gênica. Os métodos A, C e D pressupõem apenas a ação gênica aditiva, enquanto que o método B leva em conta os

^{8/} Citado por SPRAGUE (1955).

efeitos gênicos não aditivos. JENKINS (1934), encontrou correlação significativa entre as médias observadas e as médias preditas por todos os métodos, mas de um modo geral esta correlação é maior pelo método B. Aliás, este último é mais coerente com as teorias atuais de Genética Quantitativa. A eficiência do método B foi verificada por vários pesquisadores (DOXTATOR e JOHNSON, 1936; ANDERSON, 1938; HAYES e col., 1943). Para utilização do método de predição, SPRAGUE (1955) sugere o uso de computadores eletrônicos.

EBERHART (1964) apresentou um modelo que permite explicar as médias de todos os híbridos simples, híbridos triplos e híbridos duplos de um conjunto fixo de quatro linhagens homozigóticas, em termos de efeitos gênicos aditivos, dominantes e epistáticos. Considerou cinco métodos de predição, dois dos quais (I e II) foram sugeridos por JENKINS (1934).

$$\text{método I}^* : \hat{D}_{ij.kl}^1 = (S_{ij} + S_{ik} + S_{il} + S_{jk} + S_{jl} + S_{kl})/6$$

$$\text{método II} : \hat{D}_{ij.kl}^2 = (S_{ik} + S_{il} + S_{jk} + S_{jl})/4$$

$$\text{método III} : \hat{D}_{ij.kl}^3 = (T_{kl.i} + T_{kl.j})/2$$

$$\text{método IV} : \hat{D}_{ij.kl}^4 = (T_{ij.k} + T_{ij.l})/2$$

$$\text{método V} : \hat{D}_{ij.kl}^5 = (\hat{D}_{ij.kl}^3 + \hat{D}_{ij.kl}^4)/2$$

$$\text{método VI} : \hat{D}_{ij.kl}^6 = \hat{D}_{ij.kl}^{5-2} = 2 \hat{D}_{ij.kl}^5 - \hat{D}_{ij.kl}^2,$$

*/ Os índices em D^1, D^2, \dots, D^6 , referem-se aos métodos I, II, \dots , VI, respectivamente.

onde,

S_{ij} : média do híbrido simples entre as linhagens i e j . Idem para os demais híbridos simples.

$T_{ij.k}$: média do híbrido triplo obtido do cruzamento S_{ij} x linhagem k .

$\hat{D}_{ij.kl}$: média predita do híbrido duplo obtido do cruzamento S_{ij} x S_{kl} .

O método II corresponde ao método B de JENKINS e é o que tem sido mais intensamente utilizado. Os métodos III e IV são menos utilizados porque se baseiam em híbridos triplos, os quais são em maior número ($3C_n^3$) do que os híbridos simples (C_n^2); porém, são comumente usadas quando um híbrido simples (S_{ij}) desejável já é disponível e novas linhagens (k e l) devem ser selecionadas para formar o híbrido duplo $D_{ij.kl}$. Se a epistase for desprezível, a esperança da média de um híbrido duplo, para um caráter quantitativo, corresponde à esperança do segundo membro da igualdade nas fórmulas acima citadas, exceto para o método I que apresenta desvios de dominância. Se a epistase estiver presente, o autor sugere o método VI para predição do híbrido duplo. Em termos de esperança o método VI corresponde a:

$$E(\hat{D}_{ij.kl}^6) = E \left[(T_{ij.k} + T_{ij.l} + T_{kl.i} + T_{kl.j}) / 2 - (S_{ik} + S_{il} + S_{jk} + S_{jl}) / 4 \right]$$

$$= E(D_{ij.kl}) + \epsilon_D$$

onde

ϵ_D representa desvios epistáticos do tipo dominante por dominante.

EBERHART e col. (1964) compararam médias preditas de híbridos duplos em milho, considerando vários métodos mas não dispunham de valores observados para avaliação dos mesmos. Apesar disso, puderam observar que os valores preditos pelos três métodos (II, V e VI) não

apresentaram diferenças significativas. Concluíram então que, mesmo se a epistase estiver presente, ela não foi de magnitude suficiente, em relação ao erro experimental, para dar maior eficiência para o método VI (que considera epistase) em relação aos outros dois.

GARDNER e EBERHART (1966) apresentaram um estudo detalhado de médias de populações fundamentado em modelos (baseados em componentes de médias) que permitem a interpretação e também a predição de médias. Pelo modelo adotado, a média de uma variedade qualquer (V_j) seria representada por:

$$V_j = u + a_j + d_j \text{ (conforme já mencionado no item 2.2)}$$

onde

a_j representa a contribuição dos locos em homozigose e d_j a contribuição dos locos em heterozigose para a média da variedade j . Do mesmo modo, a média de um híbrido de duas variedades j e j' seria representada por:

$$C_{jj'} = u + \frac{1}{2} (a_j + a_{j'}) + \frac{1}{2} (d_j + d_{j'}) + h_{jj'}$$

onde

$h_{jj'}$ é um parâmetro de heterose, que é devido, essencialmente, às diferenças de frequências gênicas nas variedades j e j' , e à dominância. Este efeito somente existe nos cruzamentos, tal que

$$\hat{h}_{jj'} = C_{jj'} - \frac{1}{2} (V_j + V_{j'})$$

Também é possível predizer a média de populações derivadas de híbridos intervarietais, por autofecundação ($C_{jj'}^S$) ou por cruzamento ao acaso ($C_{jj'}^X$). Assim,

$$C_{jj'}^s = u + \frac{1}{2} (a_j + a_{j'}) + \frac{1}{4} (d_j + d_{j'}) + \frac{1}{2} h_{jj'}$$

$$C_{jj'}^r = u + \frac{1}{2} (a_j + a_{j'}) + \frac{1}{2} (d_j + d_{j'}) + \frac{1}{2} h_{jj'}$$

Estas mesmas expressões são apresentadas e discutidas por GARDNER e LONNQUIST (1966).

CASTRO, GARDNER e LONNQUIST (1968) fizeram predições de alguns compostos de milho, utilizando parâmetros estimados pelo método de Gardner e Eberhart. Os compostos considerados eram populações resultantes de cruzamento ao acaso de híbridos triplos e híbridos duplos. Os autores sugerem a predição de compostos desse tipo, e síntese dos mais promissores, em um programa de melhoramento.

EBERHART e GARDNER (1966) apresentaram ainda uma extensão do modelo anterior, onde adicionaram alelos múltiplos e efeitos epistáticos do tipo aditivo x aditivo. Assim, considerando que a variedade k tem um alelo j no loco i com frequência p_{ijk} , os efeitos aditivos totais na variedade k são expressos por

$$a_k = 2 \sum_i \sum_j p_{ijk} \alpha_{ij}$$

os efeitos de dominância por

$$d_k = 2 \sum_i \sum_{j < j'} p_{ijk} p_{ij'k} \delta_{ijij'}$$

os efeitos epistáticos do tipo aditivo por aditivo por

$$aa_k = 4 \sum_{i < i'} \sum_j p_{ijk} p_{i'jk} \alpha_{iji'j}$$

e os efeitos heteróticos no híbrido de duas variedades por

$$h_{kk'} = \sum_i \sum_{j < j'} (p_{ijk} - p_{ijk'}) (p_{ij'k'} - p_{ij'k}) \delta_{ijij'}$$

Portanto, todos os efeitos genotípicos são definidos em termos de efeitos gênicos e frequências gênicas. Com os parâmetros assim definidos, a média de qualquer variedade (V_k), de híbridos de variedades ($C_{kk'}$) ou de populações derivadas de híbridos de variedades por cruzamento ao acaso ($C_{kk'}^r$) ou por autofecundação ($C_{kk'}^s$), pode ser expressa por

$$V_k = u + a_k + aa_k + d_k$$

$$C_{kk'} = u + (a_k + a_{k'} + aa_k + aa_{k'} + d_k + d_{k'}) + h_{kk'} + aa_{kk'}$$

$$C_{kk'}^r = u + \frac{1}{2}(a_k + a_{k'} + aa_k + aa_{k'} + d_k + d_{k'}) + \frac{1}{2}h_{kk'} + aa_{kk'}$$

$$C_{kk'}^s = u + \frac{1}{2}(a_k + aa_k + a_{k'} + aa_{k'}) + \frac{1}{2}(d_k + d_{k'}) + \frac{1}{2}h_{kk'} + aa_{kk'}$$

podendo ainda ser obtidas expressões para outros tipos de cruzamento como retrocruzamentos, híbridos triplos, híbridos duplos, etc.

Utilizando dados de cruzamentos dialélicos entre 6 linhagens endogâmicas, EBERHART e GARDNER (1966) compararam médias observadas das linhagens, dos híbridos simples, dos híbridos triplos e de alguns híbridos duplos, com as respectivas médias estimadas com base nos modelos com e sem epistase. Obtiveram boa correlação entre médias observadas e estimadas, pelos dois modelos, para três caracteres estudados (produção de grãos em g/planta, peso de grãos em cg/grão e altura da planta em cm).

EBERHART, HARRISON e OGADA (1967) indicaram que a expressão $\bar{c} = \bar{c}_{jj'} - (1/n) (\bar{c}_{jj'} - \bar{v})$, sugerida por WRIGHT (1922) para estimação de médias de variedades sintéticas, também pode ser utilizada para predição de médias de compostos de variedades. Indicaram ainda a possibilidade de predição da média do cruzamento entre dois compostos, o que pode ser útil em programas de melhoramento interpopulacional.

HALLAUER e EBERHART (1966) fizeram predição da média de um composto, formado a partir do cruzamento de duas variedades sintéticas, utilizando a seguinte fórmula: $\bar{C} = C_{jj} - (1/2) (C_{jj} - \bar{P})$, que corresponde a um caso particular ($n=2$) da fórmula sugerida por EBERHART e col. (1967). Concluíram que o composto seria superior a ambos os pais, devido à heterose (%) manifestada no híbrido.

MOCHIZUKI (1968) demonstrou que a média de um composto de variedades, obtido do inter cruzamento ao acaso de híbridos intervarietais, envolvendo um número qualquer de variedades (n), pode ser predita por

$$C_{12\dots n}^r = u + \frac{1}{n} (a_1 + \dots + a_n) + \frac{1}{n} (d_1 + d_2 + \dots + d_n) + \frac{2}{n^2} (h_{12} + h_{13} + \dots + h_{n-1,n})$$

segundo o modelo de GARDNER e EBERHART (1966).

Mostrou também que esta expressão pode ser simplificada para

$$C_{12\dots n}^r = \bar{C}_{jj} - \frac{1}{n} (\bar{C}_{jj} - \bar{V}), \text{ sendo}$$

\bar{C}_{jj} = média de todos os híbridos intervarietais que formam o composto

\bar{V} = média das variedades parentais que entram na formação do composto. Esta última expressão corresponde à fórmula de WRIGHT, mas com uma aplicabilidade mais ampla pois os tipos parentais podem ser variedades de polinização livre, tanto quanto linhagens homozigóticas.

VENCOVSKY e VELLO (1969) fornecem expressões que possibilitam prever a homogeneização de compostos em processos controlados de síntese e mostraram que a expressão indicada por EBERHART e col. (1967) é válida em qualquer processo de síntese, bastando que os tipos parentais participem com igual proporção. Posteriormente, VENCOVSKY (1970), partindo

do modelo de Gardner e Eberhart, apresentou uma expressão mais geral para predição de médias de compostos, onde as variedades parentais podem participar com qualquer proporção nos cruzamentos. Admitindo que p_{ij} é a frequência do alelo dominante do loco i na variedade j , mostrou que um composto qualquer apresentará, para o loco i , a frequência gênica

$$\bar{p}_{\cdot i} = \sum_j f_j p_{ij}$$

onde f_j é a proporção com que a variedade j entra no cruzamento, sendo $\sum_j f_j = 1$.

Quando o composto atingir o equilíbrio gênico, a sua média esperada será

$$Y_{co}^r = u' + \sum_i (2\bar{p}_{\cdot i} - 1) \alpha_i + 2 \sum_i (\bar{p}_{\cdot i} - \bar{p}_{\cdot i}^2) \delta_i$$

Com os parâmetros definidos por Gardner e Eberhart, esta expressão se transforma em

$$\hat{Y}_{co}^r = u' + \sum_j f_j (\hat{a}_j + \hat{d}_j) + 2 \sum_j f_j f_{j'} \hat{h}_{jj'}$$

Em termos de médias observadas, esta última expressão pode ser representada por

$$Y_{co}^r = \sum_j f_j^2 Y_{jj} + 2 \sum_{j < j'} f_j f_{j'} Y_{jj'}$$

onde Y_{jj} e $Y_{jj'}$, representam as médias das variedades e as médias dos híbridos intervarietais, respectivamente, as quais são obtidas de uma tabela dialélica de cruzamentos intervarietais.

Posteriormente, VENCOSKY (1972) apresentou uma expressão simplificada para a predição de médias de compostos:

$$Y_{co}^r = \left(\sum_{i=1}^n f_i P_{ii} \right) \left(\sum_{j=1}^m f_j P_{jj} \right), \text{ onde } \sum_i f_i = \sum_j f_j = 1 \text{ e no desenvolvimento do produto, os termos } P_{ii} \text{ ou } P_{jj} \text{ são substituídos pelas médias}$$

do produto, os termos P_{ii} ou P_{jj} são substituídos pelas médias

das variedades parentais (\bar{P}_i ou \bar{P}_j) e os produtos $P_i P_j$ são substituídos pela média dos respectivos híbridos intervarietais (\bar{C}_{ij}).

VENCOVSKY e col. (1973) utilizaram os métodos de predição sugeridos por EBERHART e col. (1967) para orientação na síntese de dois compostos (A e B) a partir de dez populações de milho, que dariam o melhor híbrido de compostos (AxB). Verificaram que a média predita de produção do híbrido (AxB) seria superior às médias de qualquer dos compostos parentais. Mostraram ainda a possibilidade de predição de médias de cruzamentos de compostos onde as variedades participam com quaisquer proporções nos compostos parentais.

Com respeito à predição de médias em cruzamentos, resta ainda mencionar o trabalho de BUSBICE (1970), referente à predição de médias de variedades sintéticas. Trata-se de uma ampliação da fórmula de Wright, onde considera o grau de endogamia dos pais, sendo a expressão válida para predizer a média de uma variedade sintética em qualquer geração de intercruzamento. A expressão geral é

$$Y_t = Y_0 + \frac{(F_0 - F_t)}{(F_0 - F_1)} (Y_1 - Y_0), F_0 \neq F_1$$

onde F_i ($i=0, 1, 2, \dots, t$) é o coeficiente de endogamia na geração i , sendo que F_1 e F_t podem ser computados a partir de F_0 , o coeficiente médio de endogamia dos pais. Por exemplo, na geração F_2 da variedade sintética, tem-se:

$$Y_2 = Y_0 + \frac{(F_0 - F_2)}{(F_0 - F_1)} (Y_1 - Y_0)$$

Se as linhagens parentais forem homozigóticas, então $F_0 = 1$ e o autor demonstra que

$$\begin{aligned}
 Y_2 &= Y_0 + (1 - 1/n) (Y_1 - Y_0) \\
 &= Y_1 - \frac{(Y_1 - Y_0)}{n}
 \end{aligned}$$

que corresponde à fórmula de Wright. Na fórmula geral podem ainda ser considerados outros parâmetros como o grau de ploidia (k), o coeficiente médio de parentesco das linhagens parentais (r_0) e a frequência de autofecundação (s). O autor concluiu que a fórmula de Wright é apenas o caso mais simples da fórmula geral apresentada.

A maioria dos métodos de predição até então discutidos, pressupõem a inexistência de efeitos epistáticos. De fato, a eficiência dos métodos é uma indicação da validade desta premissa, não absolutamente pela inexistência da epistase, mas pela sua pequena importância na manifestação dos caracteres até então estudados. Outros trabalhos têm corroborado esta hipótese. Comstock e col. (citado por GARDNER, 1963), por exemplo, verificaram que a variação atribuída à epistase seria menor do que 10% da variação genética total. De maneira geral, tem sido constatado que em populações, a epistase parece não ser importante, mas pode ser mais expressiva em híbridos de linhagens selecionadas (SPRAGUE, 1963; GARDNER, 1963; ROBINSON, 1963).

Outros autores têm utilizado fórmulas, que podem ser consideradas de predição, como um meio de detectar efeitos epistáticos em milho. Assim, com o fim de detectar esses efeitos, BAUMAN (1959) comparou a produção de um híbrido tripro obtido do cruzamento de um híbrido simples ($A \times B$) com um testador, com a média de produção de dois híbridos simples entre as linhagens com o mesmo testador ($A \times C$ e $B \times C$). As diferenças foram atribuídas a efeitos epistáticos, conforme pode ser visualizado no esquema seguinte.

Híbrido	Média esperada considerando o modelo	
	sem epistase	com epistase
A x C	X_1	X_1
B x C	X_2	X_2
(A x B) x C	$(X_1 + X_2)/2$	$(X_1 + X_2 + d)/2$

Do mesmo modo, SPRAGUE e col. (1962) compararam dois híbridos simples com a média dos híbridos triplos em grupos de três linhagens, conforme o esquema seguinte.

Híbridos entre as linhagens A, B e C	Média esperada considerando o modelo	
	sem epistase	com epistase
A x B	Y_1	Y_1
A x C	Y_2	Y_2
B x C	Y_3	Y_3
(A x B) x C	$(Y_2 + Y_3)/2$	$(Y_2 + Y_3 + d)/2$
(A x C) x B	$(Y_1 + Y_3)/2$	$(Y_1 + Y_3 + d')/2$
(B x C) x A	$(Y_1 + Y_2)/2$	$(Y_1 + Y_2 + d'')/2$

d, d' e d'' : desvios epistáticos.

Os autores concluíram que os efeitos epistáticos podem ser um fator de importância em linhagens selecionadas para alta capacidade de combinação. Posteriormente, SPRAGUE e THOMAS (1967) utilizaram o mesmo método e detectaram efeitos epistáticos na maioria dos casos estudados. Concluíram que, a despeito da significância das estimativas, os efeitos epistáticos não são de grande importância para a produção de grãos em milho.

Utilizando comparações, segundo uma extensão do método de BAUMAN (1957), os efeitos epistáticos foram detectados por GORSLINE (1961) em um grupo de seis híbridos simples e seis híbridos duplos em cruzamentos com um testador comum. Tais efeitos também foram evidenciados quando comparou a média de um híbrido duplo-duplo com a de seus híbridos duplos parentais em cruzamentos com um testador comum.

LONNQUIST (1963) comparou as médias de dois híbridos duplos (I e II) com as médias preditas com base nos híbridos simples não parentais (método B de JENKINS, 1934). Verificou que no híbrido I a média predita era 2,4 bu/A superior à média observada, o contrário ocorrendo com o híbrido II (predita observada = -3,1 bu/A). Concluiu que o primeiro caso deve ocorrer quando são comparados híbridos simples não selecionados, mas em um híbrido selecionado a média observada deve ser maior, em virtude de algum efeito epistático favorável presente no híbrido duplo mas não nos híbridos simples.

Utilizando o modelo de EBERHART e GARDNER (1966), os efeitos epistáticos não foram detectados por SILVA (1969) em alguns cruzamentos intervarietais. Do mesmo modo, a epistasia não se manifestou como ação gênica importante na expressão de vários caracteres em cruzamentos intervarietais analisados por OSÓRIO (1972), através de comparação de médias segundo o método de MATHER (1949).

3. MATERIAL

Foram utilizadas, no presente trabalho, as seguintes populações de milho de polinização livre, cujos números de ordem são os utilizados em menções no decorrer da apresentação. Estas populações são aqui referidas como variedades.

Nº	Identificação
1	Tuxpeño Crema I - Planta Baja, PR 71-A
2	Piracar - I
3	MEB - I
4	Mezcla Amarilla (264-PL) PR 71-A
5	Eto Blanco - Planta Baja, 71 A
6	Antigua Gpo 2
7	Cateto Argentina Uruguai
8	Composto "Dent"
9	Composto "Flint"

Estes materiais foram estudados considerando-se dois conjuntos: conjunto I, constituído das variedades de 1 a 7 (variedades de porte baixo) e conjunto II, compreendendo todas as variedades. Uma descrição resumida de cada população é dada a seguir.

1. Tuxpeño Crema I - População constituída de germoplasma tuxpeño, de grãos dentados e coloração creme, selecionadas para plantas baixas no CIMMYT (México).
2. Piracar -- Apresenta plantas baixas que florescem com cerca de 70 dias. Os grãos são duros de coloração laranja e as espigas são curtas e algo cônicas. Esta população é proveniente do México, onde foi obtida de uma combinação de 20 linhagens S_1 . Piracar I corresponde ao 19 ciclo de seleção recorrente recíproca do Piracar em relação ao milho Piramex, sendo obtido da combinação de 16 linhagens S_1 .
3. MEB - I - Material de espigas baixas. Composto sintetizado na Secção de Genética do Instituto Agronômico de Campinas.
4. Mezcla Amarilla - População composta de milhos amarelos, com plantas baixas e precoces, obtidas pelo CIMMYT, México.
5. Eto Blanco - Trata-se da conhecida variedade de milho flint branco obtida na Colômbia, na Estação Experimental Túlio Ospina.
6. Antigua Gpo 2 - População constituída de plantas baixas, precoces e prolíficas com alta capacidade de combinação com germoplasma Tuxpeño. Apresentam grãos semi-dentados amarelos e é originário do Caribe.
7. Cateto Argentina Uruguai (Composto) - População de grãos duros de cor laranja, com plantas que florescem com 60 a 65 dias. Exibem porte baixo da planta com grande frequência de plantas prolíficas.

8. Composto "Dent" A - Esta população foi obtida no Instituto de Genética, Piracicaba, S.P., a partir do cruzamento de 12 populações de milho brancos e amarelos, representativos de germoplasmas do México, da América Central e da América do Sul. A identificação das referidas populações pode ser encontrada no trabalho de QUEIROZ (1969) ou no Relatório Científico do Departamento e Instituto de Genética, 1968. A população do Composto "Dent" utilizada no presente trabalho foi submetida a vários ciclos de recombinação e seleção após a sua síntese.

