ANÁLISE DE CRUZAMENTOS DIALÉLICOS E PREDIÇÃO DE COMPOSTOS DE MILHO (*Zea mays* L.) BRAQUÍTICO

CLÁUDIO LOPES DE SOUZA JUNIOR

Orientador: Prof. Dr. JOÃO RUBENS ZINSKY

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Abril, 1981

À Vanda Lucia,

Aos meus pais e irmãos,

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. JOÃO RUBENS ZINSLY pela iniciação no melhoramento de plantas e orientação.

Ao professor Dr. JOSÉ BRANCO DE MIRANDA FILHO pela leitura do manuscrito, sugestões, críticas e ensinamentos.

Ao professor Dr. ERNESTO PATERNIANI pelas sugestões e ensinamentos.

Ao professor ISAÍAS OLÍVIO GERALDI pela leitura do manuscrito e críticas.

Aos funcionários do DEPARTAMENTO E INSTITUTO DE GENÉTICA que colaboraram na execução dos trabalhos de campo.

Ao professor Dr. EVÔNEO BERTI FILHO pela confecção do Summary.

ÍNDICE

	<u>página</u>
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Pesquisas realizadas com milhos braquíticos ($br_2 br_2$)	4
2.2. Heterose em cruzamentos intervarietais de mi- lho	11
2.3. Pesquisas realizadas com cruzamentos dialéli- cos	17
2.4. Previsão de compostos em milho	22
3. MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1. Material	29
3.2. Métodos	32
3.2.1. Execução experimental e análise da va- riância	32
3.2.2. Análise das tabelas dialélicas e esti- mação de parâmetros genéticos de mē- dias	35
3.2.3. Correlação entre híbridos e as respec- tivas variedades parentais	39
3.2.4. Predição de médias de compostos e dos cruzamentos entre compostos	41
4. RESULTADOS	43
4.1. Resultados gerais	43

4.2. Resultados de heterose	45
4.3. Resultados da análise dos cruzamentos dialéli- cos e das estimativas dos componentes de mē- dias	46
4.4. Resultados das correlações entre as médias dos híbridos intervarietais e as médias das respec- tivas variedades parentais	48
4.5. Resultados da predição das médias dos compos- tos e dos cruzamentos entre compostos	49
5. DISCUSSÃO	52
5.1. Avaliação do material e do seu potencial hete- rótico	52
5.2. Avaliação do material com base no modelo de GARDNER e EBERHART (1966)	59
5.3. Correlação entre as médias dos híbridos inter- varietais e as médias das respectivas varieda- des parentais	62
5.4. Predição de médias de compostos e dos cruzamen- tos entre compostos	67
6. CONCLUSÕES	71
7. LITERATURA CITADA	75
TABELAS E FIGURAS	87

LISTA DE TABELAS

página

Tabela 1. Valores e significâncias dos quadrados médios obtidos nas análises da variância para os três caracteres em estudo: PG: produção de grãos (t/ha); AP: altura da planta (m) e AE: altura da espiga (m). Blocos casualizados com seis repetições. Piracicaba-SP - 1979/80	88
Tabela 2. Médias observadas de produção de grãos (t/ha) de seis variedades e seus respectivos híbridos intervarietais em cruzamentos dialélicos. Médias de seis repetições (1979/80)	89
Tabela 3. Porcentagem (%) em relação a testemunha superior (AG-305-B) das médias observadas de produção de grãos de seis variedades e seus respectivos híbridos intervarietais em cruzamentos dialélicos. Médias de seis repetições (1979/80)	89
Tabela 4. Médias observadas de altura da planta (m) de seis variedades e seus respectivos híbridos intervarietais em cruzamentos dialélicos. Médias de seis repetições (1979/80) .	90

Tabela 5. Médias observadas de altura da espiga (m) de seis variedades e seus respectivos híbridos intervarietais em cruzamentos dialéli- cos. Médias de seis repetições (1979/80) .	90
Tabela 6. Intervalos de confiança, ao nível de 95% de probabilidade, das médias observadas das variedades e dos híbridos intervarietais, para os caracteres: PG: produção de grãos (t/ha), AP: altura da planta (m) e AE: altura da espiga (m)	91
Tabela 7. Valores e significâncias das heteroses para produção de grãos (t/ha) em relação à média dos pais (acima da diagonal) e em relação ao pai superior (abaixo da diagonal), observadas nos híbridos intervarietais	91
Tabela 8. Valores das heteroses da produção de grãos em porcentagem da média dos pais (acima da diagonal) e em porcentagem do pai superior (abaixo da diagonal), observadas nos híbridos intervarietais	92