9. Composto "Flint" - Esta população foi obtida no Instituto de Genética, ESALQ-USP, Piracicaba, S.P., a partir de cruzamentos de dezoito populações de milho brancos e amarelos de endosperma tipo duro ("flint"), originários principalmente da América Central, Colômbia e Brasil. A identificação destas populações pode ser encontrada nos trabalhos de QUEIROZ (1969) ou no Relatório Científico do Departamento e Instituto de Genética, 1968. A população do Composto "Flint" utilizada no presente trabalho foi submetida a vários ciclos de recombinação e seleção.

4. MÉTODOS

4.1. Execução Experimental

Em 1971/72 as nove populações foram plantadas em linhas pareadas (duas a duas) com cerca de 80 m de comprimento cada uma, em todas as $n(n-1)/2 = 36$ combinações possíveis. A multiplicação das próprias populações foi feita através de cruzamentos planta a planta ("sib-cross") em um lote à parte. O número de espigas obtidas nos cruzamentos variou de 100 a 200. Igual número de sementes de cada espiga foi tomado de cada cruzamento obtendo-se amostras que foram conservadas em câmara seca.

Em 1972/73 foram instalados ensaios de produção em três locais do Estado de São Paulo: Piracicaba, com duas repetições, Cosmópolis, com duas repetições e Jaboticabal, com quatro repetições. Em cada ensaio foram incluídas as nove populações parentais e os 36 híbridos entre elas, perfazendo 45 entradas que correspondem aos elementos de uma tabela dialélica 9 x 9 com exclusão dos híbridos recíprocos. Das 45 entradas, 28 eram de porte baixo (as sete variedades de porte baixo e os 21 híbridos entre elas). As demais entradas eram de porte alto (duas variedades de porte alto e o híbrido entre elas), ou de porte mediano (híbridos entre variedades de porte baixo e variedades de porte alto). Assim, com o fim de se ter um certo controle do erro experimental devido à competiçãõ entre parcelas, julgou-se conveniente manter, no campo experimental,

as entradas de porte baixo separadas das demais. Deste modo, cada repetição ficou sendo constituída de dois grupos: grupo 1, contendo as entradas de porte baixo, e grupo 2, contendo as demais entradas. Com o fim de se ter um controle da variação ambiental entre grupos dentro de repetições, foram incluídas, em cada grupo, duas testemunhas repetidas duas vezes, resultando em um acréscimo de oito parcelas em cada repetição. A casualização foi feita entre grupos e dentro de cada grupo. Cada parcela era constituída por uma linha de 10 m de comprimento, espaçadas de 1,0m com espaçamento de 0,20 entre covas, com uma planta por cova após o desbaste. A área por parcela foi de $10m^2$, sendo o número total de plantas, sem falhas, igual a 50.

No grupo de plantas baixas, em parcelas adjacentes às testemunhas (T) foram colocadas bordaduras, visando evitar o efeito de competição entre parcelas. O esquema abaixo ilustra a disposição dos tratamentos com o uso de bordaduras:

1 2 3 3 T T T 4 4 5 6 7 8 8 T T T 9...

onde os elementos sublinhados correspondem às bordaduras.

No campo experimental foram tomados dados de altura de planta e altura da espiga em uma amostra de dez plantas competitivas de cada uma das parcelas. Na colheita foram tomados os pesos das espigas despalhadas de cada parcela. Ainda por ocasião da colheita, amostras de grãos de cada tratamento foram obtidas para a determinação do teor de umidade em um aparelho "Steinlite." Os dados de produção foram corrigidos para stand de 50 plantas por parcela, segundo a fórmula de ZUBER (1942):

$$PCC = PC \cdot \frac{H - 0,3F}{H - F}$$

onde PCC = peso de campo corrigido para "stand" de 50 plantas,

PC = peso de campo antes da correção

H = número ideal de plantas por parcela (50)

F = número de falhas

Os dados de produção de espigas foram ainda corrigidos para 0% de umidade o que, devido ao peso do sabugo (cerca de 15,5%), corresponde aproximadamente ao peso de grãos a 15,5% de umidade.

A análise da variância foi feita para os três caracteres em estudo, conjuntamente para os três locais (tabela 1). Foram considerados fixos os efeitos de locais e de populações, e aleatórios os efeitos de blocos dentro de locais e o erro experimental.

4.2. Análise das tabelas dialélicas e estimação de parâmetros

Foram organizadas tabelas dialélicas (tabelas 2, 3 e 4), para os três caracteres em estudo, utilizando-se as médias das oito repetições. A análise das tabelas dialélicas tem por objetivo a estimação de parâmetros genéticos que dizem respeito às propriedades genéticas das variedades em estudo. Tais parâmetros permitem avaliar o potencial genético das variedades, como tais ou em cruzamento com outras variedades. A análise da variância da tabela dialélica tem a finalidade principal de verificar se são significativas as diferenças observadas entre os parâmetros estudados.

No presente trabalho, houve interesse em estudar o potencial genético de variedades nos seguintes casos: a) no conjunto formado somente pelas variedades de porte baixo (conjunto I); b) no conjunto formado pelas variedades de porte baixo com a inclusão de duas variedades de porte alto (conjunto II).

Os modelos e fórmulas utilizados para a análise da variância são aqueles apresentados por GARDNER e EBERHART (1966) e por GARDNER (1967).

A análise da variância se apresenta com a seguinte forma:

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.
Populações*	$\frac{n(n+1)}{2} - 1$	S_p	M_p
Variedades	$n-1$	S_v	M_v
Heterose	$n(n-1)/2$	S_h	M_h
Heterose média	1	$S_{\bar{h}}$	$M_{\bar{h}}$
Heterose de variedade	$n-1$	S_{hv}	M_{hv}
Heterose específica	$n(n-3)/2$	S_s	M_s
Resíduo médio**	k		M_r

* Sob a denominação de população são consideradas as populações parentais ou os híbridos entre elas. Sob a denominação de variedades são incluídas apenas as populações parentais.

** Obtido da análise conjunta de três locais, cujo quadrado médio foi dividido pelo número de repetições ($r=3$).

O modelo matemático empregado é representado por

$$Y_{jj'} = u + \frac{1}{2} (v_j + v_{j'}) + \theta h_{jj'}$$

onde

u = média das populações parentais

v_j ou $v_{j'}$ = "efeito de variedade" da variedade j (ou j')

$h_{jj'}$ = "efeito de heterose" que aparece no híbrido entre a variedade j e a variedade j'

θ = coeficiente condicional: se $j=j'$, então $\theta = 0$

se $j \neq j'$, então $\theta = 1$

O efeito de heterose pode ainda ser subdividido em

$$h_{jj'} = \bar{h} + h_j + h_{j'} + s_{jj'}$$

onde

\bar{h} = heterose média

h_j ou $h_{j'}$ = heterose de variedade, que é a contribuição da variedade j (ou j') para o efeito de heterose ($h_{jj'}$)

$s_{jj'}$ = heterose específica do cruzamento entre as variedades j e j' .

Na análise da variância, as somas de quadrados correspondentes a cada uma das fontes de variação, são deduzíveis pelo método dos quadrados mínimos. Entretanto, GARDNER (1967) apresenta fórmulas simples para o cálculo das somas de quadrados pelo modelo completo.

Para a aplicação das referidas fórmulas, torna-se necessário apresentar o significado das notações usadas.

$Y_{jj'}$ = média da variedade parental j , se $j=j'$, ou de um híbrido, se $j \neq j'$;

$Y_v = \sum_j Y_{jj}$ = soma das médias das variedades parentais ou soma dos termos da diagonal na tabela dialélica;

$Y_H = \sum_{j < j'} Y_{jj'}$ = soma das médias de todos os híbridos ou soma dos valores acima da diagonal na tabela dialélica;

$Y_{..} = \sum_{j \leq j'} Y_{jj'} = Y_v + Y_H$ = soma total de todas as médias das populações;

$Y_{j\cdot} = \sum_{j'=1}^n Y_{jj'}$ = total marginal para a variedade j ou média da variedade j mais a de seus híbridos;

$Y_{h\cdot} = \sum_{j'} Y_{jj'} = Y_{j\cdot} - Y_{jj}$ = soma das médias dos híbridos em que participa a variedade j ;

$\bar{Y}_{h\cdot} = Y_{h\cdot} / (n-1)$ = média dos híbridos em que participa a variedade j .

Observação: j e h têm o mesmo padrão de variação e são correspondentes, ou seja, $j = 1, 2, \dots, n$; $h = 1, 2, \dots, n$.

Seguindo-se esta notação, as somas de quadrados (SQ) são calculadas pelas seguintes fórmulas:

$$\text{Fator de correção: } C = \frac{2}{n(n+1)} \left(\sum_{j < j'} Y_{jj'} \right)^2$$

$$\text{SQ total} = S_p = \sum_{j < j'} Y_{jj'}^2 - C$$

$$\text{SQ variedade: } S_v = \frac{1}{n+2} \left[\sum_{j=1}^n (Y_{j\cdot} + Y_{jj})^2 - \frac{4}{n} Y_{\cdot\cdot}^2 \right]$$

SQ heterose (ajustado para u e para os v_j) =

$$S_h = \sum_{j < j'} Y_{jj'}^2 - \frac{1}{n+2} \sum_{j=1}^n (Y_{j\cdot} + Y_{jj})^2 + \frac{2}{(n+1)(n+2)} \left(\sum_{j < j'} Y_{jj'} \right)^2$$

A SQ heterose pode ser decomposta do seguinte modo:

$$S_h = S_{\bar{h}} + S_{h_v} + S_s$$

$$\begin{aligned} \text{SQ heterose média} = S_{\bar{h}} &= \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^n Y_{jj} \right)^2 + \frac{2}{n(n-1)} \left(\sum_{j < j'} Y_{jj'} \right)^2 - \\ &- \frac{2}{n(n+1)} \left(\sum_{j < j'} Y_{jj'} \right)^2 = \frac{Y_v^2}{n} + \frac{2Y_H^2}{n(n-1)} - \frac{2Y_{\cdot\cdot}^2}{n(n+1)} \end{aligned}$$

SQ heterose de variedade = $S_{h_v} =$

$$= \frac{1}{n-2} \sum_{h=1}^n Y_h - \frac{4}{n(n-2)} Y_H^2 + \sum_{j=1}^n Y_{jj}^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^n Y_{jj} \right)^2 - S_v$$

SQ heterose específica = $S_s = S_h - S_{\bar{h}} - S_{h_v}$

GARDNER (1967) também apresenta fórmulas para a estimação dos parâmetros no modelo completo (modelo 4). Sugere ainda a utilização de modelos reduzidos para a estimação de parâmetros, quando for conveniente. As estimativas dos parâmetros genéticos são de grande utilidade para o melhorista, pois são indicativos do potencial genético das variedades (como tais ou em cruzamentos). Os modelos reduzidos sugeridos por GARDNER (1967) são:

$$\text{Modelo 1 : } Y_{jj'} = u + \frac{1}{2} (v_j + v_{j'})$$

$$\text{Modelo 2 : } Y_{jj'} = u + \frac{1}{2} (v_j + v_{j'}) + \theta \bar{h}$$

$$\text{Modelo 3 : } Y_{jj'} = u + \frac{1}{2} (v_j + v_{j'}) + \theta (\bar{h} + h_j + h_{j'})$$

O modelo 1 supõe que não existe heterose nos cruzamentos intervarietais. O modelo 2 admite a existência de heterose mas sendo esta de mesma magnitude (heterose média) em todos os cruzamentos. O modelo 3 admite a existência de heterose mas sendo esta variável com os cruzamentos, tal que cada variedade ocasiona, quando cruzada, um efeito heterótico próprio que causa variação em relação à heterose média.

No presente trabalho, verificou-se a conveniência de utilização dos modelos reduzidos 2 e 3, para estimação de parâmetros nos cruzamentos dialélicos envolvendo os conjuntos I e II, respectivamente. As fórmulas para obtenção de tais estimativas foram deduzidas pelo método dos quadrados mínimos, e são apresentadas a seguir.

$$\text{Modelo 2 : } \hat{u} = Y_v / n$$

$$\hat{h} = \bar{Y}_H - \bar{Y}_V$$

$$\hat{v}_i = \frac{1}{2+n} \left[2(Y_{ii} + Y_{i.}) - \frac{4}{n} Y_{..} \right]$$

$$\text{Modelo 3 : } \hat{u} = Y_V/n$$

$$\hat{h} = \bar{Y}_H - \bar{Y}_V$$

$$\hat{v}_i = Y_{ii} - \bar{Y}_V$$

$$\hat{h}_j = \frac{1}{n-2} \left[Y_{h \cdot} - \frac{2}{n} Y_H \right] + \frac{1}{2} (\bar{Y}_V - Y_{jj})$$

Utilizando-se as estimativas dos parâmetros assim obtidas, foram estimadas as médias das variedades parentais e seus híbridos, empregando-se os modelos 2 e 3 para os conjuntos I e II, respectivamente.

As variâncias das médias estimadas foram determinadas segundo fórmulas apresentadas por VENCOVSKY (1969), as quais são dadas a seguir:

$$\text{Modelo 2: } \text{vâr} (\hat{Y}_{jj}) = \frac{5n-2}{n(n+2)} \hat{\sigma}^2$$

$$\text{vâr} (\hat{Y}_{jj'}) = \frac{2}{n} \left(\frac{1}{n-1} + \frac{n-2}{n+2} \right) \hat{\sigma}^2$$

$$\text{Modelo 3: } \text{vâr} (\hat{Y}_{jj}) = \hat{\sigma}^2$$

$$\text{vâr} (\hat{Y}_{jj'}) = \frac{2n-4}{(n-1)(n-2)} \hat{\sigma}^2$$

onde $\hat{\sigma}^2$ é a variância da média do experimento ($\text{vâr } Y_{jj} = \hat{\sigma}^2 = (\text{QM residual}/8)$). Ressalte-se que as médias estimadas da variedade (\hat{Y}_{jj}) e dos cruzamentos ($\hat{Y}_{jj'}$) têm maior precisão do que as respectivas médias observadas no experimento, pois apresentam menor variância, conforme pode ser verificado nas fórmulas acima mencionadas.

Com as estimativas das médias e das suas variâncias, foram determinados, também, os intervalos de confiança para as médias estimadas. O mesmo foi feito para as médias observadas. Esses intervalos de confiança são representados por:

a) Médias estimadas: IC = $\hat{Y}_{jj'} \pm t_{0,05} \sqrt{\text{var } \hat{Y}_{jj'}}$ para $j \leq j'$

b) Médias observadas: IC = $Y_{jj'} \pm t_{0,05} \sqrt{\text{var } Y_{jj'}}$ para $j \leq j'$

ou

a) Pr $\left[\hat{Y}_{jj'} - t S_{\hat{Y}} < \phi_{jj'} \leq Y_{jj'} + t s_{\hat{Y}} \right] = 0,95$ para $j \leq j'$

b) Pr $\left[Y_{jj'} - t s_Y < \phi_{jj'} \leq Y_{jj'} + t s_Y \right] = 0,95$ para $j \leq j'$

onde $s_Y = \sqrt{\text{var } Y_{jj'}}$, para $j \leq j'$

Obs.: A probabilidade Pr = 0,95 indica que em 95% dos casos os intervalos estabelecidos encerram o valor verdadeiro (paramétrico) da média.

Também foram determinadas as correlações entre as médias observadas e as médias estimadas, através do coeficiente de determinação (R^2) o qual indica a fração da variação entre as médias observadas que é explicada pela variação entre as médias estimadas. Utilizou-se a seguinte fórmula:

$$R^2 = \frac{[\text{Cov}_{\hat{Y}Y}]^2}{\sigma_Y^2 \sigma_{\hat{Y}}^2}$$

Uma outra informação de interesse para o melhoramento, é a correlação entre as médias dos híbridos e as médias das respectivas variedades parentais. Tal relação permite avaliar o quanto das médias dos híbridos depende das médias das variedades parentais, ou inversamente, o quanto que a heterose contribui para as médias dos híbridos. Note-se que se as heteroses forem nulas ou constantes em todos os híbridos, o coeficiente de correlação tende para o seu valor máximo ($r = 1,0$).

O coeficiente de correlação foi calculado pela fórmula:

$$r = \frac{\text{Cov}_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y}$$

onde

X : variável representativa da média de duas variedades:

$$(1/2) (X_{jj} + X_{j'j'})$$

Y : variável representativa das médias dos híbridos (Y_{jj}) correspondentes.

σ_X^2 : variância de X

σ_Y^2 : variância de Y

Cov_{XY} : covariância entre as variáveis X e Y

4.3. Predição de médias de compostos

Para a predição de médias de compostos, utilizou-se a fórmula apresentada por VENCOVSKY (1972), que é a expressão mais geral de predição, nestes casos, pois permite predizer médias mesmo nos casos em que as variedades participam com proporções diferentes. A fórmula acima referida é a seguinte:

$$Y_{co}^r = \left(\sum_i f_i P_i \right) \left(\sum_j f_j P_j \right), \text{ onde}$$

Y_{co}^r : média predita do composto obtido por recombinação através de cruzamento ao acaso dos híbridos intervarietais;

f_i ou f_j : proporção com que a variedade i ou j participa na formação do composto;

P_i ou P_j : representa cada variedade parental.

No desenvolvimento do produto, os termos $P_i P_i$ (ou $P_j P_j$) são substituídos pelas respectivas médias das variedades parentais (\bar{P}_i ou \bar{P}_j) e os produtos $P_i P_j$ são substituídos pelas médias dos respectivos híbridos \bar{C}_{ij} .

Como objetivos deste estudo, no que diz respeito à formação de populações base para seleção, foram escolhidas as seguintes alternativas:

- a) formação de um composto a partir de variedades de porte baixo; b) introdução de poligenes que conferem porte reduzido na população "Composto Dent" e c) introdução de poligenes que conferem porte reduzido na população "Composto Flint". Em todos os casos, o objetivo é a formação de novos compostos com ampla variabilidade para produção de grãos e porte da planta.

Assim, foram feitas predições de médias de compostos, para os três caracteres estudados, nos seguintes casos:

- a) Compostos possíveis entre as variedades de porte baixo (conjunto I)

Neste caso foram feitas predições de $2^n - (n+1) = 127$ compostos possíveis entre as sete variedades de porte baixo. As médias preditas, para os três caracteres, são apresentadas em curvas de distribuição, destacando-se o valor médio de todos os compostos possíveis e a média predita do composto envolvendo todas as sete variedades (aqui denominado de "composto amplo"). Também são apresentados a amplitude de variação e o desvio padrão da distribuição das médias preditas. Para a predição destes compostos admitiu-se que todas as variedades participam com a mesma proporção nos cruzamentos.

- b) Compostos possíveis entre as variedades de porte baixo em cruzamento com Composto "Dent".

Nos compostos aqui referidos, o Composto "Dent" participa sempre com 50% do germoplasma, e os restantes 50% sendo representados por variedades de porte baixo. Assim, as diversas variedades de porte baixo participam com proporções diferentes, dependendo do número de variedades incluídas nos cruzamentos com o Composto Dent, conforme pode ser verificado abaixo.

Número de variedades de porte baixo que entram na formação do composto	1	2	3	4	5	6	7
Proporção de germoplasma de cada variedade de porte baixo	1/2	1/4	1/6	1/8	1/10	1/12	1/14
Proporção de germoplasma do Composto "Dent"	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2

Foram feitas, assim, predições dos $2^n - 1 = 127$ compostos possíveis. As médias preditas são apresentadas em curvas de distribuição, juntamente com a amplitude de variação e o respectivo desvio padrão. São destacadas as médias de todos os compostos possíveis e a média predita do "composto amplo" (composto formado pelo cruzamento do Composto "Dent" com as sete variedades de porte baixo).

c) Compostos possíveis entre as variedades de porte baixo em cruzamento com o Composto "Flint".

Idem ao que foi descrito no item (b).

5. RESULTADOS

5.1. Análise geral dos dados

As análises da variância foram feitas conjuntamente para os três locais, para cada um dos caracteres estudados. A análise preliminar dos dados obtidos das testemunhas mostraram não serem necessárias correções devido à variação ambiental entre sub-blocos dentro de blocos. Assim, os dados foram analisados como se apresentaram, apenas com as correções usuais (stand e umidade). Os resultados da análise geral, e parte do resultado da análise das testemunhas são apresentadas na Tabela 1 para os três caracteres em estudo.

Desses resultados, de especial importância para o estudo dos cruzamentos dialélicos são as estimativas do erro experimental e as médias das variedades e seus híbridos.

As estimativas da variância do erro experimental foram de 0,5391, 0,0075 e 0,0048 para as análises de produção de grãos (t/ha), altura da planta (m) e altura da espiga (m), respectivamente. Os coeficientes de variação correspondentes foram 17,1%, 4,1% e 5,7%, e considerados dentro dos limites aceitáveis de experimentação de campo.

As médias de produção (t/ha, corrigidos para stand e umidade), altura da planta (m) e altura da espiga (m) são apresentadas nas

tabelas dialélicas 2, 3 e 4, onde pode ser observado que as variedades 8 e 9 (Composto "Dent" e Composto "Flint") apresentaram os maiores valores para os três caracteres. Também pode ser observado que, embora as variedades de porte baixo tenham sido as menos produtivas, os híbridos entre elas apresentaram produções relativamente altas. Quanto à altura (da planta e da espiga), não houve grandes diferenças entre as variedades e seus híbridos.

5.2. Análise dos cruzamentos dialélicos

Os resultados da análise da variância das tabelas dialélicas são apresentados nas Tabelas 5 e 6 para os conjuntos I (variedades de planta baixa) e II (todas as variedades), respectivamente.

Na análise do conjunto I obtiveram-se os seguintes resultados: a análise da variância da produção de grãos apresentou significância dos efeitos de variedades (v_j) e de heterose (h_{jj}). Dos componentes da heterose, apenas a heterose média (\bar{h}) mostrou significância; não foram significativos os efeitos de heterose de variedades (h_j) e de heterose específica (s_{jj}). As análises de altura da planta e altura da espiga apresentaram os mesmos resultados verificados para produção de grãos, no que diz respeito à significância dos efeitos. Esses resultados indicam a existência de diferenças entre os efeitos de variedades e a existência de efeitos heteróticos significativos nos híbridos, mas todos mais ou menos da mesma magnitude, com desvios não significativos em torno da heterose média.

Para o conjunto II, a análise da variância revelou significância para todos os efeitos, exceto para heterose específica (ou capacidade específica de combinação). Observe-se que a significância das

diferenças entre os valores heteróticos dos híbridos fez-se notar pela inclusão, no cruzamento dialélico, de duas populações (8 e 9) com altos valores de produção e altura da planta e da espiga.

5.3. Estimação dos parâmetros e das médias das variedades e seus híbridos com emprego de modelos reduzidos

A estimativa da média das variedades parentais foi de $\hat{u} = 3,549$ t/ha, para produção de grãos no conjunto I. Os efeitos de variedades variaram de $\hat{v}_7 = -0,995$ a $\hat{v}_2 = 0,513$ t/ha. No conjunto II, com a inclusão das variedades 8 e 9, esses valores variaram de $\hat{v}_7 = -0,950$ a $\hat{v}_8 = 1,224$ t/ha. Neste conjunto, as sete variedades analisadas no conjunto I mantiveram praticamente a mesma ordem no que diz respeito às magnitudes de \hat{v}_j apenas a um nível inferior devido à elevação da média ($\hat{u}' = 3,775$ t/ha) com a inclusão dos valores relativamente altos de v_8 e v_9 . Estes resultados podem ser verificados na Tabela 7.

Para a altura da planta, no conjunto I as variedades 1, 5, 6 e 7 apresentaram valores negativos de \hat{v}_j , enquanto que as variedades 2, 3 e 4 apresentaram valores positivos, com $\hat{v}_3 = 0,155$ m sendo o maior valor e $\hat{v}_6 = -0,209$ m sendo o menor valor. No conjunto II, as sete variedades do conjunto I mantiveram praticamente a mesma ordem quanto à magnitude de \hat{v}_j , porém os maiores valores aí observados foram $\hat{v}_8 = 0,394$ m e $\hat{v}_9 = 0,274$ m.

A altura da espiga apresentou um padrão de variação dos v_j muito semelhante ao de altura da planta na análise de cada um dos conjuntos. Na Tabela 7 podem ser verificados estes resultados.

As tabelas 8, 9 e 10 mostram as heteroses gerais (em relação à média dos pais) observadas nos cruzamentos. Para a produção de

grãos, os valores de heterose no conjunto I variaram de 0,146 (\hat{h}_{37}) a 1,196 t/ha (h_{15}), com uma heterose média de 0,736 t/ha. Com a inclusão dos compostos "Dent" e "Flint" (conjunto II), a variação foi ampliada para $\hat{h}_{38} = -0,278$ a $h_{59} = 1,198$; entretanto, no conjunto II a heterose média diminuiu para 0,5738. Para o caráter altura da planta obtive-se para o conjunto I: $\bar{h} = 0,048$ com uma variação de $h_{37} = -0,020$ a $h_{14} = 0,120$; no conjunto II esta variação foi ampliada: de $h_{38} = -0,035$ a $h_{79} = 0,155$, com uma heterose média aumentada para 0,058. A altura da espiga apresentou, para o conjunto I, uma heterose média de 0,024 com uma variação de $h_{47} = -0,045$ a $h_{17} = 0,070$; no conjunto II a variação foi ampliada no limite superior para 0,135 (h_{79}) com a heterose média aumentando para 0,037.

Para a produção de grãos, todos os 21 híbridos do conjunto I apresentaram heteroses positivas com uma heterose média de 20,7%. Para o conjunto II, dos 36 híbridos, 32 ou seja 88,9%, apresentaram heteroses positivas, com uma heterose média de 15,2%. Note-se que a inclusão de duas variedades de alta produção no conjunto I (formando o conjunto II), fez diminuir a heterose média, mostrando que, em média, os híbridos em que participam estas duas variedades exibem heterose menor do que os demais híbridos. Isto demonstra também, uma correlação negativa entre os valores de heterose e a média dos pais.

Para a altura da planta, dos 21 híbridos do conjunto I, 18, ou seja 85,7%, exibiram heterose positiva, com uma heterose média de apenas 2,5%. No conjunto II, dos 36 híbridos, 30 ou 83,3% apresentaram heterose positiva sendo a heterose média de 2,83%. Para a altura da espiga, 16 ou 76,2% apresentaram heterose positiva no conjunto I onde a heterose média foi de 2,24%; no conjunto II, 30 ou 83,3% exibiram heterose positiva, com uma heterose média de 3,23%. Note-se que para estes dois caracteres, a presença de duas variedades de porte alto fez aumentar a heterose média dos cruzamentos em relação ao conjunto I.

As estimativas dos parâmetros de heterose de variedade (h_j) foram obtidas apenas para o conjunto II, uma vez que no conjunto I não foram detectadas diferenças significativas entre estes efeitos. Na tabela 11 são apresentados os valores de \hat{h}_j para os três caracteres em estudo. Para a produção de grãos obteve-se uma variação de $\hat{h}_8 = -0,570$ a $\hat{h}_5 = 0,401$. Para altura da planta a variação foi de $\hat{h}_7 = -0,036$ a $\hat{h}_9 = 0,055$ e para altura da espiga de $\hat{h}_3 = -0,027$ a $\hat{h}_9 = 0,049$.

5.4. Médias estimadas das populações e variâncias das estimativas

Utilizando-se os modelos reduzidos $Y = u + (1/2)(v_j + v_{j'}) + \theta \bar{h}$ para o conjunto I e $Y_{jj'} = u + (1/2)(v_j + v_{j'}) + \theta (\bar{h} + h_j + h_{j'})$ para o conjunto II, foram estimadas as médias das variedades e seus híbridos para os três caracteres estudados. Na Tabela 12 são apresentados os intervalos de confiança das médias observadas e estimadas das variedades e dos híbridos entre elas, ao nível de 95% de probabilidade. A Tabela 13 mostra as médias estimadas nos dois conjuntos (I e II) juntamente com as médias observadas.

O coeficiente de determinação (R^2) entre médias observadas e estimadas de produção de grãos, foi de 0,8617 para o conjunto I e 0,8788 para o conjunto II. Para a altura de planta obtiveram-se $R^2 = 0,8940$ para o conjunto I e $R^2 = 0,9748$ para o conjunto II. Para a altura da espiga esses valores foram de 0,8488 e 0,9641, respectivamente.

5.5. Correlações entre as médias dos híbridos e as médias das respectivas variedades parentais

Na Figura 1 estão representadas as médias de produção de grãos dos híbridos intervarietais, juntamente com as médias das respectivas variedades parentais, para os conjuntos I e II. Para o conjunto I,

verificou-se uma correlação positiva e significativa ($r = 0,7502^{**}$) entre as duas variáveis. Para o conjunto II, o coeficiente de correlação foi menor ($r = 0,5562^{**}$) mas igualmente significativo. Note-se que a diminuição do coeficiente de correlação foi devida à inclusão, no conjunto, de variedades que exibiram baixa heterose nos cruzamentos (principalmente o Composto "Dent").

Na Figura 2 estão representadas as médias da altura da planta dos híbridos e das variedades parentais. Os coeficientes de correlação entre estas duas variáveis foram $r = 0,8840^{**}$ e $r = 0,9426^{**}$ para os conjuntos I e II, respectivamente.

As médias de altura da espiga dos híbridos e das variedades parentais são apresentadas na Figura 3, sendo que os coeficientes de correlação foram de $r = 0,8656^{**}$ e $r = 0,9478^{**}$, para os conjuntos I e II, respectivamente.

Para a altura (da planta e da espiga), nota-se que foram mais altas as correlações entre as médias dos híbridos e as médias das variedades parentais.

5.6. Predição de médias de compostos

Foram feitas predições de médias de compostos nos seguintes casos:

A - Compostos envolvendo variedades de porte baixo (conjunto I):

Foram feitas predições de $2^n - (n+1) = 120$ (para $n=7$) compostos possíveis envolvendo as referidas variedades. Na Tabela 14 são apresentados, para os três caracteres, a amplitude de variação das médias estimadas dos compostos possíveis e o seu desvio padrão; para fins comparativos, também são apresentadas a produção predita do composto amplo e

as médias observadas de produção das testemunhas (H-6999 e Centralmex), bem como a diferença entre as médias preditas do composto amplo e do composto teoricamente mais promissor. Note-se que o composto teoricamente mais promissor não apresentou, para os três caracteres, uma superioridade significativa em relação ao composto amplo. Este último, por sua vez, apresenta produção de grãos não muito inferior às testemunhas, mas altura da planta e da espiga significativamente mais baixas.

B - Compostos envolvendo o Composto "Dent" em cruzamento com as variedades de porte baixo:

Foram feitas predições dos $2^7 - 1 = 127$ compostos possíveis no presente caso. Na Tabela 15 são apresentadas, para os três caracteres, a amplitude de variação das médias preditas, o desvio padrão, a média predita para o composto amplo e a diferença entre o composto amplo e o composto mais promissor.

O composto mais promissor também não se apresentou com superioridade significativa sobre o composto amplo, para os três caracteres. O composto amplo apresenta-se com produção levemente inferior às testemunhas e com altura da planta e da espiga sensivelmente mais baixas.

C - Compostos envolvendo o Composto "Flint" em cruzamento com as variedades de porte baixo:

As médias preditas dos 127 compostos possíveis mostram também que o composto mais promissor não apresenta superioridade significativa sobre o composto amplo, considerando-se todos os caracteres de interesse. O composto amplo, com uma produção prevista de 4,327 t/ha, se apresenta também pouco inferior às testemunhas, mas com alturas da planta e da espiga sensivelmente menores. Na Tabela 16 podem ser observados

esses resultados.

As distribuições das médias preditas dos compostos referidos nos itens 5.6-A, 5.6-B e 5.6-C, são apresentadas conjuntamente nas Figuras 4, 5 e 6 para os caracteres: produção de grãos, altura da planta e altura da espiga, respectivamente.

6. DISCUSSÃO

6.1. Avaliação do material e do seu potencial heterótico

Dentre as nove variedades incluídas no presente estudo, sete delas foram estudadas separadamente, e depois em conjunto com as outras duas. Este estudo à parte justifica-se pelo fato de estas variedades (aqui referidas como conjunto I) apresentarem uma particularidade comum que é a altura reduzida da planta e da espiga. Estes caracteres são de grande importância no melhoramento, visto que estão relacionados com a arquitetura da planta. Realmente, a obtenção de ideotipos, com arquitetura ideal das plantas, tem sido considerada como uma meta no melhoramento de plantas, e os esforços neste sentido estariam de acordo com as exigências da agricultura moderna, principalmente para a resolução de certos problemas práticos como o acamamento e as dificuldades de colheita mecanizada.

Realmente, as variedades do conjunto I apresentaram altura bastante reduzida da planta (média de 1,94 m) e da espiga (média de 1,06 m), que são bastante inferiores às médias de altura das testemunhas (2,35 m e 1,43 m, respectivamente). Neste conjunto, a variedade "Antigua" foi a que apresentou menor altura da planta e da espiga, ou seja, 1,70 m e 0,93 m, respectivamente.

Quanto à produtividade, porém, as variedades do conjunto I foram significativamente inferiores aos cultivares melhorados; a produção média foi de 3,550 t/ha, sendo 22% inferior à média das testemunhas, que foi de 4,542 t/ha, com uma diferença de quase 1 t/ha. A variedade mais produtiva foi "Mezcla Amarilla", com 4,219 t/ha. Esta variedade está entre as de porte mais baixos, sendo considerada, portanto, uma das mais promissoras. A variedade "Antigua", porém, está entre as menos produtivas (3,072 t/ha).

Entre os híbridos deste conjunto de variedades, resultaram efeitos heteróticos bastante promissores para a produção de grãos. A heterose média foi de 0,736 t/ha, sendo de 20,7% a superioridade média dos híbridos em relação à média das respectivas variedades paternas. Neste conjunto, todos os híbridos foram superiores à média dos pais, resultado este que está de acordo com os resultados relatados na literatura, onde as heteroses têm sido, na maioria dos casos, positivas (PATERNIANI, 1963; RICHEY, 1922; LONNQUIST e GARDNER, 1961, entre outros).

O híbrido menos heterótico foi "MEB-I" x "Cateto Argentina-Uruguai" ($\hat{h}_{37} = 0,146$ t/ha ou 4,4%) e o mais heterótico foi "Tuxpeño Crema-I" x "Eto Blanco" ($\hat{h}_{15} = 1,196$ t/ha ou 34,0%).

Para a altura da planta e da espiga, embora tenham sido detectadas diferenças significativas entre as heteroses, estas foram de um modo geral de magnitudes muito baixas: heteroses médias de 4,8 cm (2,5%) e 2,4 cm (2,2%), respectivamente, com alguns valores negativos mas não significativamente diferentes de zero. Para a altura da planta, o híbrido com maior heterose positiva e significativa foi "Tuxpeño Crema I" x "Mezcla Amarilla" ($\hat{h}_{14} = 0,12$ m ou 6,3%) e para altura da espiga o híbrido mais heterótico foi "Tuxpeño Crema-I" x "Cateto Argentina-Uruguai" ($\hat{h}_{17} = 0,07$ m ou 6,5%).

A magnitude da heterose tem sido utilizada, de um modo geral, para avaliar o nível de diversidade genética entre as variedades ou raças parentais (HALLAUER e EBERHART, 1966; TROYER e HALLAUER, 1968; LONNQUIST e GARDNER, 1961; MOLL, SALHUANA e ROBINSON, 1962, entre outros). Porém, MOLL e col. (1962) e ROBINSON e MOIL (1963) salientam que as diferenças genéticas entre populações extremamente divergentes podem limitar a expressão da heterose. Por outro lado, CRESS (1966) argumenta que a falta de heterose em um híbrido interpopulacional não indica necessariamente a falta de divergência genética. De qualquer maneira, a presença de heterose é, sem dúvida, uma evidência de divergência genética. No presente caso, as heteroses foram de magnitudes relativamente altas, pelo menos para a produção de grãos, indicando a existência de certa divergência genética entre as variedades do conjunto I. A existência de divergência genética no material em estudo é, pois, indicativo para o melhorista, do potencial de variabilidade genética que pode ser liberado e explorado convenientemente através de métodos de seleção.

Como parte do material em estudo no presente trabalho, foram incluídas duas outras variedades (populações) - Composto "Dent" e Composto "Flint" -, que apresentam alta capacidade geral de combinação e porte alto das plantas. Com a inclusão destas duas variedades o conjunto ficou sendo constituído de nove variedades (conjunto II). Nos ensaios, as duas variedades de porte alto mostraram-se as mais produtivas (média = 4,565 t/ha) sendo equiparadas com a média das testemunhas (4,542 t/ha). Os híbridos em que participaram também foram, em média, os mais produtivos. De fato, no conjunto II o híbrido mais produtivo foi "Mezcla Amarilla" x "Composto Flint" (5,144 t/ha). Obviamente, aquelas duas variedades foram as mais altas (planta e espiga), bem como o foram os híbridos em que participaram.

Os efeitos heteróticos da produção de grãos no conjunto II foram, em média, inferiores ao do conjunto I, com uma heterose média de $\bar{h} = 0,574$ t/ha (15,2%). Dos 36 híbridos intervarietais, apenas 88,9% apresentaram heterose positiva. Apesar do maior valor observado de heterose ter sido no híbrido "Eto Blanco" x "Composto Flint" ($\hat{h}_{59} = 1,198$ t/ha ou 32,0%) o "Composto Flint" apresentou, em média, valores de heterose relativamente baixos. O "Composto Dent" foi o que apresentou os menores valores, sendo que participou em todos os híbridos que apresentaram heterose negativa (embora não significativamente diferentes de zero), inclusive o híbrido "Composto Dent" x "Composto Flint". Deve-se salientar, porém, que a ocorrência de baixos valores de heterose em alguns cruzamentos não indica, necessariamente, a falta de divergência genética, conforme observou CRESS (1966).

O caráter "altura da planta" apresentou heteroses um pouco maiores no conjunto II, em relação ao conjunto I, com uma heterose média de 5,8 cm (2,8%). O mesmo ocorreu com altura da espiga, que apresentou uma heterose média de 3,7 cm (3,2%). Estes resultados mostram que, para a produção de grãos, as variedades de porte alto apresentam, com as variedades do conjunto I, uma divergência menos expressiva do que a divergência genética média verificada entre as próprias variedades do conjunto I. Para a altura (planta e espiga), justamente o contrário foi verificado, ou seja, que as variedades de porte baixo apresentam entre si uma divergência genética menos intensa do que a existente entre elas e as variedades de porte alto. Tais considerações, porém, ficam sujeitas à restrição estabelecida por CRESS (1966).

Os coeficientes de correlação entre as médias dos híbridos e as médias das respectivas variedades parentais, foram positivas e significativas para os três caracteres nos dois conjuntos, (Figuras 1, 2 e 3).

Para a produção de grãos, esta correlação foi maior no conjunto I ($r = 0,7502$)^{**} do que no conjunto II ($r = 0,5562$)^{**}, em consequência da maior variação verificada entre as heteroses no conjunto II.

Interpretações mais detalhadas destes resultados são apresentadas no item seguinte.

6.2. Avaliação do material com base no modelo de GARDNER e EBERHART (1966)

Pelos objetivos do presente estudo, houve interesse em se avaliar o potencial genético das variedades em duas etapas: a) avaliação somente das variedades de porte baixo (conjunto I); b) avaliação conjunta de todas as variedades estudadas (conjunto II).

Conjunto I

Através da avaliação das variedades pela sua própria capacidade de produção, destacou-se como mais promissora a variedade "Mezcla Amarilla" ($\hat{v}_j = 0,669$ t/ha). Nesse aspecto, a variedade menos promissora foi "Cateto Argentina Uruguai" ($\hat{v}_j = -0,724$ t/ha). Esta discriminação é estatisticamente válida pois, conforme revelou a significância dos efeitos de variedades na análise da variância, deve existir superioridade de algumas variedades sobre as demais.

No que diz respeito ao potencial heterótico das variedades, verificou-se que não existem diferenças significativas entre elas. De fato, a análise da variância mostrou que, embora as heteroses tenham sido significativas, entre os componentes da heterose somente a heterose média mostrou significância.

Resultados semelhantes foram observados para a altura da planta e da espiga, ou seja, diferenças significativas entre os efeitos

de variedades e significância da heterose média mas não significância dos efeitos de heterose de variedades e de heterose específica.

Esses resultados podem indicar a existência de divergência genética entre as variedades de porte baixo, para os três caracteres. Quanto à presença dos efeitos heteróticos, é provável que as diversas variedades apresentem diferenças de frequências gênicas para os genes que exibem efeitos de dominância; porém, as pequenas diferenças entre as heteroses indicam que os genes dominantes com alta frequência em qualquer das variedades estariam presentes com baixa frequência nas demais variedades. Desde modo, apesar da divergência entre as variedades, quanto à natureza dos genes dominantes com alta frequência, as heteroses não seriam muito diferentes no que diz respeito à quantidade de genes dominantes acumulada nos híbridos. Esta interpretação é coerente com a hipótese de dominância explicativa da heterose.

Pela análise da variância da produção de grãos, verificase também que, da soma de quadrados total observada, 50,4% foi devida aos efeitos de variedades e 49,6% à heterose total, sendo 35,8% atribuída à heterose média e os 13,8% aos componentes não significativos da heterose (heterose de variedades, 5,1%; heterose específica 8,7%).

Para a altura da planta obtiveram-se as seguintes proporções da soma de quadrados total: 86,0% para os efeitos de variedades; 14% para os efeitos heteróticos, sendo distribuídos 5,1% para a heterose média, 4,3% para a heterose de variedades e 4,6% para heterose específica. Para a altura da espiga, a soma de quadrados total foi assim distribuída: 85,3% para variedades; 14,7% para heterose total, sendo 2,2% para heterose média, 2,9% para heterose de variedades e 9,6% para heterose específica.

No caso da produção de grãos a porcentagem de variação devida a efeitos de variedades foi da mesma magnitude que a da variação devida a efeitos heteróticos. Para a altura da planta e da espiga, porém, a variação devida a efeitos de variedades foi bastante superior. Embora não tenha sido possível isolar os efeitos aditivos e dominantes dos efeitos de variedades, pode-se afirmar que, para a produção de grãos, os efeitos de dominância intervarietal são mais evidentes do que os intravarietais. CASTRO e col. (1968) encontraram uma relação onde os efeitos de dominância intervarietal, para produção, foram responsáveis por 52,4% da variação total, e a dominância intravarietal por apenas 6,5%. No trabalho apresentado por GARDNER (1967), a proporção de variação de variedades e de efeitos heteróticos foi de 49,5% para 50,5% respectivamente. Por outro lado, GARDNER e PATERNIANI (1967) encontraram uma maior variação para efeitos de variedades do que para efeitos heteróticos (69,4% e 17,4%, respectivamente).

Para a altura da planta e da espiga, os resultados aqui observados concordam com os resultados observados por CASTRO e col. onde a heterose foi responsável por uma pequena porção (3,5%) da variação total.

A falta de respostas heteróticas de grande magnitude, para altura, constitui um resultado favorável se o objetivo do melhoramento for dirigido para a exploração de efeitos heteróticos de um outro caráter. Esses resultados abrem possibilidades, portanto, de exploração dos efeitos heteróticos promissores para a produção de grãos, sem contudo, comprometer os caracteres altura da planta ou da espiga pela presença de efeitos heteróticos positivos e indesejáveis. A exploração desses efeitos pode ser através da utilização de híbridos intervarietais, de híbridos de linhagens homocigóticas extraídas das variedades mais promissoras e mesmo

através da formação de compostos de variedades. A formação de compostos constitui objeto do presente estudo e os detalhes desse tópico são discutidos em um dos itens seguintes.

Conjunto II

Neste conjunto, o "Composto Dent" destacou-se como o mais promissor no que diz respeito à capacidade de produção ($\hat{v}_g = 1,223$ t/ha). A variedade menos promissora foi também "Cateto Argentina-Uruguai". A análise da variância mostrou, de fato, que devem existir diferenças significativas entre as variedades. Para a altura, o "Composto Dent" e o "Composto Flint" foram as variedades que apresentaram os maiores valores de v_j , como variedades de porte alto que são.