Tabela 9. Valores e significâncias das heteroses da altura da planta (m) em relação à média dos pais (acima da diagonal) e em relação ao pai superior (abaixo da diagonal), observadas nos híbridos intervarietais	92
Tabela 10. Valores das heteroses da altura da planta (m) em porcentagem da média dos pais (acima da diagonal) e em porcentagem do pai superior (abaixo da diagonal), observadas nos híbridos intervarietais	93
Tabela 11. Valores e significâncias das heteroses da altura da espiga (m) em relação à média dos pais (acima da diagonal) e em relação ao pai superior (abaixo da diagonal), observados nos híbridos intervarietais	93
Tabela 12. Valores das heteroses da altura da espiga (m) em porcentagem da média dos pais (acima da diagonal) e em porcentagem do pai superior (abaixo da diagonal), observadas nos híbridos intervarietais	94

Tabela 13. Valores e significâncias dos quadrados médios obtidos nas análises da variância das tabelas dialélicas para os caracteres: PG: produção de grãos, AP: altura da planta e AE: altura da espiga, segundo a metodologia de GARDNER e EBERHART (1966).....	94
Tabela 14. Estimativas dos parâmetros $\hat{v}_j$ (efeito de variedades), $\hat{h}_j$ (heterose de variedades), $\hat{u}$ (média das variedades parentais) e $\hat{h}$ (heterose média), para os caracteres: PG: produção de grãos (t/ha), AP: altura da planta (m) e AE: altura da espiga (m).....	95
Tabela 15. Estimativas dos parâmetros $\hat{s}_{ij}$'s (heterose específica ou capacidade específica de combinação), para os caracteres: PG: produção de grãos (t/ha), AP: altura da planta (m) e AE: altura da espiga (m)	95
Tabela 16. Estimativas dos componentes da variância entre as médias das variedades parentais ($\hat{\sigma}_X^2$) e da variância entre as médias dos híbridos intervarietais ($\hat{\sigma}_Y^2$) para: PG: produção de grãos, AP: altura da planta e AE: altura da espiga	96

Tabela 17. Estimativas das variâncias dos dados médios das variedades parentais ($\hat{\sigma}_X^2$), dos dados médios obtidos dos respectivos híbridos ($\hat{\sigma}_Y^2$), das covariâncias entre estas duas variáveis ($C\hat{o}v_{XY}$) e dos coeficientes de correlação entre as médias das variedades e seus respectivos híbridos (r), para PG: produção de grãos, AP: altura da planta e AE: altura da espiga	97
Tabela 18. Amplitude de variação e desvio padrão das médias dos 57 possíveis compostos entre as seis variedades braquíticas. Produções estimadas do composto amplo, do composto mais promissor e, produções observadas das testemunhas	98
Tabela 19. Principais especificações referentes as médias preditas dos 4 compostos envolvendo as variedades dentadas braquíticas e das médias preditas dos 4 compostos envolvendo as variedades flints braquíticas	98
Tabela 20. Principais especificações referentes a predição de todos os cruzamentos possíveis entre os compostos dentados e flints preditos	99

LISTA DE FIGURAS

	página
Figura 1. Regressão linear entre as médias de produção de grãos (t/ha) dos híbridos intervarietais e das respectivas variedades parentais.	100
Figura 2. Regressão linear entre as médias de altura da planta (m) dos híbridos intervarietais e das respectivas variedades parentais	101
Figura 3. Regressão linear entre as médias de altura da espiga (m) dos híbridos intervarietais e das respectivas variedades parentais	102

CURRICULUM VITAE

CLÁUDIO LOPES DE SOUZA JUNIOR, filho de Cláudio Lopes de Souza e Helena Miller de Souza, nasceu a 26 de julho de 1952 em Santa Cruz das Palmeiras, estado de São Paulo. Em 1975 ingressou na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, graduando-se em Engenharia Agrônômica em 1978. De agosto de 1976 a fevereiro de 1979 estagiou no setor de Melhoramento de Milho do Departamento de Genética da ESALQ/USP, onde iniciou, em março de 1979, o Curso de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas. Em janeiro de 1980 foi contratado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), permanecendo comissionado junto ao Departamento de Genética da ESALQ/USP, no setor de Melhoramento de Milho, até a presente data.