Quanto ao potencial heterótico, as variedades mostraram diferenças significativas, conforme mostram a significância da heterose média e da heterose de variedades na análise da variância. Embora a heterose média tenha sido significativa para a produção de grãos, ela foi sensivelmente menor no conjunto II em relação ao conjunto I, com um decréscimo de 22% em valor absoluto, ou 5,5% em relação à média dos pais. Para a altura (planta e espiga) houve um pequeno aumento da heterose média: de 2,37% (conjunto I) para 3,03%, em relação à média dos pais. Quanto à heterose de variedades, o maior valor observado foi para a variedade "Eto Blanco" ($\hat{h}_5 = 0,512$) e o menor valor foi para "Composto Dent" ($-0,571$). Realmente, estas duas variedades foram as únicas que apresentaram os efeitos \hat{h}_j significativamente diferentes de zero ($t_5 = 3,34^{**}$ e $t_8 = 3,72^{**}$).

O Composto "Flint" também exibiu valor negativo de \hat{h}_j ($-0,023$, t/ha), porém não significativamente diferente de zero ($t=0,15$). Estes resultados mostram que o Composto "Flint" tem um potencial heterótico não muito inferior à heterose média do conjunto. Por outro lado, o Composto "Dent" demonstrou o seu baixo potencial heterótico e a sua

inclusão nos cruzamentos dialélicos foi, sem dúvida, a responsável pela diminuição da heterose média em relação ao conjunto I. Em contraposição, a variedade "Eto Blanco" apresentou um alto potencial heterótico ($\hat{h}_5 = 0,512$, $t = 3,34^{**}$) quando em cruzamento com as outras variedades do conjunto. Este comportamento mostra que a variedade "Eto Blanco" deve apresentar frequências gênicas dos locos com dominância, bem contrastantes com as frequências gênicas médias de todas as variedades, daí o seu alto valor heterótico positivo. Por outro lado, o "Composto Dent" teria tais genes com frequências muito próximas das frequências gênicas médias do conjunto, resultando em um baixo valor heterótico médio. Além disso, alguns híbridos envolvendo o "Composto Dent" apresentaram heteroses negativas, embora não significativamente diferentes de zero, mostrando também o baixo potencial heterótico desta variedade.

Para a altura (planta e espiga) o Composto "Flint" foi aparentemente a única variedade que exibiu efeitos de heterose de variedades realmente significativos ($\hat{h}_9 = 0,055m$ para altura da planta, sendo $t = 3,04^{**}$; e $0,049m$ para altura da espiga, sendo $t = 3,42^{**}$), indicando que esta variedade tem uma estrutura genética diferente das demais no que diz respeito aos locos com dominância. Quer isso dizer que as demais variedades não apresentam grandes contrastes de frequências gênicas dos locos com dominância, enquanto que o Composto "Flint" teria tais genes com frequências mais contrastantes em relação às demais.

Além disso, os baixos valores de heterose observados para a altura da planta e da espiga, podem ser consequência de efeitos gênicos com dominância apenas parcial ou à presença de poucos genes dominantes no controle destes caracteres. É pouco provável que os baixos valores observados de heterose sejam consequência unicamente de semelhanças de frequências gênicas. De fato, diversos autores têm mostrado que existe

predominância de efeitos gênicos aditivos no controle destes caracteres (GARDNER e col., 1953; ROBINSON, COMSTOCK e HARVEY, 1955, entre outros). Por outro lado, determinações do grau médio de dominância para a altura da planta e da espiga, têm indicado a existência de dominância apenas parcial (COMSTOCK e ROBINSON, 1948; GARDNER e col., 1953). Resultados semelhantes aos obtidos no presente trabalho, ou seja, baixos valores de heterose para a altura da planta e da espiga, têm sido verificados por diversos pesquisadores (ROBINSON e COCKERHAM, 1961; PATERNIANI, 1970; BARRIGA e VENCOVSKY, 1973, entre outros).

Os valores relativos dos efeitos de dominância podem ser avaliados pela sua contribuição na variação total. Para a produção de grãos, 50,8% da variação total foram devidos aos efeitos de variedades e 49,2% aos efeitos heteróticos, sendo 21,7% atribuídos à heterose média, 14,4% à heterose de variedades e 13,1% à heterose específica. Este resultado é bastante semelhante ao observado no conjunto I, pois a porcentagem da variação devida aos efeitos de variedades é da mesma magnitude da variação devida aos efeitos de dominância intervarietal (heterose), porém, difere no que diz respeito aos componentes da heterose, sendo que a % da variação devida à heterose de variedades foi menor no conjunto II. Em termos absolutos, porém, as magnitudes dos quadrados médios foram maiores no conjunto II. De qualquer maneira, tal como no conjunto I, os efeitos de dominância intervarietal são mais evidentes do que no nível intravarietal.

Para a altura da planta 93,7% da variação total foram devidos aos efeitos de variedades e apenas 6,3% aos efeitos heteróticos. Para altura da espiga estas proporções foram 94,2% e 5,8%, respectivamente. Verifica-se que a variação da altura atribuída aos efeitos heteróticos foi percentualmente menor (6%) em relação ao conjunto I (14%), mas com valores absolutos mais significativos, conforme podem ser observados pela

magnitude dos respectivos quadrados médios: o quadrado médio atribuído à herose total no conjunto II é cerca de 20% maior do que no conjunto I.

Correlações:

As correlações entre as médias dos híbridos e a média das respectivas variedades parentais podem ser interpretadas com maior clareza com base no modelo de GARDNER e EBERHART (1966).

O coeficiente de correlação entre as médias dos híbridos e as médias das respectivas variedades parentais é calculado pela fórmula:

$$r = \frac{\hat{\text{Cov}}_{XY}}{\hat{\sigma}_X \hat{\sigma}_Y}$$

Estes três parâmetros podem ser expressos em função das variâncias e covariâncias dos componentes das médias. Pelo modelo de GARDNER e EBERHART (1966) tem-se:

$$X = \hat{u} + \frac{1}{2} (\hat{v}_j + \hat{v}_{j'}) = \text{média das variedades } j \text{ e } j'$$

$$Y = \hat{u} + \frac{1}{2} (\hat{v}_j + \hat{v}_{j'}) + \hat{h} + \hat{h}_j + \hat{h}_{j'} + \hat{s}_{jj'} = \text{média do híbrido correspondente.}$$

Dai, deduz-se que:

$$\sigma_X^2 = \frac{(n-1)(n-2)}{n(n-1)-2} \left(\frac{\hat{\sigma}_v^2}{2} \right)$$

$$\sigma_Y^2 = \frac{(n-1)(n-2)}{n(n-1)-2} \left[\frac{\hat{\sigma}_v^2}{2} + 2 \hat{\sigma}_h^2 + 2 \text{Cov}_{\hat{v}\hat{h}} + \left(\frac{n(n-3)}{n(n-1)-2} \right) \hat{\sigma}_s^2 \right]$$

$$\text{Cov}_{XY} = \frac{(n-1)(n-2)}{n(n-1)-2} \left[\frac{\hat{\sigma}_v^2}{2} + \text{Cov}_{\hat{v}\hat{h}} \right], \text{ onde}$$

$\hat{\sigma}_v^2$: variância entre os efeitos fixos de variedades (\hat{v}_j)

$\hat{\sigma}_h^2$: variância entre os efeitos fixos de heterose de variedades (\hat{h}_j)

\hat{Cov}_{vh} : covariância entre os efeitos \hat{v}_j e \hat{h}_j

$\hat{\sigma}_s^2$: variância entre os efeitos de heterose específica ($\hat{s}_{jj'}$)

Estas relações podem ser expressas na forma matricial, numa forma multiplicativa do tipo $S\sigma = T$, como segue:

$$\begin{bmatrix} \frac{(n-1)(n-2)}{2[n(n-1)-2]} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{(n-1)(n-2)}{2[n(n-1)-2]} & \frac{2(n-1)(n-2)}{n(n-1)-2} & \frac{2(n-1)(n-12)}{n(n-1)-2} & \frac{n(n-3)}{n(n-1)-2} \\ \frac{(n-1)(n-2)}{2[n(n-1)-2]} & 0 & \frac{(n-1)(n-2)}{n(n-1)-2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_v^2 \\ \sigma_h^2 \\ \hat{Cov}_{vh} \\ \sigma_s^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_X^2 \\ \sigma_Y^2 \\ \text{Cov}_{XY} \end{bmatrix}$$

Assim, a correlação entre as médias dos híbridos e as médias das variedades parentais, pode ser expressa por:

$$r = \left(\frac{1}{2} \hat{\sigma}_v^2 + \hat{Cov}_{vh} \right) / \sqrt{ \frac{1}{2} \hat{\sigma}_v^2 \left(\frac{1}{2} \hat{\sigma}_v^2 + 2\hat{\sigma}_h^2 + 2 \hat{Cov}_{vh} + \frac{n(n-3)}{n(n-1)-2} \hat{\sigma}_s^2 \right) }$$

Nesta expressão, pode-se observar que o coeficiente de correlação (r) depende em grande parte da magnitude de $\hat{\sigma}_v^2$, relativamente aos outros componentes, cuja expressão está relacionada com as diferenças dos efeitos heteróticos. Se estes não diferirem entre si, o coeficiente r tende para o seu valor máximo, ou seja,

$$\lim r = 1$$

$$\sigma_{h_{jj'}}^2 \rightarrow 0$$

Apresentando os resultados na forma matricial, como representado acima, tem-se:

a) Produção de grãos

$$\text{Conjunto I:} \begin{bmatrix} 30/80 & 0 & 0 & 0 \\ 30/80 & 30/20 & 30/20 & 28/40 \\ 30/80 & 0 & 30/40 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,240480 \\ 0,030654 \\ 0,008270 \\ 0,049227 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,090180 \\ 0,183025 \\ 0,096383 \end{bmatrix}$$

$$r = \text{Cov}_{XY} / \sigma_X \sigma_Y = 0,7502^{**}$$

$$\text{Conjunto II:} \begin{bmatrix} 56/140 & 0 & 0 & 0 \\ 56/140 & 56/35 & 56/35 & 54/70 \\ 56/140 & 0 & 56/70 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,427950 \\ 0,073306 \\ 0,088849 \\ 0,055649 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,171180 \\ 0,189241 \\ 0,100101 \end{bmatrix}$$

$$r = 0,5562^{**}$$

b) Altura da planta (m)

$$\text{Conjunto I:} \begin{bmatrix} 30/80 & 0 & 0 & 0 \\ 30/80 & 30/20 & 30/20 & 28/40 \\ 30/80 & 0 & 30/40 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,020700 \\ 0,000776 \\ 0,002773 \\ 0,000789 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,007762 \\ 0,005319 \\ 0,005683 \end{bmatrix}$$

$$r = 0,8844^{**}$$

$$\text{Conjunto II:} \begin{bmatrix} 56/140 & 0 & 0 & 0 \\ 56/140 & 56/35 & 56/35 & 54/70 \\ 56/140 & 0 & 56/70 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,052378 \\ 0,000971 \\ 0,001200 \\ 0,001147 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,020951 \\ 0,021470 \\ 0,019991 \end{bmatrix}$$

$$r = 0,9426^{**}$$

c) Altura da espiga (m)

$$\text{Conjunto I: } \begin{bmatrix} 30/80 & 0 & 0 & 0 \\ 30/80 & 30/20 & 30/20 & 28/40 \\ 30/80 & 0 & 30/40 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,011548 \\ 0,000297 \\ 0,001548 \\ 0,000196 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,04330 \\ 0,003095 \\ 0,003170 \end{bmatrix}$$

$$r = 0,8657^{**}$$

$$\text{Conjunto II: } \begin{bmatrix} 56/140 & 0 & 0 & 0 \\ 56/140 & 56/35 & 56/35 & 54/70 \\ 56/140 & 0 & 56/70 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0,034520 \\ 0,000554 \\ 0,000803 \\ 0,001111 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,013808 \\ 0,016836 \\ 0,014450 \end{bmatrix}$$

$$r = 0,9478^{**}$$

A covariância entre as estimativas \hat{v}_j e \hat{h}_j , designada por $\hat{Cov}_{\hat{v}\hat{h}}$, em realidade tem dois componentes, sendo um genético ($\hat{Cov}_{\hat{v}\hat{h}}$) e outro que é função do erro experimental. Partindo dos modelos:

$$\hat{v}_j = v_j + e_j, \text{ sendo que } E(\hat{v}_j) = v_j$$

$$\hat{h}_j = h_j + e'_j, \text{ sendo que } E(\hat{h}_j) = h_j$$

onde v_j e h_j são estimados por

$$\hat{v}_j = V_j - \frac{V..}{n}$$

$$\hat{h}_j = \frac{C_{j.}}{n-2} - \frac{V_j}{2} - \frac{1}{n} \left(\frac{2C..}{n-2} - \frac{V..}{2} \right), \text{ sendo}$$

V_j = média da variedade j

$V./n$ = média de todas as variedades

$C_{j.}$ = soma dos híbridos em que participa a variedade j

$C..$ = soma de todos os híbridos

pode-se demonstrar que

$$\hat{Cov}_{\hat{v}_j \hat{h}_j} = Cov_{v_j h_j} - \frac{1}{2} \hat{\sigma}_e^2$$

onde $\hat{\sigma}_e^2$ é a variância residual das médias observadas.

Assim, a estimativa da covariância genética entre os parâmetros v_j e h_j é dada por:

$$\hat{Cov}_{v_j h_j} = Cov_{\hat{v}_j \hat{h}_j} + \frac{1}{2} \hat{\sigma}_e^2$$

Partindo destas expressões, a covariância entre \hat{v}_j e \hat{h}_j podem ser decompostas como está representado na Tabela 17.

A covariância genética entre os parâmetros v_j e h_j pode ainda ser expressa em função de frequência e efeitos gênicos, podendo ser positiva ou negativa.

Segundo VENCOVSKY (1970), considerando-se apenas um loco com dois alelos, tem-se:

$$v_j = a_j + d_j = (2p_j - 1)\alpha - \frac{1}{n} \sum_j (2p_j - 1) \alpha + 2(p_j - p_j^2)\delta - 2 \frac{1}{n} \sum_j (p_j - p_j^2) \delta$$

$$h_j = (p_j - \bar{p})^2 \delta - \frac{1}{n} \sum_j (p_j - \bar{p})^2 \delta,$$

não considerando o fator de correção devido ao tamanho finito do dialélico.

Partindo destas expressões, deduz-se que:

$$Cov_{v_j h_j} = \left[2 \sum_j p_j (1-p_j)(p_j - \bar{p}^2) + \sum_j (2p_j - 1)(p_j - \bar{p})\alpha\delta \right] / n-1 = K_1 + K_2$$

Considerando-se dominância completa ($\alpha = \delta$) e positiva (unidirecional), o primeiro termo do segundo membro da igualdade será sempre positivo, enquanto que o segundo termo pode ser negativo. Assim, $Cov_{v_j h_j}$ terá valor negativo quando K_2 for negativo e maior do que K_1 em valor absoluto. Considerando-se um modelo com apenas um loco, esta situação

ocorre quando $\left[\frac{\sum_j (2p_{j-1})/2}{\sum_j p_j(1-p_j)} \right] < -1$, ou seja, quando as variedades apresentarem, em média, frequência $p < 1 - \sqrt{0,5}$ ou $p < 0,293$ para esse loco. Em outras palavras, Cov_{vh} será negativa quando $p < 0,293$ para a maioria das variedades.

Se for considerado um modelo com muitos locos e com vários graus de dominância, estas relações tornam-se complexas. Contudo, mesmo em uma situação complexa, deve existir um limite de frequência gênica (π) além do qual a covariância torna-se positiva, ou seja, Cov_{vh} seria negativa com frequências gênicas $p_i < \pi_i$ na maioria das variedades.

Com estas considerações, pode-se interpretar mais detalhadamente os resultados referentes a correlação entre médias dos híbridos e médias das variedades parentais. Para a produção de grãos, por exemplo, o coeficiente de correlação foi de $r = 0,7502^{**}$ no conjunto I, diminuindo para $r = 0,5562^*$ no conjunto II. Este decréscimo foi devido, em parte, ao decréscimo do componente σ_v^2 , mas também ao decréscimo de Cov_{vh} , a qual foi positiva no primeiro caso e negativa no segundo. Conforme o modelo aqui considerado, Cov_{vh} seria positiva no conjunto I pelo fato da maioria das variedades apresentarem frequência gênica $p_i > \pi_i$ para a maioria dos locos com dominância. No conjunto II, em contraposição, a Cov_{vh} seria negativa devida à inclusão de duas variedades (Composto "Dent" e Composto "Flint") com baixas frequências gênicas ($p_i < \pi_i$) para os respectivos locos.

Para a altura da planta e da espiga, foram observados resultados opostos ao de produção de grãos, ou seja, Cov_{vh} aumentou do conjunto I para o conjunto II. Para a altura da planta, seu valor permaneceu negativo nos dois conjuntos, mostrando que as frequências gênicas não ultrapassaram, em média, o limite teórico (π) já mencionado. Para a altura da espiga, por outro lado, houve uma inversão de sinal da Cov_{vh} do

conjunto I para o conjunto II.

Convém ainda ressaltar que estas interpretações não estão em desacordo com aquelas obtidas da análise genética pelo modelo de GARDNER e EBBERTHART (1966).

6.3. Predição de médias de compostos

Entre os 120 compostos possíveis envolvendo as variedades de porte baixo, o mais promissor para produtividade seria o composto formado pelo intercruzamento das variedades 1, 2, 3, 4 e 5 (ver item 3).

Este composto seria cerca de 37% mais produtivo do que o de menor produção e apenas 6,7% mais produtivo do que o composto amplo.

Embora as variedades tenham apresentado produções relativamente baixas, os compostos delas derivados teriam produtividades relativamente altas, em consequência dos altos efeitos heteróticos nos cruzamentos. O composto amplo, por exemplo apresentou-se como sendo apenas 8% menos produtivo do que as testemunhas. Assim, pode-se considerar que a formação de compostos constitui um método de utilização da heterose, embora a sua síntese não tenha a finalidade de aproveitamento imediato dos efeitos heteróticos. De qualquer maneira, a síntese de um composto permite levar a um nível intrapopulacional parte das heteroses manifestadas no nível interpopulacional. De fato, a média de um composto qualquer pode ser expressa por $\bar{C}_0 = \bar{V} + [(n-1)/n] \bar{h}$, onde \bar{V} é a média das variedades que entram na formação do composto e \bar{h} a heterose média dos cruzamentos entre as variedades.

Com respeito à altura (planta e espiga) não houve grande variação entre os possíveis compostos. A amplitude de variação foi de apenas 25 cm para altura da planta e 20 cm para altura da espiga. Desse

modo, se a seleção entre compostos for baseada em um índice de seleção, seriam atribuídos pesos relativamente baixos para estes caracteres.

Em virtude destes resultados, a utilização do composto amplo apresentou-se como uma alternativa conveniente sob vários aspectos: a) a sua produtividade seria apenas pouco inferior ao composto mais promissor; b) sua altura seria apenas ligeiramente superior (15 cm) ao do composto mais baixo; c) a inclusão de maior número de variedades no composto apresentaria possibilidades de obtenção de variabilidade genética mais ampla, o que seria desejável para a obtenção de progressos substanciais por seleção.

Entre os 127 compostos possíveis envolvendo o "Composto Dent" em cruzamento com as variedades de porte baixo (Compostos tipo B) o mais produtivo seria aquele formado a partir do híbrido "Composto Dent" x "Mezcla Amarilla". Esta segunda variedade participa em nove dos dez compostos mais produtivos, revelando a importância de sua alta produtividade na formação de compostos. Todos os compostos possíveis apresentariam alta produtividade, com mais de 4 t/ha. O composto mais produtivo, contudo, teria um germoplasma mais restrito pois envolveria apenas uma variedade de porte baixo. Por outro lado o composto amplo teria uma produção de 4,497 t/ha sendo apenas 5,8% inferior ao composto mais promissor.

Para a altura o composto mais baixo teria 2,09 m para planta e 1,21 m para espiga, envolvendo porém apenas uma variedade de porte baixo ("Antigua"). O composto amplo teria uma altura apenas cerca de 5% maior do que o primeiro. Ponderando estes resultados, a opção pelo composto amplo apresentaria uma série de conveniências, as quais já foram mencionadas quando foi discutida a formação do composto de plantas baixas. Também neste caso a síntese de um composto permite fixar a um nível intra populacional parte das heteroses manifestadas nos cruzamentos. De fato,

demonstra-se que a média de um composto desse tipo pode ser expressa por:

$$\bar{C}_o = \frac{1}{2} \left[\bar{Y}_v + \bar{Y}_o + \bar{h}_o + \frac{n-1}{2} \bar{h}_v \right] \text{ onde,}$$

\bar{Y}_v : média de todas as variedades de porte baixo que entram na formação do composto;

\bar{Y}_o : média do "Composto Dent" para o caráter. Generalizando, corresponde à média da variedade que participa com 1/2 do germoplasma na formação do composto.

\bar{h}_o : heterose média dos híbridos em que participa o "Composto Dent"

\bar{h}_v : heterose média dos híbridos entre as variedades de porte baixo que entram na formação do composto.

A decomposição da média predita do composto amplo é apresentada na Tabela 18, para os três caracteres em estudo. A contribuição de cada componente à média total é dada na unidade original e em porcentagem da média.

Entre os 127 compostos possíveis envolvendo o "Composto Flint" em cruzamento com as variedades de porte baixo, o mais produtivo seria aquele derivado do híbrido "Composto Flint" x "Mezcla Amarilla" - (4,659 t/ha), sendo apenas 7,4% mais produtivo do que o composto amplo. Este último teria uma produção de 4,337 t/ha, onde estariam captadas partes das heteroses dos cruzamentos. O composto mais baixo seria formado a partir do híbrido "Composto Flint" x "Antigua", sendo apenas cerca de 7% mais baixo do que o composto amplo. Pelas mesmas razões já mencionadas, a escolha do composto amplo apresenta certas conveniências.

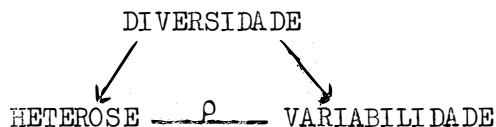
A decomposição da média predita do composto amplo é apresentada na Tabela 19 para os três caracteres em estudo.

6.4. Relação entre média e variabilidade do composto

Já é amplamente aceito que a divergência genética entre populações (diferenças de frequências gênicas) é condição primária para manifestação da heterose (MOLL e col. 1962; MOLL e col. 1965), além da presença de efeitos gênicos de dominância. Do mesmo modo, a variabilidade genética de um composto está relacionada com a diversidade genética das variedades parentais, o que tem levado diversos melhoristas (WELLHAUSEN, 1965; PATERNIANI, 1961; EBERHART e col. 1967; entre outros) a sugerirem o uso de germoplasmas geneticamente divergentes, inclusive raças exóticas, para a formação de populações base para melhoramento.

Outros autores têm salientado também que a variabilidade genética de um composto está relacionada com a divergência genética entre as variedades que entram na sua formação (GOODMAN, 1965; EBERHART e col. 1967; MOLL e ROBINSON, 1967; DUDLEY e MOLL, 1969).

Assim, deve existir uma relação (ρ) entre a heterose manifestada nos cruzamentos e a variabilidade genética de um composto, pelo menos no que diz respeito aos genes com dominância. Estas interrelações são representadas abaixo:



Portanto, pelo menos a grosso modo, é possível inferir sobre a variabilidade potencial de um composto através da heterose média dos cruzamentos entre as variedades que entram na sua formação. De fato, EBERHART e col. (1967) concluíram que dois compostos ("Kitale Composite C" e "Kitale Composite E") deveriam apresentar grande variação genética, devido à divergência genética das variedades parentais, o que aliás foi verificado pelos resultados de seleção.

Essa relação foi investigada entre os compostos possíveis do conjunto I. Em um sistema de coordenadas cartesianas (Figura 7) são relacionadas as médias preditas dos compostos (abscissa) e as heteroses médias dos híbridos que formam os compostos (ordenadas), numa tentativa de identificar os compostos mais produtivos e com maior variabilidade potencial. Estes seriam os que se distribuem no primeiro quadrante da figura 7. Verificou-se também que entre os compostos do conjunto I, existe uma correlação positiva e significativa ($r = 0,4837^{**}$) entre aquelas duas variáveis.

Embora estes resultados não tenham interferido na escolha do melhor composto no presente trabalho, estas relações podem ser úteis em alguns casos particulares, como por exemplo na decisão da escolha entre dois compostos igualmente produtivos mas com heteroses médias significativamente diferentes.

7. RESUMO E CONCLUSÕES

Nove populações de polinização livre (aqui referidas como variedades) foram intercruzadas em todas as combinações possíveis (cruzamentos dialélicos) para a síntese de compostos de variedades, como fase inicial de um programa de melhoramento de milho com ênfase especial para a produção de grãos e a altura da planta e da espiga. Os objetivos do programa podem ser resumidos em duas linhas principais: a) seleção principalmente para a produção de grãos em um composto sintetizado a partir de variedades de altura reduzida da planta e da espiga; b) seleção principalmente para redução da altura da planta e da espiga em compostos sintetizados a partir de cruzamentos entre variedades de porte normal e variedades de porte baixo. Em ambos os casos existe um objetivo comum: obtenção de variedades de alta produção e com altura reduzida da planta e da espiga.

Os híbridos intervarietais, bem como as respectivas variedades parentais, foram avaliadas em três locais num total de oito repetições. Com os dados de produção e de altura, foram preditas as médias de todos os compostos possíveis. Também foram feitas análises genéticas e estatísticas, segundo o modelo proposto por GARDNER e EBERHART (1966), com o fim de obter uma avaliação do potencial genético do material em estudo. Como resultados destes estudos, as seguintes conclusões gerais foram obtidas:

a) As variedades incluídas no conjunto I (variedades com altura reduzida da planta e da espiga) mostraram diferenças no potencial genético, "per se" (significância dos efeitos de variedades, v_j). Os híbridos intervarietais foram, em média, superiores aos tipos parentais (significância da heterose média, \bar{h}), mas não foi detectada grande variação entre as respostas heteróticas desses híbridos (não significância dos efeitos de heterose de variedades, h_j , e de heterose específica, $s_{jj'}$).

b) Resultados semelhantes foram obtidos para as variedades e híbridos pertencentes ao conjunto II (que inclui o conjunto I mais as variedades "Composto Dent" e "Composto Flint"), com uma significância adicional dos efeitos de heterose de variedades. Para a produção de grãos, isto foi devido em parte ao baixo potencial heterótico do "Composto Dent" ($\hat{h}_8 = -571$ t/ha) em contraposição ao efeito positivo da heterose de variedade de "Eto Blanco" ($\hat{h}_5 = 0,401$ t/ha). Para a altura da planta e da espiga, a significância dos efeitos de heteroses de variedades foi devida principalmente à inclusão do "Composto Flint" ($\hat{h}_9 = 0,05$ m). Verificou-se também que o "Composto Dent" exibiu heteroses negativas, mas não significativas, em alguns cruzamentos específicos.

c) Da variação total observada para a produção de grãos nos dois conjuntos de variedades e seus híbridos (I e II), os efeitos de variedades e os efeitos heteróticos foram da mesma magnitude, indicando que os efeitos de dominância interpopulacional são mais evidentes do que os efeitos de dominância intrapopulacional. Para a altura da planta e da espiga, a grande contribuição à variação total foi devida aos efeitos de variedades, indicando uma menor importância dos efeitos heteróticos para estes caracteres.

d) Embora seja sabido que as médias não constituem um meio eficiente para se obter inferências sobre a ação gênica, os baixos valores

observados para a altura da planta e da espiga sugerem a possível presença de dominância parcial em alguns locos e efeitos aditivos nos locos restantes.

e) Utilizando-se modelos lineares reduzidos, contendo somente os efeitos que mostraram significância na análise da variância, foram obtidas estimativas mais eficientes dos componentes das médias bem como das médias das variedades e dos híbridos. A correlação entre médias observadas e estimadas foi alta em todos os casos, sendo que mais de 80% da variação entre as médias observadas pode ser explicada pelos modelos reduzidos.

f) Os coeficientes de correlação (r) entre as médias dos híbridos e as médias das respectivas variedades parentais foram também estimadas. Para a produção de grãos, esta correlação foi menor no conjunto II do que no conjunto I, em parte devido à maior variação entre os efeitos heteróticos e à covariância negativa entre os efeitos de variedades (v_j) e os efeitos de heterose de variedades (h_j). Mostrou-se que $\lim_{\sigma_h^2 \rightarrow 0} r = 1$, ou que esta correlação atinge seu valor máximo ($r = 1$) quando todos os efeitos heteróticos são semelhantes.

Com os dados das tabelas dialélicas (médias das variedades e seus híbridos) foram feitas, ainda, predições de médias de todos os compostos possíveis para os três caracteres em estudo. Sobre este particular, as seguintes conclusões foram obtidas:

g) Apesar da baixa produtividade das variedades do conjunto I, é esperado que os compostos formados a partir de seus híbridos apresentem produtividades relativamente boas, em virtude dos valores relativamente altos das heteroses intervarietais observadas. Por outro lado, é também esperado que os compostos possíveis sejam relativamente semelhantes no que diz respeito a altura da planta e da espiga. Este fato aliado

a uma série de outras razões, indica que o composto amplo (incluindo todas as variedades) pode ser tomado como a melhor população base para programas de seleção. Este composto amplo é capaz de reter, teoricamente, $6/7$ ou 87,5% da heterose média de todos os cruzamentos.

h) Os compostos formados a partir dos híbridos entre o "Composto Dent" e as variedades do conjunto I deverão apresentar maior produtividade do que os compostos referidos no item g, principalmente devido à alta capacidade geral de combinação da variedade comum em todos os compostos, nos quais o "Composto Dent" contribui sempre com 50% de seu germoplasma. Tal como no caso anterior, não é esperada uma grande variação entre estes compostos, no que diz respeito a altura da planta e da espiga. Também neste caso, o composto amplo foi considerado a melhor população base a ser sintetizada. Demonstrou-se que o composto amplo pode reter $6/28$ ou 21,4% da heterose média de todos os híbridos entre as variedades do conjunto I e $1/2$ ou 50% da heterose média dos cruzamentos onde o "Composto Dent" é o progenitor comum.

i) Os compostos formados a partir dos híbridos entre o "Composto Flint" e as variedades do conjunto I, deverão apresentar-se mais produtivos do que os compostos referidos no item g, principalmente devido à alta capacidade geral de combinação da variedade comum (50% de germoplasma do "Composto Flint" em todos os compostos possíveis). Por outro lado, tais compostos deverão ser menos produtivos e apresentar menor altura da planta e da espiga do que os compostos referidos no item h. A escolha do composto amplo também apresenta certas conveniências. Demonstrou-se também que a fixação da heterose no composto amplo obedece as mesmas proporções mencionadas no item h.

j) Foram representadas em um diagrama, as médias preditas de produção dos compostos possíveis entre as variedades do conjunto I e as heteroses médias dos respectivos híbridos intervarietais envolvidos. Esta representação foi feita com o fim de relacionar a produção esperada com a heterose média como uma orientação para a escolha do melhor composto, desde que é conhecido que altos valores heteróticos resultam em maior variabilidade em um composto, pelo menos no que diz respeito aos genes do minantes. O coeficiente de correlação entre a produção esperada e a heterose média foi $r = 0,4837$.

8. SUMMARY AND CONCLUSIONS

Nine open pollinated populations (here referred as varieties) were intercrossed in all possible combinations (diallel crossing) for the synthesis of variety composites as an initial phase of a corn breeding program with special emphasis on yield and plant and ear height. The objectives of this program can be summarized in two main research lines: a) selection mainly for yield in a composite synthesized from varieties of low plant and ear height; b) selection mainly for low plant and ear height in composites synthesized from crosses between normal plant varieties with low plant and ear varieties. In both cases there is a common objective: obtention of high yielding varieties with low plant and ear height.

Intervarietal hybrids as well as parental varieties were grown in three locations with a total of eight replications. With the yield and height data, means of all possible composites were predicted. Genetical and statistical analysis were also performed following the model proposed by GARDNER and EBERHART (1966), in order to have an evaluation of the genetic potential of the material under study. Results obtained furnished the following general conclusions:

a) Varieties included in set-I (those with low plant and ear height) showed different genetic potential, per se, for all traits

(significance of variety effects, v_j). Intervarietal hybrids were, on the average, superior to parental types (significance of \bar{h} effect) but no great variation was detected among the heterotic responses of these hybrids (non significance of variety heterosis h_j and specific heterosis, s_{jj} effects).

b) The same pattern of results was observed for varieties and hybrids belonging to set-II (which included set-I plus Dent Composite and Flint Composite) with an additional significance of variety heterosis effects. For yield this was partly due to the low heterotic potential of Dent Composite ($\hat{h}_8 = -0,570$ t/ha) in contrast with the positive variety heterosis of Eto Blanco ($\hat{h}_5 = 0,401$ t/ha). For plant and ear height, significance of variety heterosis effects were mainly due to the inclusion of Flint Composite (with $\hat{h}_9 = 0,05$ m). Dent Composite in addition, showed negative, but non significant, heterosis for yield in some specific crosses.

d) From the total observed variation for yield in these sets of varieties and crosses (I and II), variety and heterotic effects were of the same magnitude indicating that interpopulational dominance effects are more evident than intrapopulational dominance effects. For plant and ear height, the greater contribution to the total variation was due to the variety effects, indicating a reduced importance of heterotic effects for these traits.

d) Although means are known to be inefficient tools for inferring about gene action, low heterotic values observed for ear and plant height suggest the possible presence of partial dominance in some loci and additive effects in the remaining ones.

e) By using reduced linear models, containing only those effects that showed significance in the analysis of variance, more efficient estimates of genetic components of means as well as of means of varieties and crosses were obtained. Correlation between observed and estimated means was high in all cases and more than 80% of the variation among observed means could be explained by the reduced models.

f) Correlation coefficients (r) between hybrid means and the corresponding parental variety means were also estimated. For yield this correlation was smaller in set-II than in set-I, in part due to the greater variation among heterosis effects and to the negative covariance among variety effects (v_j) and variety heterosis effects (h_j). It was shown that $\lim_{\sigma_h^2 \rightarrow 0} r = 1$, or that this correlation attains its maximum value ($r = 1$) when all heterotic effects are similar.

Means for yield and plant and ear height of parental types and all crosses (diallel table) were used to predict means of all possible composite populations. About this matter the following conclusions could be drawn:

g) Despite the low yielding ability of varieties belonging to set-I, composites that can be synthesized from their crosses are expected to show relatively good yielding ability, by virtue of the relatively high intervarietal heterosis values observed. On the other hand, all possible composites are expected to be relatively similar with respect to plant and ear height. This fact and also a series of other reasons, indicated that the broad composite (including all varieties) should be chosen as the best base population for selection programs. This broad composite will retain $6/7$ or 87.5% of the average heterosis of all crosses.

h) Composites synthesized with crosses between Dent Composite and varieties of set-I will have greater yielding ability than composites of item (g), mainly due to the high general combining ability of the common variety present in all composites, i.e., Dent Composite contributing always with 50% of its germplasm. As in the preceding case, no great difference is expected among these composites for plant and ear height. Also in this case the broad composite was considered the best base population to be synthesized. In addition, it was demonstrated that this broad composite will retain $6/28$ or 21.4% of the average heterosis of all crosses among varieties of set-I and $1/2$ or 50% of the average heterosis of crosses where Dent Composite is the common parent.

i) Composites that can be synthesized from crosses between Flint Composite and varieties of set-I are expected to have greater yields than composites from item (g), mainly due to the high general combining ability of the common variety (50% of Flint Composite germplasm in all possible composites). On the other hand, such composites will be less productive and have lower plant and ear height than composites from item (h). The choice for the broad composite presented also some conveniences. Fixation of heterosis in this composite follows the same pattern as discussed in item h.

j) Predicted yield means of all composites for set-I and the average heterosis of the corresponding intervarietal hybrids, were associated in a diagram. This was done in order to relate expected yield and average heterosis as a guide for the choice of the best composite, since it is known that high heterotic values cause great genetic variability within a composite, at least as far as dominance genes effects are concerned. The coefficient of correlation between expected yield and average heterosis was $r = 0.4837$.

9. BIBLIOGRAFIA

- ACOSTA, A.E. e P.L. CRANE. 1972. Further selection for lower ear height in maize. *Crop Science* 12:165-167.
- ALLEONI, M.R.B. e R. VENCOVSKY. 1971. Vigor de híbrido em cruzamentos de raças de milho de diversas origens. *Rel. Cient. do Depto e Instituto de Genética, ESALQ-USP*, pp. 1-3.
- ANDERSON, D.C. 1938. The relation between single and double cross yields in corn. *J. Am. Soc. Agron.* 30:209-211.
- BARRIGA, P. e R. VENCOVSKY. 1973. Heterose da produção de grãos e de outros caracteres agrônômicos em cruzamentos intervarietais de milho. *Ciência e Cultura* 25:880-885.
- BAUMAN, L.F. 1959. Evidence of non-allelic gene action in determining yield, ear height and kernel row number in corn. *Agronomy Journal* 51:531-534.
- BEAL, W.J. 1877. Report of the Professor of Botany and Horticulture. *Rept. Mich. Bd. Agr.* pp. 41-59 (citado por SPRAGUE, 1955).
- BUSBICE, T.H. 1970. Predicting yield of synthetic varieties. *Crop Science* 10:265-269.
- CAMPOS, M.S. 1966. Efeitos da seleção entre e dentro de progênies de meios irmãos em duas populações de milho. Tese de M.S., ESALQ-USP. Piracicaba, S.P. 48 p.

- CASTRO, M., C.O. GARDNER e J.H. LONNQUIST. 1968. Cumulative gene effects and the nature of heterosis in maize crosses involving genetically diverse races. *Crop Science* 8:97-101.
- COMPTON, W.A., C.O. GARDNER e J.H. LONNQUIST. 1965. Genetic variability in two open pollinated varieties of corn (Zea mays) and their F₁ progenies. *Crop Science* 5:505-508.
- COMSTOCK, R.E. e H.F. ROBINSON. 1948. The components of genetic variance in populations of biparental progenies and their use in estimating the average degree of dominance. *Biometrics* 4:254-266.
- CRESS, C.E. 1966. Heterosis of the hybrid related to gene frequency differences between two populations. *Genetics* 53:269-274.
- DARRAH, L.L., S.A. EBERHART e L.H. PENNY. 1972. A maize breeding methods in Kenya. *Crop Science* 12:605-608.
- DOXTATOR, C.W. e I.J. JOHNSON. 1936. Prediction of double cross yields in corn. *J. Am. Soc. Agron.* 28:460-462.
- DUDLEY, J.W. e R.H. MOLL. 1969. Interpretation and use of estimates of heritability and genetic variances in plant breeding. *Crop Science* 9:257-262.
- EAST, E.M. 1909. The distinction between development and heredity in inbreeding. *Am. Naturalist* 43:173-181 (citado por SPRAGUE, 1955).
- EBERHART, S.A. 1964. Theoretical relations among single, three-way, and double cross hybrids. *Biometrics* 20:522-539.
- EBERHART, S.A. e C.O. GARDNER. 1966. A general model for genetic effects. *Biometrics* 22:864-881.
- EBERHART, S.A., M.N. HARRISON e F. OGADA. 1967. A comprehensive breeding system. *Der Züchter* 37:169-174.
- EBERHART, S.A., W.A. RUSSEL e L.H. PENNY. 1964. Double cross hybrid prediction in maize when epistasis is present. *Crop Science* 4:363-366.

- ELROUBY, M.M. e L.H. PENNY. 1967. Variation and covariation in a high oil population of corn (Zea mays L.) and their implications in selection. Crop Science 7:216-219.
- EWING, E.C. 1910. Correlation of characters in corn. N.Y. Cornell Agric. Exp. Sta. Bull. 287 100 p. (citado por QUEIROZ, 1969).
- FEDERER, W.T. 1967. Diallel cross designs and their relation to fractional replication. Der Züchter, 37:174-178.
- GARDNER, C.O. 1961. An evaluation of effects of mass selection and seed irradiation with thermal neutrons on yield of corn. Crop Science 1:241-245.
- _____. 1963. Estimates of genetic parameters in cross fertilizing plants and their implications in plant breeding. In: Statistical Genetics and Plant Breeding, NAS-NRC publ. 982, pp. 225-252.
- _____. 1965. Teoría de genética estadística aplicada a las médias de variedades, sus cruces y poblaciones afines. Fitotecnia Latinoamericana 2:11-22.
- _____. 1967. Simplified methods for estimating constants and computing sums of squares for a diallel cross analysis. Fitotecnia Latinoamericana 4:1-12.
- _____. 1969. The role of mass selection and mutagenic treatment in modern corn breeding. Proc. of the 24th Annual Corn and Sorghum Res. Conf., pp. 15-21.
- GARDNER, C.O. e S.A. EBERHART. 1966. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. Biometrics 22:439-452.
- GARDNER, C.O. e J.H. LONQUIST. 1966. Statistical genetic theory and procedures useful in studying varieties and intervarietal crosses in maize. Heterosis in Intervarietal Crosses of Maize, CIMMYT Research Bulletin nº 2, pp. 7-34.

- GARDNER, C.O. e E. PATERNIANI. 1967. A genetic model used to evaluate the breeding potencial of open-pollinated varieties of corn. *Ciência e Cultura* 19:95-101.
- GARDNER, C.O., P.H. HARVEY e R.E. COMSTOCK. 1953. Dominance of genes controlling quantitative characters in maize. *Agronomy Journal* 45: 186-191.
- GIESBRECHT, J. 1957. The inheritance of ear height in *Zea mays*. *Canadian Journal of Genetics and Cytology* 3:26-33.
- GOODMAN, M. 1965. Estimates of genetic variance in adapted and exotic populations of maize. *Crop Science* 5:87-90.
- GORSLINE, G.W. 1961. Phenotypic epistasis for ten quantitative characters maize. *Crop Science* 1:55-58.
- GREEN, V.E. 1955. Asociacion de altura de planta y cosecha em maiz tropical. *Turrialba* 5:83-90.
- GRIFFE, F. 1922. First generation corn varietal crosses. *J. Am. Soc. Agron.* 14:18-27.
- GRIFFING, J.B. 1950. Analysis of quantitative gene action by constant parent regressions and related techniques. *Genetics*, 35:303-321.
- GRIFFING, B. 1956a. A Generalized treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. *Heredity* 10:31-50.
- _____. 1956b. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Jour. Biol. Sci.* 9: 463-493.
- HALL, D.M. 1934. The relationship between certain morphological characters and lodging in corn. *Mim. Agr. Exp. Sta. Tech. Bull.* 103 (citado por VERA e CRANE, 1970).

- HALLAUER, A.R. 1971. Change in genetic variance for seven plant and ear traits after four cycles of reciprocal recurrent selection for yield in maize. Iowa State J. Sci. 13:327-330. (citado por OBILANA e HALLAUER, 1974).
- _____. 1972. Third phase in the yield evaluation of synthetic varieties of maize. Crop Science 12:16-18.
- HALLAUER, A.R. e S.A. EBERHART. 1966. Evaluation of synthetic varieties of maize for yield. Crop Science 6:423-427.
- HALLAUER, A.R. e J.H. SEARS. 1968. Second phase in the evaluation of synthetic varieties of maize for yield. Crop Science 8:448-451.
- HALLAUER, A.R. e J.H. SEARS. 1969. Mass selection for yield in two varieties of maize. Crop Science 9:47-50.
- HALLAUER, A.R. e J.A. WRIGHT. 1967. Genetic variances in the open-pollinated variety of maize, Iowa Ideal. Der Züchter 37:178-185.
- HAYES, H.K. e R.J. GARBER. 1919. Synthetic production of high protein corn in relation to breeding. J. Am. Soc. Agron. 11:309-319.
- HAYES, H.K., R.P. MURPHY e E.H. RINKE. 1943. A comparison of the actual yield of double crosses of maize with their predicted yield from single crosses. J. Am. Soc. Agron. 35:60-65.
- HAYMAN, B.I. 1954a. The analysis of variance of diallel tables. Biometrics 10:235-244.
- _____. 1954b. The theory and analysis of diallel crosses. Genetics, 39:789-809.
- _____. 1957. Interaction, heterosis and diallel crosses. Genetics 42:336-355.
- _____. 1958. The theory and analysis of diallel crosses. II. Genetics 43:63-85.