RESUMO

ANÁLISE DE CRUZAMENTOS DIALÉLICOS E PREDIÇÃO DE COMPOSTOS DE MILHO (*Zea mays* L.) BRAQUÍTICO

Autor: Cláudio Lopes de Souza Júnior

Orientador: Dr. João Rubens Zinsly

Seis variedades de milho braquítico foram intercruzadas entre si em um esquema dialélico, pretendendo-se com isto conhecer o potencial genético destas variedades *per se*, seu potencial heterótico e, ainda verificar a possibilidade da síntese de compostos de milho braquítico visando utilizá-los como populações base para futuros programas de melhoramento.

As análises genético-estatísticas das tabelas dialélicas, para os três caracteres em estudo, foram feitas segundo a metodologia de GARDNER e EBERHART (1966). As predições das médias de compostos foram feitas segundo a metodologia de VENCOVSKY (1972) e, as predições das médias dos cruzamentos entre compostos segundo a metodologia apresentada por VENCOVSKY *et alii* (1970b).

As variedades diferiram geneticamente entre si como tais e, também, quanto ao seu potencial heterótico, para os três caracteres em estudo. Para os caracteres altura da

planta e da espiga encontrou-se significância da heterose específica na análise da variância das tabelas dialélicas, o que pode ser explicado pela diferença entre as variedades quanto aos genes modificadores. Assim, nos cruzamentos entre variedades muito divergentes quanto aos genes modificadores com algum grau de dominância, poderá ocorrer diferenças entre os graus de complementação nos híbridos.

As variedades *Piranão VD₁* e *Piranão VF₁* foram indicadas para serem utilizadas em programas de obtenção de híbridos, pois o híbrido intervarietal proveniente do cruzamento entre estas duas variedades foi aquele que apresentou maior capacidade de produção (6,949 t/ha). Portanto, espera-se que alguns híbridos obtidos do cruzamento entre linhagens selecionadas destas variedades superem em muito o comportamento do híbrido intervarietal.

Com as médias preditas dos 57 possíveis compostos, verificou-se que a síntese do composto amplo seria a mais indicada, visto que seria apenas 6,65% menos produtivo que o composto mais promissor. Assim, visa-se aproveitar melhor a variabilidade genética potencial, sem comprometer a produção de grãos.

Procedimento idêntico, visando o mesmo objetivo, foi tomado quanto a recomendação da síntese de um par de compostos para serem utilizados em programas de Seleção Recorrente Recíproca para posterior obtenção de híbridos de linha-

gens. Assim, verificou ser mais indicado a síntese de um composto amplo dentado e de um composto amplo flint, cujas produções previstas, como tais e do seu cruzamento, seriam apenas um pouco menos produtivas que aqueles mais promissores.

SUMMARY

ANALYSIS OF DIALLEL CROSSES AND PREDICTION OF COMPOSITES OF BRACHYTIC CORN (*Zea mays* L.)

Author: Cláudio Lopes de Souza Júnior

Adviser: Dr. João Rubens Zinsly

Six varieties of brachytic corn were intercrossed according to a diallel scheme in order to know the genetic potential of varieties per se, their heterotic potential, and to investigate the possibility of synthesis of brachytic corn composites to be used as base populations for future breeding programs. Genetical and statistical analysis of the diallel tables were performed according to the model proposed by GARDNER & EBERHART (1966). Predictions of the means of composites were done following the methodology as given by VENCOVSKY (1972); predicted means of the intercrosses were obtained following the model proposed by VENCOVSKY *et alii* (1970b).

The varieties showed different genetic and heterotic potentials for the three characters studied. For plant and ear height characters it was observed significance of the specific heterosis in the analysis of variance of the diallel tables; this was interpreted as being due to genetic divergence among the varieties, concerning the modifying

genes with some degree of dominance bringing about difference among the degrees of complementation amongst the modifying genes of the varieties in the hybrids.

The varieties *Piranão VD₁* and *Piranão VF₁* were indicated to be used in breeding programs for the obtention of hybrids, because the intervarietal cross was the one which showed the highest yielding ability (6.949 ton/ha). Therefore one should expect that some hybrids obtained from crosses among selected inbred lines of these varieties would greatly surpass the intervarietal hybrid behaviour.

The predicted means of the possible 57 composites showed that the synthesis of the broad base composite involving all six varieties, would be the most indicated in as much as it would be 6.65% less productive than the more promising composite. Thus one aims to take better advantage of the genetic variability potential, without compromising grain yielding. Identical procedure, with the same purpose, was undertaken as to the recommendation of the synthesis of a pair of composites to be used on Reciprocal Recurrent Selection programs for the subsequent obtention of hybrids of inbred lines. Then it was seen to be more convenient the synthesis of a broad dent composite and a broad flint composite, so that the expected yield of the composite cross would only be a little less productive than the higher yielding composite cross.

1. INTRODUÇÃO

No melhoramento de populações de milho, atualmente, dá-se ênfase a outros caracteres além da produtividade, como a altura da planta e da espiga. Estes caracteres (altura da planta e da espiga) têm despertado o interesse dos melhoristas, pois as variedades e os híbridos de milho comerciais disponíveis são de porte elevado e, o acamamento destes materiais é algo elevado. Consequentemente, tornou-se imprescindível para os melhoristas, visar, também, a arquitetura da planta além da produtividade, pois cultivares de porte reduzido apresentam maior resistência ao acamamento e, assim, diminuem as perdas no campo e facilitam a colheita.

Para a redução da altura da planta e da espiga em milho, tem sido utilizado dois procedimentos: utilização da variabilidade genética existente nas populações ou, utilização de genes principais (qualitativos) dos quais, o mais viável parece ser o gene *braquítico* (br_2), que em dose dupla

e recessiva causa encurtamento dos internódios do colmo reduzindo o porte da planta (BANDEL, 1978).

Para se obter resultados satisfatórios com a seleção, as propriedades genéticas das populações a serem utilizadas são de importância fundamental, pois, é óbvio, que populações de ampla base genética, irão responder mais efetivamente à seleção. Com base neste argumento, é que melhoristas como PATERNIANI (1976a), LONNQUIST (1969), MIRANDA FILHO (1974a), entre outros, recomendam a síntese de compostos obtidos pelo intercruzamento de variedades ou raças geneticamente divergentes para assegurar uma quantidade apreciável de variabilidade genética inicial. Além disso, a tais compostos devem estar associados uma boa produtividade média e boas características de interesse agrônomo.

A recomendação de quais variedades ou raças devem ser intercruzadas para formar um composto, é feita com base em predições de médias e, para isto, é necessário o conhecimento prévio do comportamento das n variedades parentais e dos $\frac{n(n-1)}{2}$ F_1 's possíveis entre elas. Sendo assim, os dados necessários para a previsão de compostos são tais que podem ser dispostos em uma tabela dialélica e analisados conforme o modelo sugerido por GARDNER e EBERHART (1966), que é específico para cruzamentos dialélicos entre variedades em equilíbrio de Hardy-Weimberg; tal metodologia permite que se conheça as propriedades genéticas intrínsecas das n variedades incluídas no estudo.

As variedades de milho braquítico (portadoras do genótipo $br_2 br_2$) existentes, atualmente, no Departamento de Genética da ESALQ/USP, são oriundas de populações normais (portadoras do genótipo $Br_2 Br_2$) nas quais foram introduzidos o gene br_2 (PATERNIANI *et alii*, 1977 e J.R. ZINSLY, 1980 - comunicação pessoal). Portanto, são populações em que já se praticou seleção para produção de grãos e, naturalmente, já se utilizou de uma certa quantidade de variação genética (para produção de grãos) existente nas populações originais. Assim, com a formação de compostos de milho braquítico poder-se-á incrementar a variabilidade genética, tornando-os mais adequados aos programas de melhoramento, que as variedades atualmente disponíveis.

O trabalho desenvolvido no presente estudo, utiliza-se das seis variedades braquíticas de milho atualmente disponíveis no Departamento de Genética da ESALQ/USP, e, do conhecimento prévio do comportamento destas variedades e dos seus quinze cruzamentos (F_1 's) possíveis, as seguintes hipóteses serão investigadas:

a. se as variedades diferem entre si como tais e quanto ao seu potencial heterótico;

b. se há possibilidade de se recomendar a síntese real de algum(s) composto(s).