- HAYMAN, B.I. 1960. The theory and analysis of diallel crosses. III. Genetics 45:155-172.
- HINKELMANN, K. e O. KEMPTHORNE. 1963. Two classes of group divisible partial diallel crosses. Biometrika 50:281-291 (citado por FEDERER, 1967).
- HOEN, K. e R.H. ANDREW. 1959. Performance of corn hybrids with various ratios of flint-dent gemplasm. Agronomy Journal 51:451-454.
- HORNER, E.S., H.W. LUNDY, M.C. LUTRICK e R.W. WALLACE. 1963. Relative effectiveness of recurrent selection for specific and general combining ability in corn. Crop Science 3:63-66.
- HULL, H.F. 1946. Regression analysis of yields of hybrid corn and inbred parent lines. Maize Gen. Coop. New Letter 20:9-13.
- JENKINS, M.T. 1929. Correlation studies with inbred and crossbred strains of maize. J. Agric. Res. 39:677-721 (citado por QUEIROZ, 1969).
- _____. 1934. Methods of estimating the performance of double crosses in corn. J. Amer. Soc. Agronomy 26:199-204.
- JINKS, J.L. 1954. The analysis of continuous variation in a diallel cross of Nicotiana rustica varieties. Genetics 39:767-788.
- _____. 1955. A survey of the genetical basis of heterosis in a variety of diallel crosses. Heredity 9:223-238.
- JINKS, J.L. e B.I. HAYMAN. 1953. The analysis of diallel crosses. Maize Genetics Coop. New Letter 27:48-54.
- JOHNSON, G.R. 1973. Diallel analysis of leaf area heterosis and relationships to yield in maize. Crop Science 13:178-180.
- JONES, D.F. 1918. The effects of inbreeding and crossbreeding upon development Connecticut Agr. Expt. Sta. Bull 207:5-100 (citado por SPRAGUE, 1955).

- JUGENHEIMER, R.W. 1958. Hybrid maize breeding and seed production. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, pp.100-103.
- KISSELBACH, T.A. 1922. Corn investigations. Neb. Agric. Exp. Sta. Res. Bull. 20, 151 pp. (citado por QUEIROZ, 1969 e por VERA e CRANE, 1970).
- KRUG, C.A., G.P. VIEGAS e L. PAOLIERI. 1943. Híbridos comerciais de milho. *Bragantia* 3:367-552.
- KUDRJAWEW, P.N. 1934. Polyallele Kreuzung als Prüfungsmethode für die Leistungsfähigkeit von Zuchtebern. *Züchtungskunde* 9:444-452. (citado por FEDERER, 1967).
- LINDSEY, M.F., J.H. LONNQUIST e C.O. GARDNER, 1962. Estimates of genetic variance in open pollinated varieties of Cornbelt corn. *Crop Science* 2:105-108.
- LONNQUIST, J.H. 1963. Gene action and corn yields. Proc. of the 18th Hybrid Corn Ind. Res. Conf. pp. 37-44.
- _____. 1964. A modification of the ear-to-row procedures for the improvement of maize populations. *Crop Science* 4:227-228.
- _____. 1969. Maize Improvement. *CIMMYT Maize* 9:1-9.
- LONNQUIST, J.H. e M. CASTRO G. 1967. Relation of intrapopulation genetic effects to performance of S_1 lines of maize. *Crop Science* 7:361-364.
- LONNQUIST, J.H. e C.O. GARDNER. 1961. Heterosis in intervarietal crosses in maize and its implications in breeding procedures. *Crop Science* 1:179-183.
- MATHER, K. 1949. *Biometrical Genetics*. Mehuen & Co. London. 162 p.
- MOCHIZUKI, N. 1968. Study of breeding synthetic variety of maize: number and choice of lines or varieties to go into a synthetic variety. (mimeografado, 17 p.).

- MOLL, R.H. e H.F. ROBINSON. 1966. Observed and expected response in four selection experiments in maize. *Crop Science* 6:319-324.
- MOLL, R.H. e H.F. ROBINSON. 1967. Quantitative genetic investigations of yield of maize. *Der Züchter* 37:192-199.
- MOLL, R.H., W.S. SALHUANA e H.F. ROBINSON. 1962. Heterosis and genetic diversity in variety crosses of maize. *Crop Science* 2:197-198.
- MOLL, R.H., J.H. LOMQUIST, J.V. FORTUNO e E.C. JOHNSON. 1965. The relationship of heterosis and genetic divergence in maize. *Genetics* 52:139-144.
- MURTY, G.S. e N.N. ROY. 1957. Study of the Indian collection of maize varieties with special reference to the relationship between yield and other characters. *Indian J. Genet. and Plant Breeding* 17:73-89.
- OBILANA, A.T. e A.R. HALLAUER. 1974. Estimation of variability of quantitative traits in BSSS by using unselected maize inbred lines. *Crop Science* 14:99-103.
- OSÓRIO, E.A. 1972. Heterose e influência da ação gênica epistática em cruzamentos interraciais de milho (*Zea mays* L.). Tese de M.S., ESALQ-USP, Piracicaba, S.P. 58 p.
- PATERNIANI, E. 1961. Cruzamentos interraciais de milho. Tese de Livre-docência, ESALQ-USP, Piracicaba, S.P. 46 p.
- _____. 1967a. Selection among and within half sib families in a Brazilian population of maize (*Zea mays* L.). *Crop Science* 7:212-215.
- _____. 1967b. Cruzamentos intervarietais de milho. Rel. Cient. do Depto e Instituto de Genética, ESALQ-USP, pp. 49-50.
- _____. 1967c. Formação de compostos e avaliação de germoplasma para o melhoramento do milho. Rel. Cient. do Depto e Instituto de Genética, ESALQ-USP, pp. 48-49.

PATERNIANI, E. 1968a. Cruzamentos interraciais de milho. Rel. Cient. do Depto e Instituto de Genética, ESALQ-USP, pp. 108-110.

_____. 1968b. Interpopulation improvement: Reciprocal Recurrent selection variations. CIMMYT Maize 8:1-12.

_____. 1970. Heterose em cruzamentos intervarietais de milho. Rel. Cient. do Depto e Instituto de Genética, ESALQ-USP, pp. 95-100.

PATERNIANI, E. e J.H. LONNQUIST. 1963. Heterosis in interracial crosses of corn. Crop Science 3:504-507.

PATIL, S.J., P.V. HAYAVADAN e M. MAHADEVAPPA. 1969. Interrelationship between grain yield, ear height and internode characters in Zea mays L. Mysore Agr. Journal 3:273-276 (citado por VERA e CRANE, 1972).

POLLAK, E., H.F. ROBINSON e R.E. COMSTOCK. 1957. Interpopulation hybrids in open-pollinated varieties of maize. American Naturalist 91:387-391.

QUEIROZ, M.A. 1969. Correlações genéticas e fenotípicas em progênies de meios irmãos de milho (Zea mays L.) e suas implicações com o melhoramento. Tese de M.S., ESALQ-USP, Piracicaba, S.P., 71 p.

ROBINSON, H.F. 1963. Statistical Genetics and Plant Breeding (résumé). In: Statistical Genetics and Plant Breeding, NAS-NRC publ. 982, pp.429-438.

ROBINSON, H.F. e C.C. COCKERHAM. 1961. Heterosis and inbreeding depression in populations involving two open-pollinated varieties of maize. Crop Science 1:68-71.

ROBINSON, H.F., R.E. COMSTOCK e P.H. HARVEY. 1949. Estimates of heritability and the degree of dominance in corn. Agronomy Journal 41:353-359.

ROBINSON, H.F., R.E. COMSTOCK e P.H. HARVEY. 1951. Genotypic and phenotypic correlations in corn and their implications in selection. Agronomy Journal 43:282-287.

- ROBINSON, H.F., R.E. COMSTOCK e P.H. HARVEY. 1955. Genetic variances in open pollinated varieties of corn. *Genetics* 40:45-60.
- ROBINSON, H.F., R.E. COMSTOCK, A. KHALIL e P.H. HARVEY. 1956. Dominance versus overdominance in heterosis: evidence from crosses between open-pollinated varieties of maize. *The American Naturalist* 90:127-131.
- ROBINSON, H.F., A. KHALIL, R.E. COMSTOCK e C.C. COCKERHAM. 1958. Joint interpretation of heterosis and genetic variances in two open-pollinated varieties of corn and their cross. *Genetics* 43:868-877.
- RYCHEY, F.D. 1922. The experimental basis for the present status of corn breeding. *J. Am. Soc. Agron.* 14:1-17 (citado por SPRAGUE, 1955).
- SILVA, J.C. 1969. Estimativas dos efeitos gênicos epistáticos em cruzamentos intervarietais de milho e suas gerações avançadas. Tese de M.S. Univ. Fed. de Viçosa, M.G., 61 p.
- SHULL, G.H. 1909. A pure line method of corn breeding. *Am. Breed. Assoc. Rept.* 5:51-59 (citado por SPRAGUE, 1955).
- SMITH, L.H. 1909. The effect of selection upon certain characters in the corn plant. *Illinois Agr. Exp. Sta. Bull.* n° 137:47-62. (citado por ACOSTA e CRANE, 1972).
- SCHMIDT, J. 1919. La valeur de l'individu à titre de générateur apprécié suivant la méthode du croisement diallèle. *Compt. Rend. Lab., Carlsberg* 14: n° 633. (citado por FEDERER, 1967).
- SPRAGUE, G.F. 1955. Chapter V: Corn Breeding. *In*: *Corn and Corn Improvement*. New York, N.Y., Academic Press Inc.
- _____. 1963. Orientation and Objectives. *Statistical Genetics and Plant Breeding*, NAS-NRC publ.982, pp. ix-xv.
- SPRAGUE, G.F. e L.A. TATUM. 1942. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. *J. Am. Soc. Agron.* 34:923-932.

- SPRAGUE, G.F. e W.I. THOMAS. 1967. Further evidence of epistasis in single and three-way cross yields of maize (Zea mays L.). Crop Science 7:355-356.
- SPRAGUE, G.F., W.A. RUSSEL, L.H. PENNY, T.H. HORNER e W.D. HANSON. 1962. Effect of epistasis on grain yield in maize. Crop Science 2:205-208.
- TAVARES, F.C.A. 1972. Componentes da produção relacionados à heterose em híbridos intervarietais de milho (Zea mays L.). Dissertação para obtenção do título de Mestre. ESALQ-USP, Piracicaba, S.P. 106 p.
- TAVARES, F.C.A. e J.R. ZINSLY. 1971. Correlações fenotípicas em variedades de milho e respectivos híbridos. Rel. Cient. do Dept^o e Instituto de Genética, ESALQ-USP, pp. 159-167.
- TIMOTHY, D.H. 1963. Genetic diversity, heterosis and use of exotic stocks of maize in Colombia. In: Statistical Genetics and Plant Breeding. Washington, D.C. Publ. 982. NAS-NRC, pp. 581-593.
- TROYER, A.F. e A.R. HALLAUER. 1968. Analysis of a set of early flint varieties of maize. Crop Science 8:581-584.
- VENCOVSKY, R. 1969. Análise de cruzamentos dialélicos entre variedades pelo método de GARDNER e EBERHART. Rel. Cient. do Dept^o e Instituto de Genética, ESALQ-USP, pp. 99-111.
- _____. 1970. Alguns aspectos teóricos e aplicados relativos a cruzamentos dialélicos de variedades. Tese de Livre-Docência. ESALQ-USP, Piracicaba, 59 p.
- _____. 1972. Processo geral para estimar a média de um caráter quantitativo numa população obtida por cruzamento. Mimeografado: trabalho apresentado na XXIV Reunião da SBPC (São Paulo).
- VENCOVSKY, R. e N.A. VELLO. 1969. Estimativa da média e do grau de homogeneização de um composto de variedades (resumo). Ciência e Cultura 21:233-234.

- VENCOVSKY, R., J.R. ZINSLY, N.A. VELLO e C.R.M. GODOY. 1973. Predição da média de um caráter quantitativo em compostos de variedades e cruzamentos de compostos. *Fitotecnia Latinoamericana* 8:25-28.
- VERA, G.A. e P.L. CRANE. 1970. Effects of selection for lower ear height in synthetic populations of maize. *Crop Science* 10:286-288.
- VILLANO, R. 1966. Heterosis, acción genica y correlaciones de catorce variedades de mais en Colombia. Tesis de Maestro. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México, 70 p. (citado por QUEIROZ, 1969).
- YATES, F. 1947. Analysis of data from all possible reciprocal crosses between a set of parental lines. *Heredity* 1:287-301.
- ZUBER, M.S. 1942. Relative efficiency of incomplete block designs using corn uniformity trial data. *J. Am. Soc. Agron.* 34:30-47.
- WELLHAUSEN, E.J. 1965. Exotic germ plasm for improvement of corn belt maize. Proc. 20th Annual Hybrid Corn Industry Res. Conf.
- WRIGHT, S. 1922. The effects of inbreeding and crossbreeding of guinea pig. U.S. Dept. Agric. Bull. 1121 (citado por SPRAGUE, 1955).

TABELAS E FIGURAS

Tabela 1. Análise conjunta de três caracteres (produção de grãos, altura da planta e altura da espiga) em blocos casualizados com oito repetições em três locais (duas em Piracicaba, duas em Cosmópolis e quatro em Jaboticabal), 1972/73.

Análise Global	Produção grãos		Altura da planta		Altura da espiga			
	F.V.	G.L.	Q.M.	F	Q.M.	F	A.M.	F
Locais	2	640,4176	**	8,4939	**	5,4836	**	
Blocos/locais	5	2,4059	**	0,0999	**	0,0380	**	
Populações	46	2,2844	**	0,2915	**	0,2324	**	
Planta baixa	27	2,3545	**	0,0728	**	0,0395	**	
Planta alta	16	1,5819	**	0,0640	**	0,0547	**	
Testemunhas	1	2,2350	*	0,4456	**	0,4405	**	
Entre grupos	2	7,8067	**	5,2003	**	4,3693	**	
Populações x Locais	92	0,7314	*	0,0095	ns	0,0076	**	
Intrablocos/test.	48	0,7674	*	0,0180	**	0,0128	**	
Erro médio (a)	230	0,5391		0,0075		0,0048		
Análise das testemunhas ¹								
Sub-blocos/blocos	8	0,6444	ns	0,0393	**	0,0140	**	
Intra sub-blocos/ test.(b)	32	0,7143		0,0102		0,0032		
a + b	262	0,5605		0,0078		0,0046		
Coefficiente de variação (%)		17,15		4,08		5,67		

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

ns não significativo

¹ Somente são apresentadas as fontes de variação de interesse.

Tabela 2. Médias observadas de produção de grãos (t/ha) de nove variedades e seus híbridos em cruzamentos dialélicos. Médias de oito repetições (1972/73).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	3,6700	4,7325	4,2425	4,5925	4,7125	4,3800	4,0475	4,3312	4,2100
2		3,9325	4,9112	4,3825	4,7300	4,2662	4,2300	4,6262	4,8412
3			3,7650	4,7162	4,6112	3,9587	3,4412	4,1038	4,5000
4				4,2187	4,6400	4,2675	3,8737	4,9412	5,1438
5					3,3625	4,1637	3,5375	4,8175	4,9450
6						3,0725	3,5550	4,1725	4,1300
7							2,8250	3,7000	3,7188
8								4,9988	4,3888
9									4,1313

Testemunhas: H-6999-B : 4,355 t/ha Centralmex : 4,729 t/ha

Tabela 3. Médias observadas de altura de planta (m) de nove variedades e seus híbridos em cruzamentos dialélicos. Médias de oito repetições (1972/73).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1,89	1,98	2,03	2,02	1,95	1,86	1,98	2,19	2,21
2		2,10	2,11	2,08	2,07	1,98	2,04	2,26	2,32
3			2,12	2,11	2,02	1,97	2,03	2,24	2,33
4				1,91	1,98	1,90	1,94	2,26	2,23
5					1,88	1,88	1,95	2,26	2,19
6						1,70	1,88	2,12	2,10
7							1,98	2,18	2,30
8								2,43	2,41
9									2,31

Testemunhas: H-6999-B : 2,26 m Centralmex : 2,43 m

1: Tuxpeño Crema-I; 2: Piracar-I; 3:MEB-I; 4: Mezola Amarilla; 5: Eto Blanco; 6: Antigua; 7: Cateto Argentina-Uruguai; 8: Composto "Dent"; 9: Composto "Flint".

Tabela 4. Médias observadas de altura da espiga (m) de nove variedades e seus híbridos em cruzamentos dialélicos. Médias de oito repetições (1972/73).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1,01	1,08	1,06	1,06	1,01	1,00	1,14	1,25	1,26
2		1,21	1,16	1,17	1,14	1,13	1,17	1,33	1,40
3			1,15	1,14	1,09	1,07	1,13	1,26	1,36
4				1,06	1,04	1,04	1,05	1,31	1,31
5					0,94	1,00	1,05	1,30	1,27
6						0,93	1,06	1,23	1,19
7							1,13	1,30	1,40
8								1,45	1,49
9									1,40

Testemunhas: H-6999-B : 1,35 m Centralmex : 1,51 m

1: Tuxpeño Crema-I; 2: Piracar-I; 3: MEB-I; 4: Mezcla Amarilla; 5: Eto Blanco; 6: Antigua; 7: Cateto Argentina-Uruguai; 8: Composto "Dent", 9: Composto "Flint".

Tabela 5. Análise da variância da tabela dialélica referente às variedades do conjunto I, para os caracteres: produção (t/ha), altura da planta (m) e altura da espiga (m).

	Produção			Altura planta		Altura espiga	
	G.L.	Q.M.	F	Q.M.	F.	Q.M.	F.
Populações	27	0,2943	**	0,0090	**	0,0049	**
Variedades	6	0,6675	**	0,0348	**	0,0190	**
Heteroses	21	0,1876	**	0,0016	*	0,0009	ns
Het. média	1	2,8429	**	0,0123	**	0,0029	**
Het.variedade	6	0,0681	ns	0,0017	ns	0,0006	ns
Het.específica	14	0,0492	ns	0,0007	ns	0,0009	ns
Erro médio	230	0,0674		0,0009		0,0006	

Conjunto I: Tuxpeño Crema-I, Piracar-I, MEB-I, Mezcla Amarilla, Eto Blanco, Antigua, Cateto Argentina-Uruguai.

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

ns não significativo

Tabela 6. Análise da variância da tabela dialélica referente às variedades do conjunto II para os caracteres: produção (t/ha), altura da planta (m) e altura da espiga (m).

	Produção (t/ha)			Alt.planta(m)		Alt. espiga(m)	
	G.L.	Q.M.	F	Q.M.	F.	Q.M.	F.
Populações	44	0,2822	**	0,0271	**	0,0198	**
Variedades	8	0,8814	**	0,1399	**	0,1030	**
Heterose	36	0,1490	**	0,0020	**	0,0014	**
Het.média	1	2,3705	**	0,0240	**	0,0098	**
Het.variedade	8	0,1865	**	0,0024	**	0,0015	*
Het.específica	27	0,0556	ns	0,0011	ns	0,0010	ns
Erro médio	230	0,0674		0,0009		0,0006	

Conjunto II: Conjunto I mais Composto "Dent" e Composto "Flint".

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade

ns não significativo.

Tabela 7. Estimativas dos parâmetros u (média das variedades parentais) v_j (efeito de variedades) em dois conjuntos de variedades para os caracteres: P: produção (t/ha), AP: altura da planta(m) e AE: altura da espiga(m)

	Conjunto I			Conjunto II		
	P	AP	AE	P	AP	AE
\hat{v}_1	0,275	-0,047	-0,059	-0,105	-0,146	-0,132
\hat{v}_2	0,513	0,144	0,141	0,157	0,064	0,068
\hat{v}_3	0,133	0,155	0,070	-0,010	0,084	0,008
\hat{v}_4	0,466	0,009	-0,003	0,444	-0,126	-0,082
\hat{v}_5	0,069	-0,045	-0,094	-0,413	-0,156	-0,202
\hat{v}_6	-0,461	-0,209	-0,105	-0,703	-0,336	-0,212
\hat{v}_7	-0,995	-0,007	0,050	-0,950	-0,056	-0,012
\hat{v}_8	-	-	-	1,224	0,394	0,308
\hat{v}_9	-	-	-	0,356	0,274	0,258
\hat{u}	3,549	1,940	1,061	3,775	2,036	1,142

Conjunto I: 1: Tuxpeño Crema-I; 2: Piracar-I; 3: MEB-I; 4: Mezcla Amarilla; 5: Eto Blanco; 6: Antigua; 7: Cateto Argentina-Uruguai.

Conjunto II: Idem conjunto I, mais 8: Composto "Dent" e 9: Composto "Flint".