2. REVISÃO DE LITERATURA

Nesta revisão serão relatados quatro tópicos considerados essenciais para a abordagem do assunto em questão. Não serão abordados de uma forma histórica mas apenas o essencial a ser utilizado nas discussões e auxiliar nas conclusões. Os tópicos são os seguintes: 1. pesquisas realizadas com milhos braquíticos (br_2br_2); 2. heterose em cruzamentos intervarietais de milho; 3. pesquisas realizadas com cruzamentos dialélicos; 4. previsão de compostos de milho.

2.1. Pesquisas realizadas com milhos braquíticos (br_2br_2)

A presença do alelo br_2 em homozigose recessiva em plantas de milho condiciona uma redução dos internódios, que se apresentam mais grossos e não apresentam redução no número e tamanho de folhas (KEMPTON, 1920). Esse mutante

é designado na literatura como braquítico-2, e o seu fenótipo seria condicionado pela presença de um tipo diferente de giberlina, menos ativa na promoção do crescimento (GALSTON e DAVIES, 1972).

Além do gene br_2 existem cerca de mais onze genes citados que causam redução no porte da planta, como por exemplo os genes br_1 , d_1 , d_2 , d_3 , d_5 , d_8 . Entre os genes principais que reduzem o porte da planta, o gene braquítico-2 (br_2) é o que tem se mostrado mais promissor, pois praticamente não afeta o tamanho da espiga. Este gene promove um encurtamento dos internódios das plantas e sua altura é, consequentemente, reduzida, sendo que o número e o tamanho das folhas não se alteram. Esse encurtamento dos internódios é devido a distúrbios no metabolismo de uma auxina responsável pelo alongamento da parede celular (BANDEL, 1978).

LAMBERT (1963) determinou a localização do gene br_2 no braço longo do cromossomo 1, onde está localizado o gene br_3 , sendo porém os dois genes separados por mais de cinquenta unidades de mapa genético.

A presença de genes modificadores afetando o porte das plantas braquíticas tem sido relatado por autores como LENG (1957), ANDERSON e CHOW (1963), SCOTT e CAMPBELL (1969) e PATERNIANI (1973), pois a redução na altura da planta pelo gene br_2 varia bastante com as diferentes constituições genotípicas onde é incorporado, indicando, também, a pre

sença de variabilidade no que diz respeito aos genes modificadores.

A presença desta variabilidade é que possibilitou a obtenção de milhos braquíticos de altura extremamente baixa, inferiores a um metro, por CASTRO (1973) e denominados de "super-anões", assim como a obtenção de milhos de altura quase igual àquela dos milhos normais por CAMPBELL (1965) e denominados de "anões modificados".

A redução da altura da planta pela incorporação do gene br_2 não provoca correspondente redução em outros caracteres da planta, mas aumenta o diâmetro do colmo (KEMPTON, 1920; LENG, 1957; ANDERSON e CHOW, 1963 e PATERNIANI, 1973).

Nas regiões tropicais e sub-tropicais as plantas de milho são tipicamente altas e, portanto, mais sujeitas ao acamamento. As plantas com genótipo br_2br_2 (braquíticas) têm maior resistência ao acamamento como mostram os trabalhos de LENG (1957), CAMPBELL (1965), PATERNIANI (1973), GALVÃO (1974) e KHEHRA *et alii* (1975). CAMPBELL (1965), TREGUBENKO e NEPOMNJASCIJ (1971) e SOLONENKO e CHALYR (1972) verificaram maior resistência à seca nos milhos braquíticos, quando comparados com as correspondentes versões normais.

A utilização de milhos de porte baixo no Brasil tem sido combatida e desaconselhada por certas correntes, que apontam para tal, duas razões: 1. O milho brasileiro pre-

cisa ter porte alto para competir com as ervas m^ãs; 2. o insucesso do milho an^ão nos EUA. No entanto, PATERNIANI (1975) n^ão aceita estas cr^íticas ao milho braqu^ítico com os seguintes argumentos: 1. as ervas daninhas, na realidade, n^ão constituem um problema s^ério para o milho braqu^ítico, pois este apresenta folhas largas o que lhe confere poder de competi^ço em plantios mais densos; 2. o insucesso do milho an^ão nos EUA n^ão significa que n^ão se deve plant^á-lo e estud^á-lo no Brasil. O fato do milho norte-americano ser de porte baixo talvez seja o principal respons^ável pelo insucesso do gene bt_2 naquele pa^ís (BANDEL, 1978).

O insucesso dos milhos braqu^íticos nos EUA, segundo CAMPBELL (1965), foi devido ^{às} seguintes causas: 1. os trabalhos foram conduzidos em regi^ões onde a altura da planta e da espiga n^ão constituem problemas s^érios; 2. os programas foram reduzidos e limitados ^a convers^ão de poucas linhagens, n^ão tendo sido procurados novos gen^ótipos adaptados ^à condi^ço an^ã; 3. a pressa pelos resultados levou os melhoristas a utilizarem linhagens com somente dois ou tr^ês retrocruzamentos, quando o h^íbrido recuperado n^ão apresenta o mesmo comportamento do h^íbrido original; 4. os ensaios foram conduzidos com espa^çamento e pr^áticas culturais que a experi^ência tem indicado ser ^ótima para os milhos normais. Os h^íbridos an^ões podem necessitar de diferentes manejos para maximizar seu comportamento; 5. apesar do conhecimento da import^ância dos genes modificadores, os programas levados a efeito n^ão utiliza-

ram esse potencial genético; 6. publicações sobre a alta resistência dos híbridos anões ao acamamento, fizeram com que altas doses de fertilizantes e altas densidades de plantio fossem utilizadas, com a finalidade de quebrar recordes de produtividade, causando resultados desastrosos.

BULOW (1971) comparou três populações análogas com diferentes dosagens do gene *braquítico-2* (Br_2Br_2 , normal; Br_2br_2 , intermediária e br_2br_2 , braquítica) e verificou que com adubação completa, a população braquítica foi inferior às outras duas em produção de grãos, e que, sem adubação completa, a mesma não diferiu significativamente da população intermediária e essa da normal. Pelo fato de esta ser uma das primeiras pesquisas no Brasil com plantas braquíticas, aliado aos dados encontrados por LENG (1957) nos EUA que encontrou produções de 8 a 20% mais baixas para os híbridos braquíticos em relação aos seus correspondentes normais, contribuiu para diminuir ainda mais o interesse em relação a obtenção de variedades ou híbridos desse tipo.

A variedade *Piranão* portadora do genótipo br_2br_2 obtida no Instituto de Genética da ESALQ-USP, em Piracicaba, não confirmou os resultados obtidos por BULOW (1971) e LENG (1957). Esta variedade tem apresentado produções em torno de 6 a 7 toneladas por hectare no Estado de São Paulo, que corresponde às produções de alguns híbridos comerciais. As plantas da variedade *Piranão* apresentam uma altura de cerca de 2 metros, sendo que a espiga se situa no colmo a uma altu

ra de 1 metro (PATERNIANI e RISSI, 1976).

LEITE (1973) constatou num ensaio conduzido em Piracicaba, que o cultivar braquítico produziu o correspondente a 90,1% em relação a um híbrido duplo comercial e não diferiu estatisticamente da variedade *Centralmex*. O aumento da população de plantas, por unidade de área, contribuiu para aumentar a produção do cultivar *Piranão*, cuja população ideal se situou acima dos limites superiores determinados para os cultivares normais. Os resultados desta pesquisa confirmam os resultados preliminares citados por PATERNIANI e RISSI (1976).

Outros resultados vieram a confirmar os resultados dos autores anteriormente mencionados, como aqueles obtidos por GALVÃO (1974) que conduziu ensaios em três diferentes locais com os mesmos cultivares utilizados por LEITE (1973). Verificou que o cultivar braquítico *Piranão*, em dois locais, não diferiu em produção com relação ao híbrido duplo comercial, sendo que ambos apresentaram produções superiores à variedade *Centralmex*; o cultivar *Piranão*, apresentou uma baixa porcentagem de acamamento e uma menor redução do peso médio da espiga, com a elevação da população das plantas por unidade de área.

VALVA (1976) estudou o comportamento dos cultivares braquíticos *Piranão* e *Cimmyt* e do híbrido intervarietal entre estes dois cultivares em cinco locais e dois espaçamen-

tos correspondendo a populações de 50.000 e 66.600 plantas por hectare. O autor concluiu que na média dos locais e dos espaçamentos, o híbrido intervarietal apresentou a maior produção (7,233 t/ha) e que todos os cultivares apresentaram, em média, produções mais elevadas no espaçamento mais estreito.