Tabela 8. Valores da heterose da produção de grãos (t/ha) em relação à média dos pais, observadas nos híbridos intervarietais. Abaixo da diagonal as heteroses em porcentagem da média dos pais.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-	0,931	0,525	0,648	1,196	1,009	0,800	-0,003	0,309
2	24,5	-	1,062	0,307	1,083	0,764	0,851	0,161	0,809
3	14,1	27,6	-	0,724	1,047	0,540	0,146	-0,278	0,552
4	16,4	7,5	18,1	-	0,849	0,622	0,352	0,332	0,969
5 (34,0)	29,7	28,1	22,4	-	0,946	0,444	0,637	1,198	
6	29,9	21,8	19,8	17,1	29,4	-	0,606	0,137	0,528
7	24,6	25,2	(4,4)	10,0	14,3	20,6	-	-0,212	0,241
8	- 0,1	3,6	- 6,3	7,2	15,2	3,4	-5,4	-	-0,176
9	7,8	20,1	14,0	23,2	37,0	14,7	6,9	-3,9	-

Tabela 9. Valores da heterose da altura da planta (m) em relação à média dos pais, observadas nos híbridos intervarietais. Abaixo da diagonal, as heteroses em porcentagem da média dos pais.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-	-0,015	0,025	0,120	0,065	0,065	0,045	0,030	0,110
2	-0,75	-	0,000	0,075	0,080	0,080	0,000	-0,005	0,115
3	1,24	0,00	-	0,095	0,020	0,060	-0,020	-0,035	0,115
4	6,31	3,74	4,71	-	0,085	0,095	-0,005	0,090	0,120
5	3,44	4,01	1,00	4,48	-	0,090	0,020	0,105	0,095
6	5,57	4,21	3,14	5,26	5,02	-	0,040	0,055	0,095
7	2,32	0,00	-0,98	-0,26	1,03	2,17	-	-0,025	0,155
8	1,39	-0,22	-1,54	4,15	4,87	4,60	7,03	-	0,040
9	5,24	5,21	5,19	5,69	4,53	4,74	7,23	1,69	-

1: Tuxpeño Crema-I; 2: Piracar-I; 3: MEB-I; 4: Mezcla Amarilla; 5: Eto Blanco; 6: Antigua; 7: Cateto Argentina-Uruguai; 8: Composto "Dent"; 9: Composto "Flint".

Tabela 10. Valores da heterose da altura da espiga (m) em relação à média dos pais, observadas nos híbridos intervarietais. Abaixo da diagonal, as heteroses em porcentagem da média dos pais.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-	-0,030	-0,020	0,025	0,035	0,030	0,070	0,020	0,055
2	-2,70	-	-0,020	0,035	0,065	0,060	0,000	0,000	0,095
3	-1,85	1,69	-	0,035	0,045	0,030	-0,010	-0,040	0,085
4	2,41	3,07	3,16	-	0,040	0,045	-0,045	0,055	0,080
5	3,59	6,04	4,31	4,00	-	0,065	0,015	0,105	0,100
6	3,09	5,61	2,87	4,51	6,95	-	0,030	0,040	0,025
7	6,53	0,00	-0,88	4,11	1,45	7,90	-	0,010	0,135
8	1,63	0,00	-3,08	4,38	8,79	3,36	0,78	-	0,065
9	4,56	7,28	6,67	6,50	8,55	1,07	10,67	4,56	-

1: Tuxpeño Crema-I; 2: Piracar-I; 3: MEB-I; 4: Mezcla Amarilla; 5: Eto Blanco; 6: Antigua; 7: Cateto Argentina-Uruguai; 8: Composto "Dent"; 9: Composto "Flint".

Tabela 11. Estimativa dos parâmetros h_j (heterose de variedades) e \bar{h} (heterose média) em dois conjuntos de variedades para os caracteres: P: produção (t/ha), AP: altura da planta (m) e AE: altura da espiga (m).

	Conjunto I			Conjunto II		
	P	AP	AE	P	AP	AE
\hat{h}_1	-	-	-	0,118	-0,003	-0,016
\hat{h}_2	-	-	-	0,197	-0,019	-0,013
\hat{h}_3	-	-	-	-0,039	-0,029	-0,027
\hat{h}_4	-	-	-	0,031	0,30	-0,004
\hat{h}_5	-	-	-	0,401	0,014	0,025
\hat{h}_6	-	-	-	0,080	0,017	0,004
\hat{h}_7	-	-	-	-0,195	-0,036	-0,013
\hat{h}_8	-	-	-	-0,570	-0,030	-0,006
\hat{h}_9	-	-	-	-0,023	0,055	0,043
\hat{h}	0,7358	0,0485	0,0238	0,5738	0,0578	0,0369

Conjunto I: 1: Tuxpeño Crema-I; 2: Piracar-I; 3: MEB-I; 4: Mezcla Amarilla; 5: Eto Blanco; 6: Antigua; 7: Cateto Argentina-Uruguai.

Conjunto II: Idem conjunto I, mais 8: Composto "Dent" e 9: Composto "Flint".

Tabela 12. Intervalos de confiança (Pr: 95%) de médias observadas e médias estimadas de variedades e híbridos em dois conjuntos de variedades (conjuntos I e II, sendo que I \subset II), para três caracteres.

Carater	Conjunto	Médias observadas (variedades e híbridos)	Médias estimadas (variedades)	Médias estimadas (híbridos)
Produção (t/ha)	I	m \pm 0,5088	m \pm 0,3682	m \pm 0,2311
	II	m \pm 0,5088	m \pm 0,5088	m \pm 0,2938
Alt.planta (m)	I	m \pm 0,0600	m \pm 0,0434	m \pm 0,0272
	II	m \pm 0,0600	m \pm 0,0600	m \pm 0,0346
Alt.espiga (m)	I	m \pm 0,0476	m \pm 0,0340	m \pm 0,0216
	II	m \pm 0,0476	m \pm 0,0476	m \pm 0,0275

Conjunto I: 1: Tuxpeño Crema-I; 2: Piracar-I; 3: MEB-I; 4: Mezcla Amarilla; 5: Eto Blanco; 6: Antigua; 7: Cateto Argentina-Uruguai.

Conjunto II: Idem conjunto I, mais 8: Composto "Dent" e 9: Composto "Flint".

Tabela 13 - Médias observadas e estimadas de produção de grãos (t/ha), altura da planta (m) e altura da espiga (m), em dois conjuntos (I e II) de variedades e seus híbridos. Médias de oito repetições (duas em Piracicaba, duas em Cosmópolis e quatro em Jaboticabal). 1972/73.

Popu - lações	Produção de grãos (t/ha)			Altura da planta (m)			Altura da espiga (m)		
	Observedas	Estimadas I II		Observedas	Estimadas I II		Observedas	Estimadas I II	
1	3,6700	3,8242	3,6700	1,89	1,89	1,89	1,01	1,00	1,00
2	3,9325	4,0620	3,9325	2,10	2,08	2,10	1,21	1,20	1,21
3	3,7650	3,6828	3,7650	2,12	2,10	2,12	1,15	1,13	1,15
4	4,2187	4,0158	4,2187	1,91	1,95	1,91	1,06	1,06	1,06
5	3,3625	3,6181	3,3625	1,88	1,90	1,88	0,94	0,97	0,94
6	3,0725	3,0884	3,0725	1,70	1,73	1,70	0,93	0,96	0,93
7	2,8250	2,5549	2,8250	1,98	1,93	1,98	1,13	1,11	1,13
8	4,9987	--	4,9988	2,43	--	2,43	1,45	--	1,45
9	4,1313	--	4,1313	2,31	--	2,31	1,40	--	1,40
1x2	4,7325	4,6790	4,6897	1,98	2,04	2,03	1,08	1,13	1,12
1x3	4,2425	4,4894	4,3704	2,03	2,04	2,03	1,06	1,09	1,07
1x4	4,5925	4,6559	4,6665	2,02	1,97	1,99	1,06	1,05	1,05
1x5	4,7125	4,4570	4,6093	1,95	1,92	1,95	1,01	1,01	1,02
1x6	4,3800	4,1922	4,1431	1,86	1,86	1,87	1,00	0,97	1,00
1x7	4,0475	3,9254	3,7445	1,98	1,96	1,95	1,14	1,08	1,08
1x8	4,3312	--	4,4556	2,19	--	2,19	1,25	--	1,25
1x9	4,2100	--	4,5693	2,21	--	2,21	1,26	--	1,28
2x3	4,9112	4,6083	4,5805	2,11	2,14	2,12	1,16	1,19	1,18
2x4	4,3825	4,7748	4,8766	2,08	2,06	2,07	1,17	1,22	1,16
2x5	4,7300	4,5759	4,8195	2,07	2,04	2,04	1,14	1,11	1,12
2x6	4,2662	4,3111	4,3532	1,98	1,92	1,96	1,13	1,10	1,10
2x7	4,2300	4,0443	3,9547	2,04	2,06	2,04	1,17	1,18	1,18
2x8	4,6262	--	4,6657	2,26	--	2,27	1,33	--	1,35
2x9	4,8412	--	4,7795	2,32	--	2,30	1,40	--	1,38
3x4	4,7162	4,5852	4,5573	2,11	2,07	2,07	1,14	1,12	1,11
3x5	4,6112	4,3863	4,5002	2,02	2,04	2,04	1,09	1,07	1,08
3x6	3,9587	4,1215	4,0339	1,97	1,96	1,96	1,07	1,07	1,05
3x7	3,4412	3,8547	3,6354	2,03	2,06	2,04	1,13	1,15	1,14
3x8	4,1038	--	4,3464	2,24	--	2,27	1,26	--	1,30
3x9	4,5000	--	4,4602	2,23	--	2,30	1,36	--	1,33
4x5	4,6400	4,5528	4,7963	1,98	1,97	2,00	1,04	1,04	1,06
4x6	4,2675	4,2880	4,3300	1,90	1,89	1,91	1,04	1,03	1,03
4x7	3,8737	4,0212	3,9315	1,94	1,99	2,00	1,05	1,11	1,12
4x8	4,9412	--	4,6425	2,26	--	2,23	1,31	--	1,28
4x9	5,1438	--	4,7563	2,23	--	2,25	1,31	--	1,31
5x6	4,1637	4,0891	4,2729	1,88	1,86	1,88	1,00	0,99	1,00
5x7	3,5375	3,8224	3,8773	1,95	1,96	1,97	1,05	1,06	1,08
5x8	4,8175	--	4,5854	2,26	--	2,20	1,30	--	1,25
5x9	4,9450	--	4,6992	2,19	--	2,22	1,27	--	1,28
6x7	3,5550	3,5575	3,4081	1,88	1,88	1,88	1,06	1,06	1,06
6x8	4,1725	--	4,1191	2,12	--	2,11	1,23	--	1,23
6x9	4,1300	--	4,2329	2,10	--	2,13	1,19	--	1,26
7x8	3,7000	--	3,7206	2,18	--	2,20	1,30	--	1,31
7x9	3,7188	--	3,8343	2,30	--	2,22	1,40	--	1,34
8x9	4,3888	--	4,5454	2,41	--	2,45	1,49	--	1,51
Média	4,2342	4,1014	4,2342	2,08	1,97	2,08	1,17	1,08	1,17
DMS(5%)	1,4693			0,17			0,14		
R ² *	--	0,8617	0,8788	--	0,8940	0,9748	--	0,8488	0,9641

Conjunto I: 1: Tuxpeño Crema-I; 2: Piracar-I; 3: MEB-I; 4: Mezcla Amarilla; 5: Eto Blanco; 6: Antigua; 7: Cateto Argentina-Uruguai;

Conjunto II: Idem ao conjunto I, mais 8: Composto 'Dent' e 9: Composto 'Flint'.

* R²: coeficiente de determinação (médias observadas : estimadas).

Tabela 14. Amplitude de variação e desvio padrão entre médias de compostos possíveis entre sete variedades de porte baixo, e características do composto amplo, dos compostos mais promissores e das testemunhas.

Especificações	Produção(t/ha)	Alt.planta(m)	Alt.espiga(m)
Amplitude	3,252 a 4,460	1,83 a 2,08	0,97 a 1,17
Desvio padrão	0,243	0,050	0,037
Composto mais promissor para (a)			
Produção (1,2,3,4 e 5)	4,460	2,03	1,09
Alt. planta (1 e 6)	3,876	1,83	0,98
Alt. espiga (1 e 6)	3,691	1,83	0,97
Composto amplo(1,2,3,4,5,6 e 7)	4,180	1,98	1,08
Diferença (b)	-0,280	0,15	0,11
Testemunhas: H-6999	4,355	2,26	1,35
Centralmex	4,729	2,43	1,51

(a) Entre parêntesis figuram as variedades constituintes do composto, sendo: 1: Tuxpeño Crema-I; 2: Piracar-I; 3: MEB-I; 4: Mezcla Amarilla; 5: Eto Blanco; 6: Antigua; 7: Cateto Argentina-Uruguai.

(b) Diferença entre o composto amplo e o composto mais promissor para o respectivo caráter.

Tabela 15. Amplitude de variação e desvio padrão entre médias de compostos possíveis envolvendo o "Composto Dent" em cruzamento com sete variedades de porte baixo, e características do composto amplo, dos compostos mais promissores e das testemunhas.

Especificações	Produção(t/ha)	Alt.planta(m)	Alt.espiga(m)
Amplitude	3,806 a 4,775	2,09 a 2,26	1,21 a 1,33
Desvio padrão	0,155	0,024	0,037
Composto mais promissor para (a)			
Produção (4 e 8)	4,775	2,21	1,28
Alt.planta (6 e 8)	4,104	2,09	1,21
Alt.espiga (6 e 8)	4,104	2,09	1,21
Composto amplo(1,2,3,4,5,6,7 e 8)	4,487	2,21	1,27
Diferença (b)	-0,288	0,12	0,06
Testemunhas: H-6999	4,355	2,26	1,35
Centralmex	4,729	2,43	1,51

(a) Entre parêntesis figuram as variedades constituintes do composto, sendo: 1: Tuxpeño Crema-I; 2: Piracar-I; 3: MEB-I; 4: Mezcla Amarilla; 5: Eto Blanco; 6: Antigua; 7: Cateto Argentina-Uruguai; 8: Composto "Dent".

(b) Diferença entre o composto amplo e o composto mais promissor para o respectivo caráter.

Tabela 16. Amplitude da variação e desvio padrão entre médias de compostos possíveis envolvendo o "Composto Flint" em cruzamento com sete variedades de porte baixo, e características do composto amplo, dos compostos mais promissores e das testemunhas.

Especificações	Produção(t/ha)	Alt.planta(m)	Alt.espiga(m)
Amplitude	3,598 a 4,659	2,05 a 2,26	1,18 a 1,35
Desvio padrão	0,171	0,033	0,028
Composto mais promissor para ^(a)			
Produção (4 e 9)	4,659	2,17	1,27
Alt.planta (6 e 9)	3,866	2,05	1,18
Alt.espiga (6 e 9)	3,866	2,05	1,18
Composto amplo(1,2,3,4,5,6,7 e 9)	4,327	2,19	1,28
Diferença ^(b)	-0,332	0,14	0,10
Testemunhas: H-6999	4,355	2,26	1,35
Centralmex	4,729	2,43	1,51

(a) Entre parêntesis figuram as variedades constituintes do composto, sendo: 1: Tuxpeño Crema-I; 2: Piracar-I; 3: MEB-I; 4: Mezcla Amarilla; 5: Eto Blanco; 6: Antigua; 7: Cateto Argentina-Uruguai; 9: Composto "Flint".

(b) Diferença entre o composto amplo e o composto mais promissor para o respectivo caráter.

Tabela 17. Decomposição da covariância entre as estimativas \hat{v}_j e \hat{h}_j em seus componentes genético e ambiental, para a produção de grãos (P), a altura da planta (AP) e a altura da espiga (AE), em dois conjuntos de variedades.

	Conjunto I			Conjunto II		
	P	AP	AE	P	AP	AE
\hat{Cov}_{vh}	0,00327	-0,00277	-0,00155	-0,08885	-0,00120	0,00080
$\frac{1}{2} \hat{\sigma}_e^2$	0,03369	0,00047	0,00029	0,03369	0,00047	0,00029
\hat{Cov}_{vh}	0,04196	-0,00230	-0,00126	-0,05516	-0,00073	0,00109

Tabela 18. Decomposição da média predita de três caracteres no composto formado a partir do "Composto Dent" em cruzamento com sete variedades de porte baixo.

	Produção de grãos		Altura da planta		Altura da espiga	
	t/ha	%	m	%	m	%
$(1/2)\bar{h}_o$	0,055	1,2	0,015	0,7	0,014	1,1
$(6/28)\bar{h}_v$	0,158	3,5	0,010	0,5	0,005	0,4
Total de heterose	0,213	4,7	0,026	1,2	0,019	1,5
$(1/2)\bar{Y}_o$	2,499	55,7	1,215	55,0	0,725	56,9
$(1/2)\bar{Y}_v$	1,775	39,6	0,970	43,8	0,531	41,6
Média do composto	4,487	100,0	2,211	100,0	1,274	100,0

Tabela 19. Decomposição da média predita de três caracteres no composto formado a partir do "Composto Flint" em cruzamento com sete variedades de porte baixo.

	Produção de grãos		Altura da planta		Altura da espiga	
	t/ha	%	m	%	m	%
$(1/2)\bar{h}_o$	0,3290	7,6	0,0575	2,6	0,0411	3,2
$(6/28)\bar{h}_v$	0,1577	3,6	0,0104	0,5	0,0051	0,4
Total de heterose	0,4867	11,2	0,0679	3,1	0,0462	3,6
$(1/2)\bar{Y}_o$	2,0656	47,8	1,1550	52,7	0,7000	54,8
$(1/2)\bar{Y}_v$	1,7747	41,0	0,9700	44,2	0,5307	41,6
Média do composto	4,3270	100,0	2,1929	100,0	1,2769	100,0

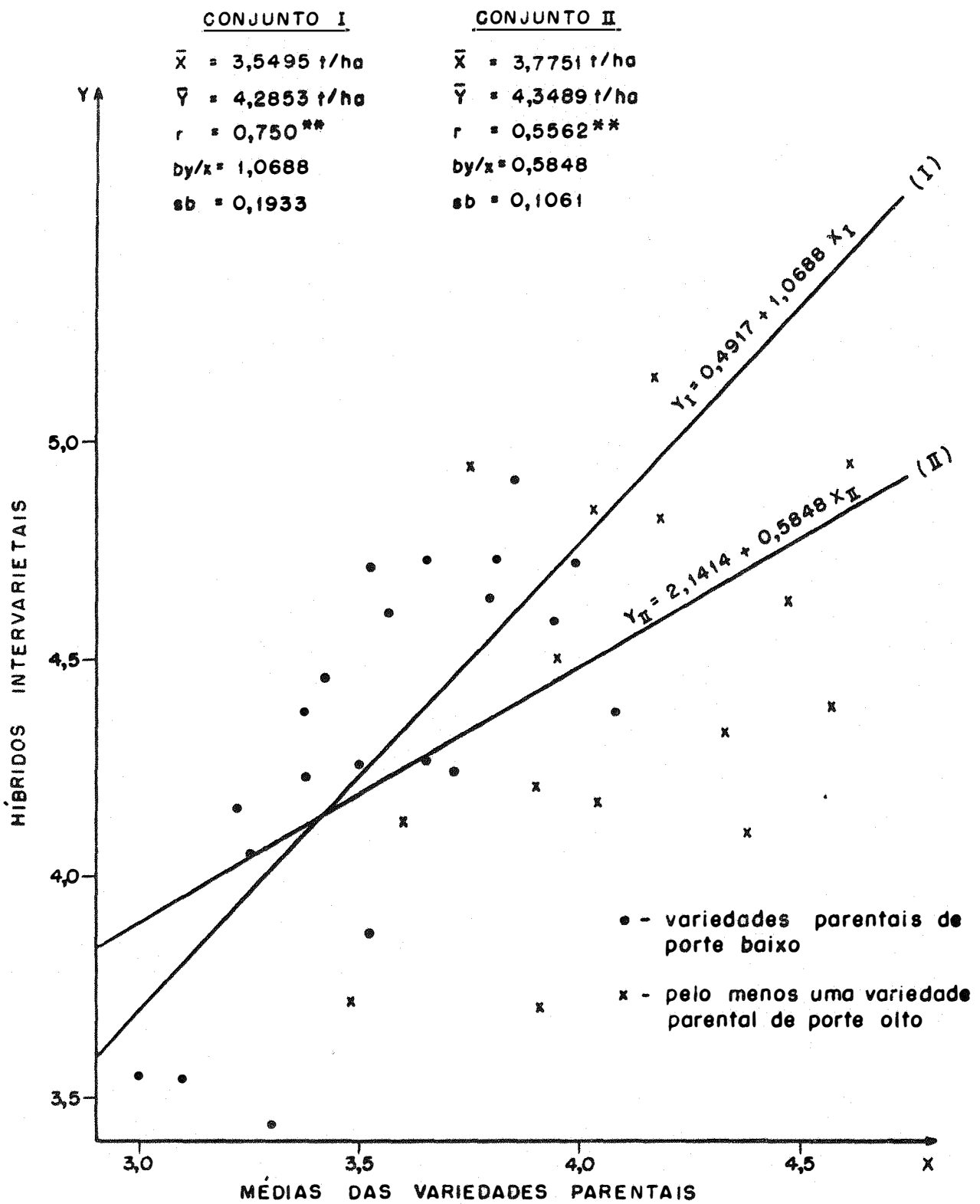


FIGURA 1 - Correlação entre médias de produção de grãos (t/ha) de híbridos intervarietais e das respectivas variedades parentais.