RISSI (1980) estudou o comportamento de duas subpopulações da variedade *Piranão*. A subpopulação *Piranão A* apresentou produção de 7,5 t/ha e a subpopulação *Piranão B*, que foi selecionada para porte mais baixo, apresentou produção de 6,7 t/ha. MIRANDA FILHO (1979) em cruzamentos interpulacionais entre as populações *Piranão VD₂* e *Piranão VF₁* obteve produções em torno de 6,0 t/ha.

Os resultados satisfatórios obtidos com populações braquíticas no Brasil se deve à introdução do gene *braquítico-2* em populações e não em linhagens como nos EUA, pois a variabilidade presente permite obter plantas com o porte desejado e, ainda, utilizar estas populações braquíticas em programas de seleção para aumento da produtividade.

Os resultados de CAMPBELL (1965), TREGUBENKO e NEPOMNJASCIJ (1971), SOLONENKO e CHALYR (1972) mostrando a maior resistência à seca dos cultivares braquíticos quando comparados às suas versões normais; resultados de LEITE (1973), GALVÃO (1974) e VALVA (1976) mostrando que a densidade populacional dos cultivares braquíticos se situa acima dos limites superiores da densidade recomendada para os cultivares nor-

mais; resultados de LENG (1957), CAMPBELL (1965), PATERNIANI (1973) entre outros, mostrando que cultivares braquíticos têm maior resistência ao acamamento, permite^m chegar às seguintes conclusões:

1. A introdução do genótipo br_2br_2 em cultivares normais deve resultar em maior eficiência da planta, pois com a redução do tamanho dos internódios as raízes adventícias têm oportunidade de se desenvolver penetrando no solo e, assim, auxiliam na nutrição mineral, na retirada de água pelas plantas, dão maior suporte às plantas e que aliado ao maior diâmetro do colmo, explicam a resistência ao acamamento, a seca, e a capacidade de suportar maiores densidades populacionais.

2. O genótipo br_2br_2 em populações, variedades melhoradas, híbridos intervarietais e híbridos de linhagens apresenta boa oportunidade de utilização comercial em nossas condições.

3. Há necessidade de mais estudos para se determinar a densidade populacional adequada para estes cultivares braquíticos.

2.2. Heterose em cruzamentos intervarietais de milho

Os primeiros resultados de cruzamentos interva

varietais publicados por BEAL (1880) despertou o interesse dos melhoristas, pois os híbridos intervarietais foram de 10 a 50% mais produtivos que as variedades parentais, indicando a possibilidade de incrementar a produtividade pela utilização de híbridos intervarietais.

RYCHEY (1922) apresentou dados de 244 comparações entre híbridos intervarietais e as variedades parentais, mostrando que 82,4% dos cruzamentos foram mais produtivos que as médias dos respectivos pais e 55,7% excederam o pai mais produtivo.

GRIFFE (1922) apresentou dados obtidos por diversos autores no período de 1892 a 1919, verificando uma amplitude de variação nas heteroses para produção de -1,9% a 81,0% em relação à média dos pais, e de -3,0% a 43,7% em relação ao pai mais produtivo, sendo que dos 157 híbridos intervarietais, 123 foram superiores à média dos pais e 84 foram superiores ao respectivo pai mais produtivo. Este autor apresenta também resultados obtidos por ele, onde em ensaios com 12 populações e 6 híbridos intervarietais, ocorreu uma variação de 2,9% a 11,7% na heterose para produção de grãos.

Valores altos de heterose para produção de grãos foram encontrados por diversos autores. Assim, TROYER e HALLAUER (1968) em cruzamentos entre dez variedades de endosperma duro, encontraram uma heterose média de 72% em relação à média dos pais. KRUG *et alii* (1943), encontraram valo-

res de heterose de 47% em cruzamentos entre variedades brasileiras e mexicanas e de 38% em cruzamentos entre variedades brasileiras e americanas. PATERNIANI (1967b) obteve uma heterose média de 40% em cruzamentos intervarietais.