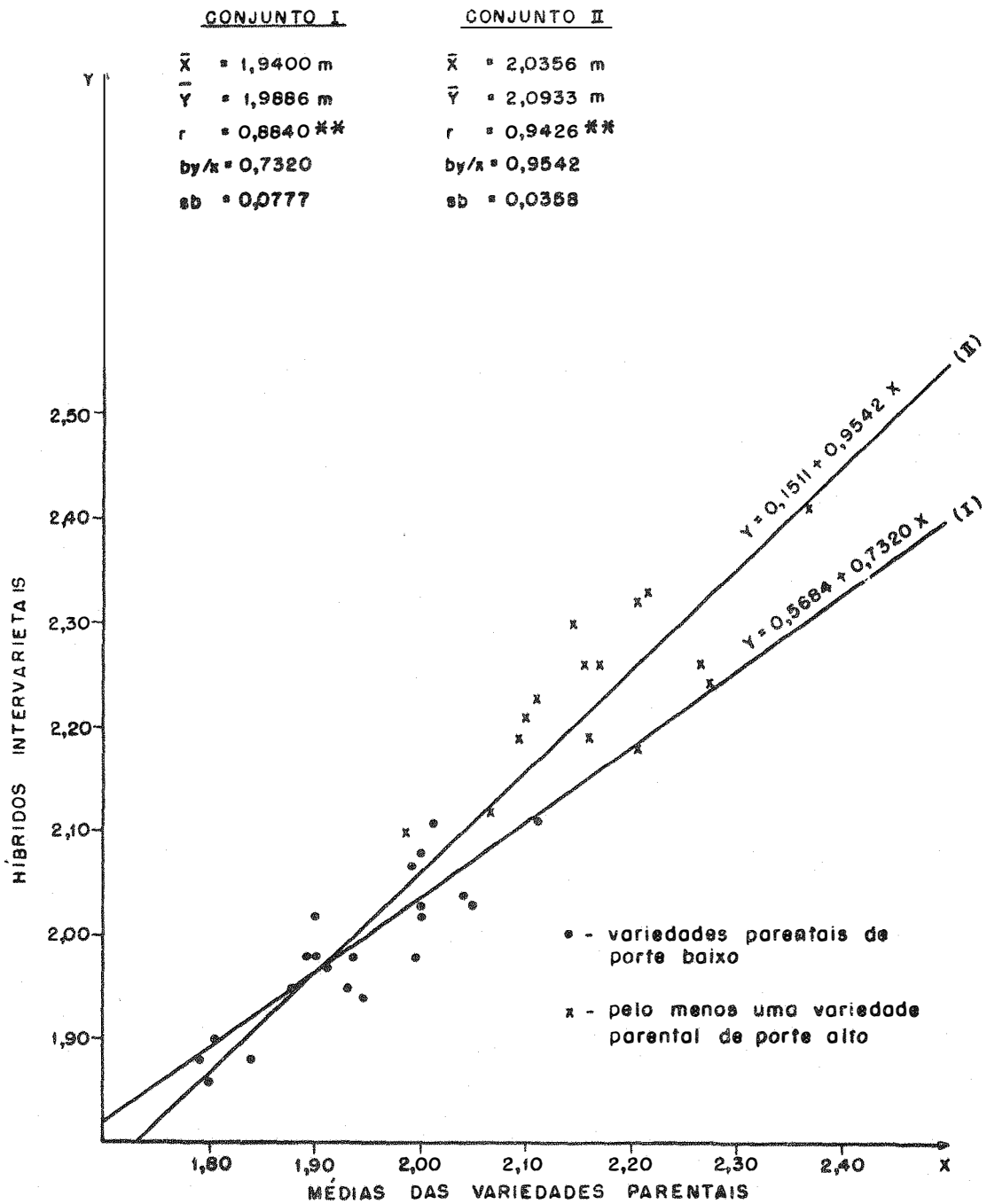


FIGURA 2 - Correlação entre médias de altura da planta (m) de híbridos intervarietais e das respectivas variedades parentais.

CONJUNTO I	CONJUNTO II
$\bar{X} = 1,0614 \text{ m}$	$\bar{X} = 1,1422 \text{ m}$
$\bar{Y} = 1,0852 \text{ m}$	$\bar{Y} = 1,1792 \text{ m}$
$r = 0,8656^{**}$	$r = 0,9478^{**}$
$b_{y/x} = 0,7320$	$b_{y/x} = 1,0465$
$sb = 0,0824$	$sb = 0,0348$

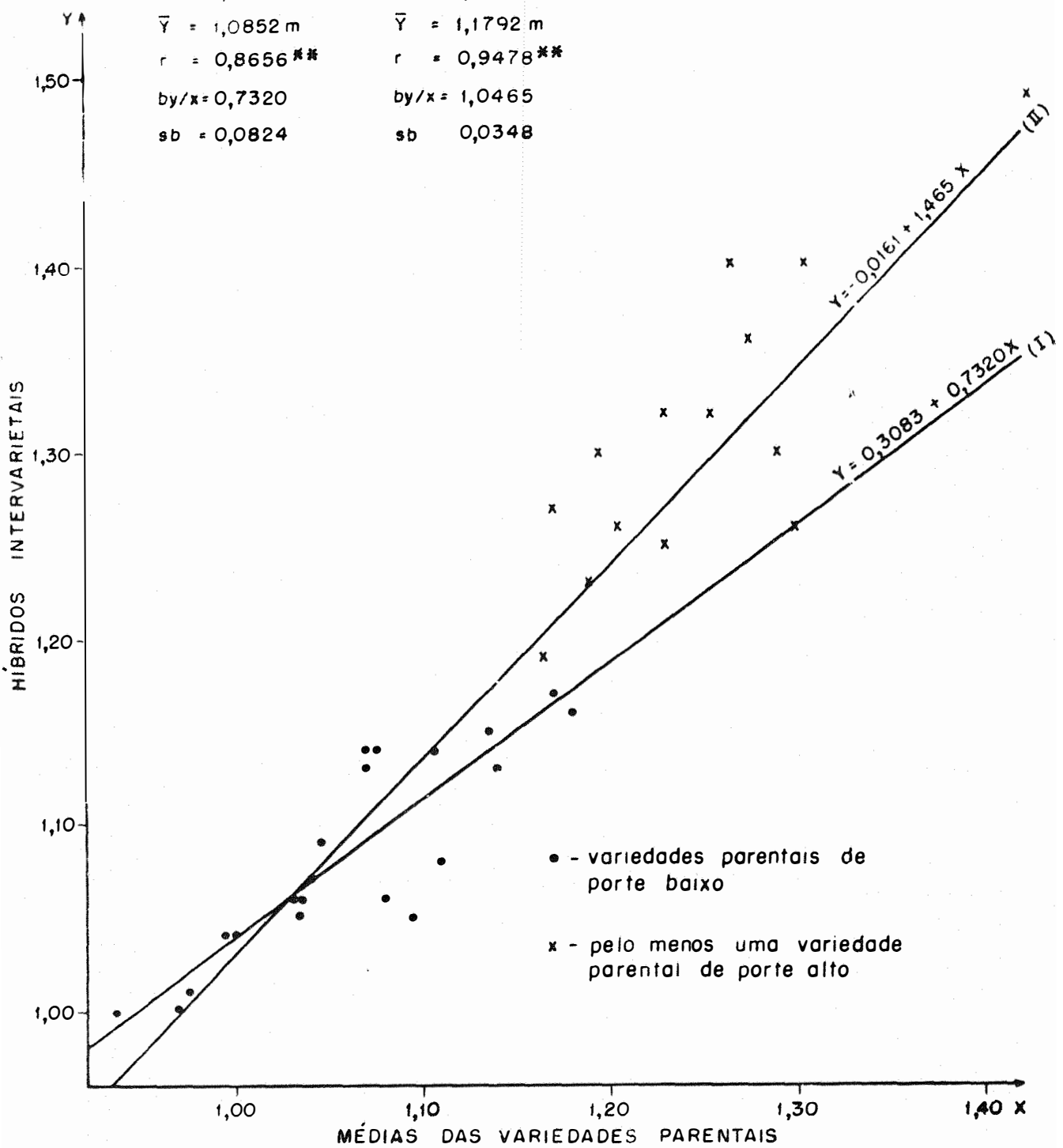


FIGURA 3 - Correlação entre médias de altura de espiga (m) de híbridos intervarietais e das respectivas variedades parentais.

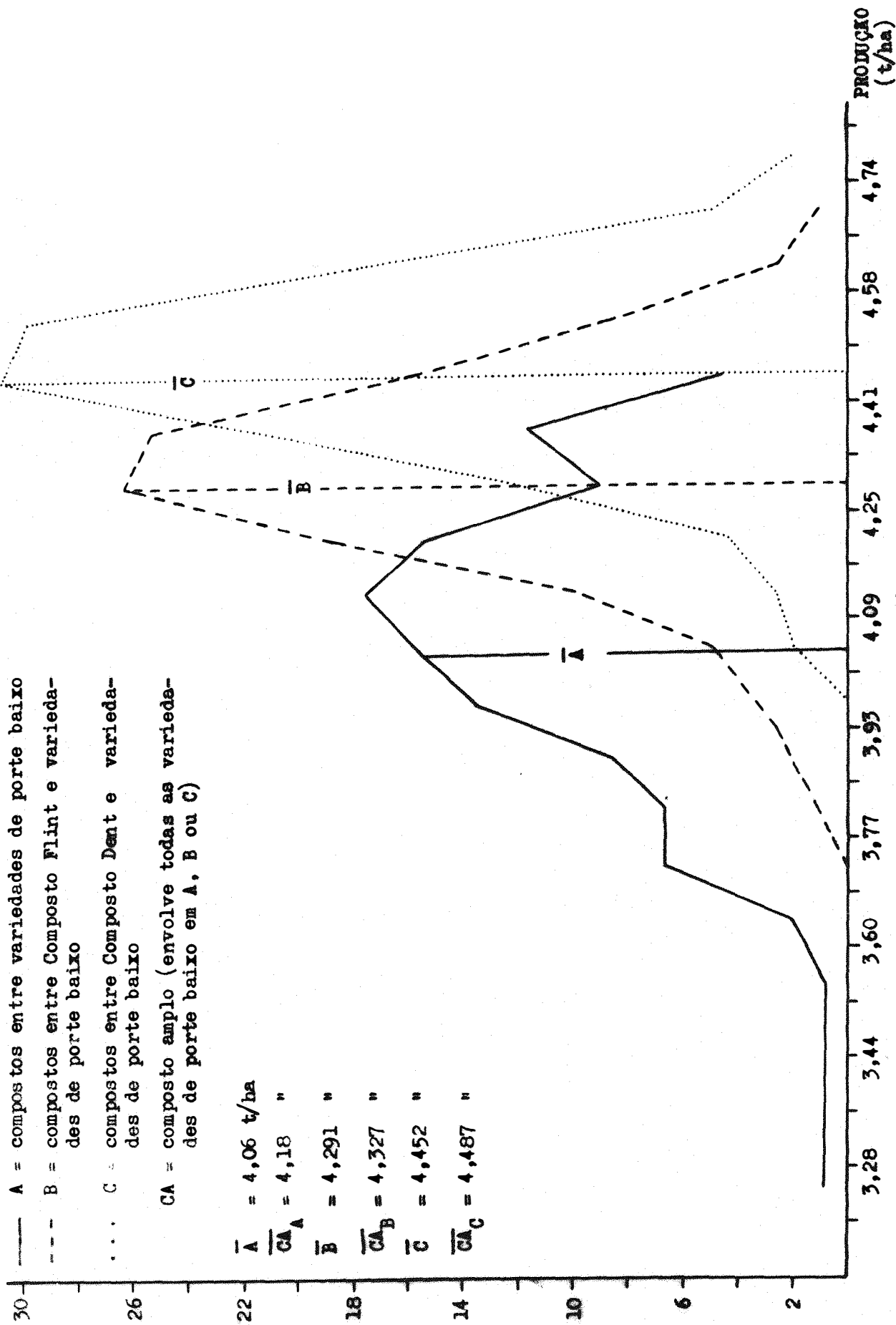


FIGURA 4 - Distribuição das médias preditas de produção (t/ha) para os compositos A, B e C

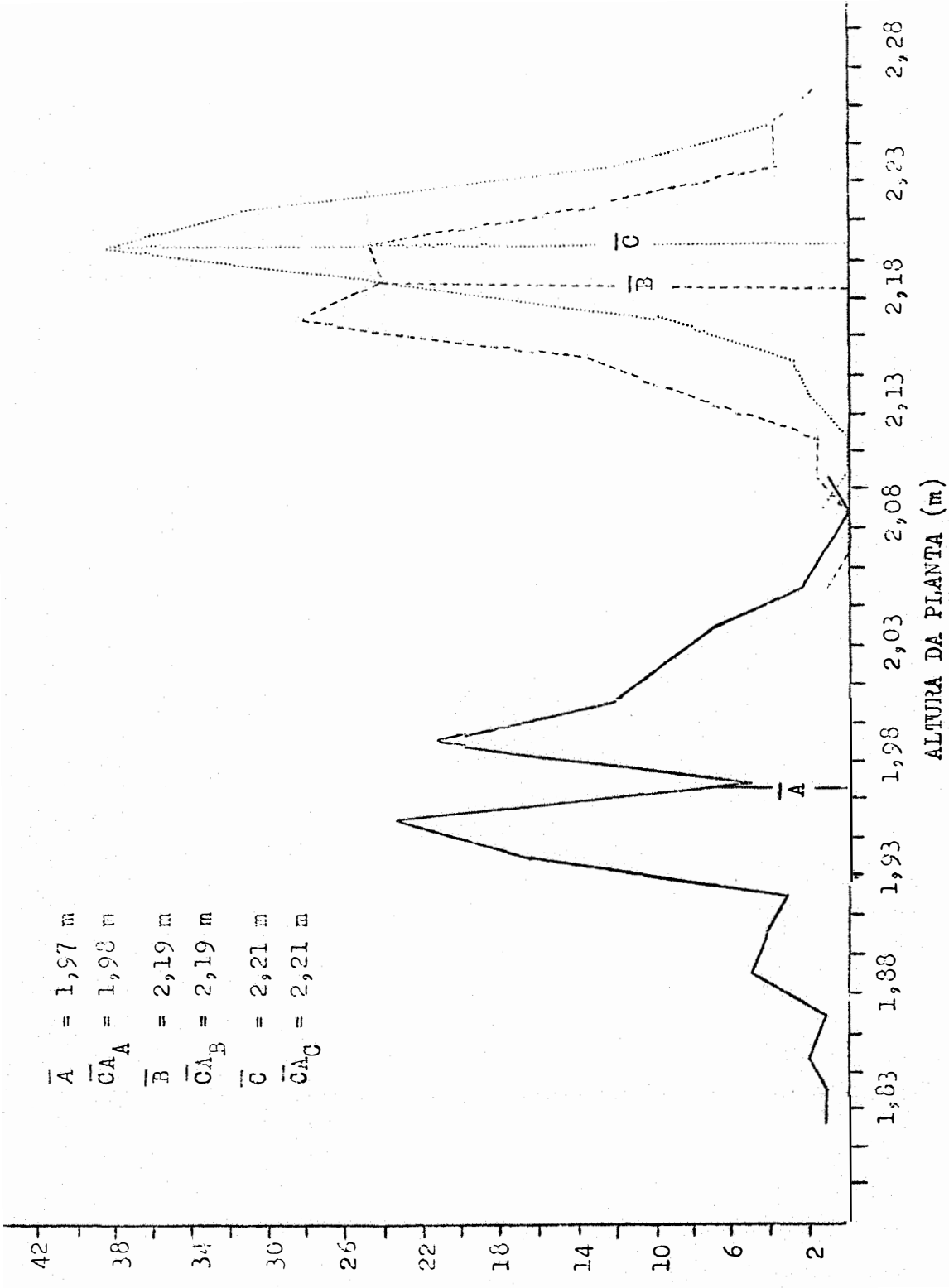


FIGURA 5 - Distribuição das médias previstas de altura da planta (m) para os compostos A, B e C (ver fig. 4).

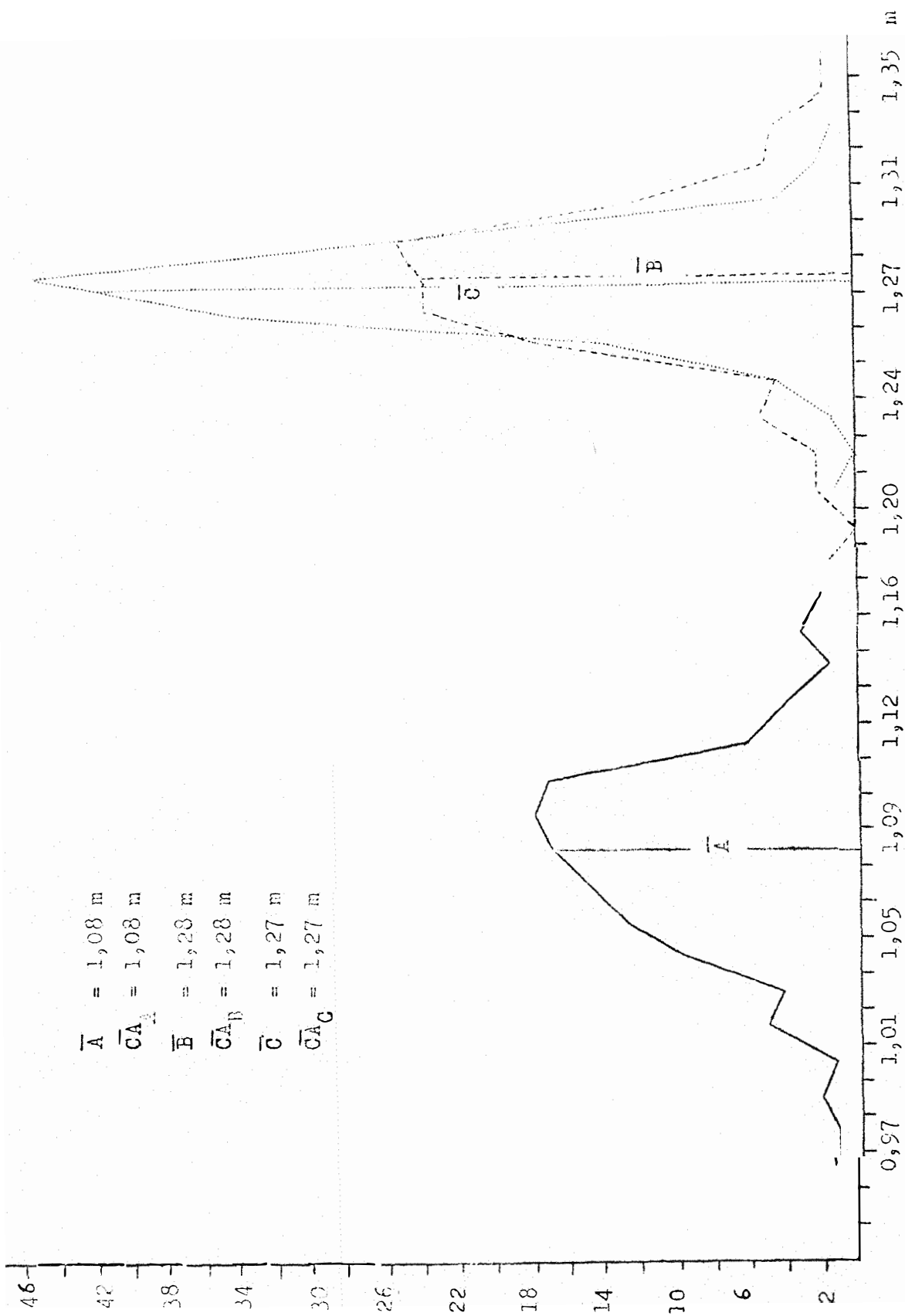


FIGURA 6 - Distribuição das médias previstas de altura da espiga (m) para os compostos A, B e C (ver fig. 4)

$r = 0,4837$

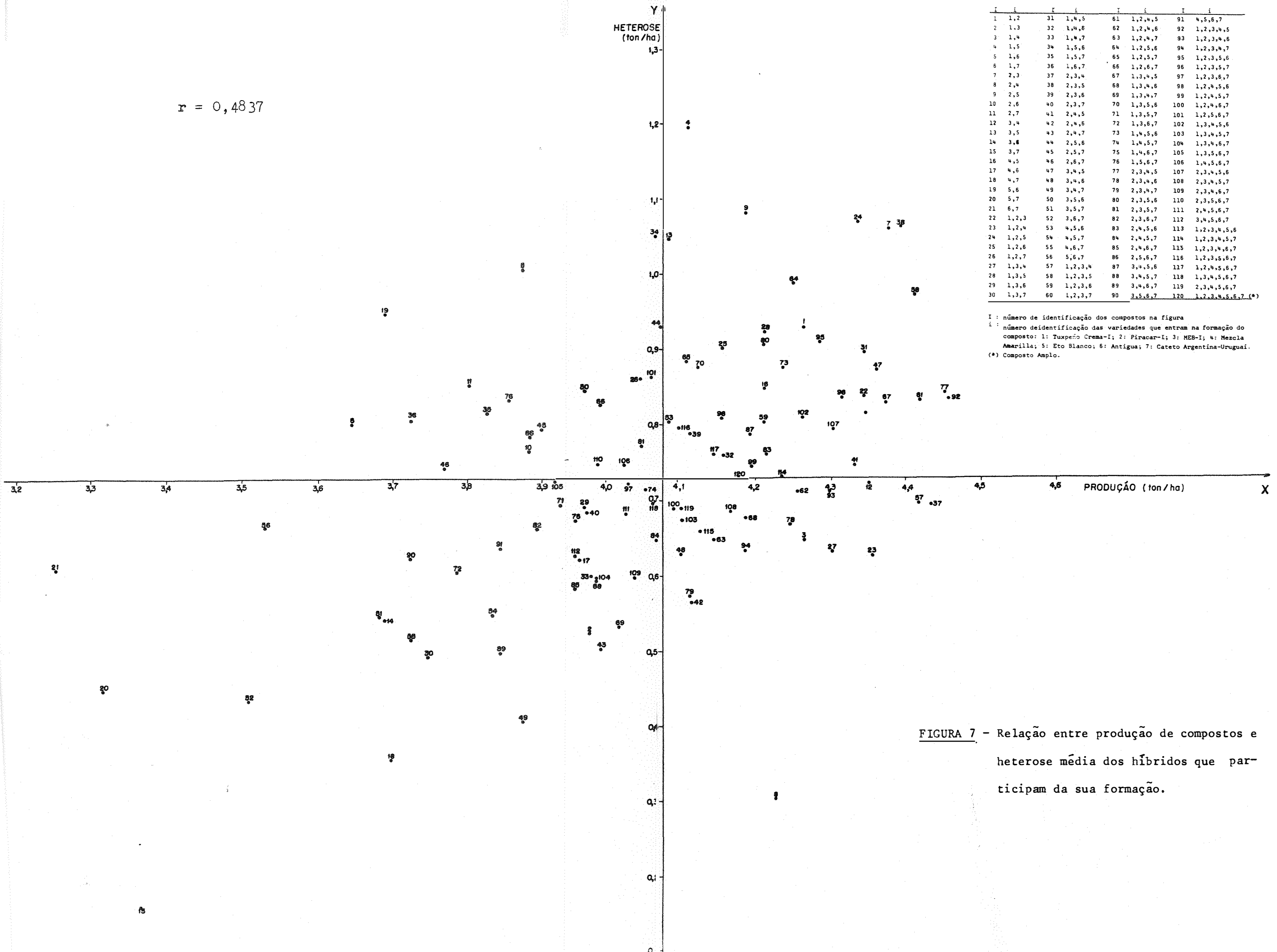


FIGURA 7 - Relação entre produção de compostos e heterose média dos híbridos que participam da sua formação.