Os cruzamentos envolvendo tipos geneticamente divergentes apresentam, normalmente, altos valores de heterose para produção. Assim, PATERNIANI e LONNQUIST (1963) encontraram uma heterose média de 33% em cruzamentos envolvendo 12 raças das Américas Central e do Sul. WELLHAUSEN (1965) encontrou uma heterose média de 64% em cruzamentos entre raças mexicanas. PATERNIANI (1968) encontrou valores médios de heterose da ordem de 68% e 33% em dois experimentos envolvendo cruzamentos entre diversas raças e variedades. CASTRO *et alii* (1968) encontraram uma heterose média de 24,8% em um estudo envolvendo cinco variedades de milho, cada uma representativa de um grupo racial diferente.

Valores intermediários de heterose para produção foram obtidos por ROBINSON *et alii* (1956) em cruzamentos envolvendo seis variedades, encontraram uma heterose média de 20%, ROBINSON *et alii* (1958) em um único cruzamento intervarietal encontraram uma heterose de 26%. MIRANDA FILHO (1974a) em cruzamentos entre nove populações encontrou uma heterose média de 15,2%. BARRIGA e VENCovsky (1973) em cruzamentos interpopulacionais encontraram uma heterose média de 14,0%. EBERHART (1971) em um estudo envolvendo variedades regionais e semi-exóticas encontrou heterose da ordem de 14%.

HALLAUER (1972) em uma terceira fase de avaliação de variedades sintéticas detectou heterose da ordem de 14%. SHEHATA e DHAWAN (1975) em três conjuntos de cruzamentos dialélicos encontraram heteroses de 24, 19 e 14% em relação à média dos pais para os três dialélicos, respectivamente.

Baixos valores de heterose para produção também são encontrados na literatura. Por exemplo, LONNQUIST e GARDNER (1961) encontraram heterose de 8,5% em relação à média dos pais e 2,8% em relação ao pai mais produtivo. COMPTON *et alii* (1965) encontraram 10% de heterose no cruzamento entre duas variedades. HALLAUER e EBERHART (1966) e HALLAUER e SEARS (1968) numa primeira e segunda fases de avaliação de variedades sintéticas em cruzamentos dialélicos, encontraram valores de 11,0% e 9,8% de heterose média, respectivamente. GARDNER e PATERNIANI (1967) encontraram uma heterose média de 7,6% em cruzamentos dialélicos entre seis variedades. PATERNIANI (1970) detectou uma heterose média de apenas 2,5% em cruzamentos entre populações de grãos duros e grãos dentados.

Os dados relatados na literatura sobre heterose para produção de grãos, são bastante amplos, com uma amplitude de variação de -1,90% a 81,0% (GRIFFE, 1922). Observa-se, porém, que os valores mais altos de heterose estão relacionados nos trabalhos que envolveram cruzamentos interraciais e, valores médios a baixos de heterose estão relacionados nos trabalhos em que envolveram cruzamentos intervarietais.

Para relacionar diversidade genética e heterose, MOLL *et alii* (1962) coletaram variedades de três regiões geográficas diferentes e estudando o comportamento dos cruzamentos entre estas variedades, encontraram uma heterose média de 4,0% para produção de grãos entre cruzamentos de variedades dentro de regiões e, entre regiões a heterose média foi de 24,0%. MOLL *et alii* (1965) coletaram duas variedades de quatro diferentes regiões, estudaram o comportamento das oito variedades, os 28 híbridos entre elas e as 28 populações F_2 correspondentes. Os cruzamentos foram classificados em oito níveis de divergência genética dos pais, sendo que o nível I correspondeu aos cruzamentos de menor diversidade genética e o nível VIII a de extrema diversidade genética. Foi constatado que a heterose, para produção de grãos, aumentou até o nível V e decresceu até o nível VIII.

O relato destes autores evidenciam a existência de uma associação entre heterose e diversidade genética dos progenitores e, deve existir um nível ótimo de diversidade genética para a maximização da heterose, pois esta diminui em cruzamentos muito divergentes. Apesar disso, CRESS (1966) concluiu que a presença de heterose indica que existe divergência genética entre os progenitores, mas a ausência de heterose não implica, necessariamente, na falta de divergência genética, pois pode ocorrer dominância gênica não unidirecional.

Outros caracteres, além da produção, foram relativamente pouco estudados com relação à heterose em milho.

Caracteres como altura da planta e da espiga, florescimento e número de espigas, a heterose é geralmente insignificante, e sempre bem inferior àquela observada para a produção de grãos (COMPTON *et alii*, 1965 e TAVARES, 1972).

Para altura da planta, CASTRO *et alii* (1968) encontraram uma heterose média de 5% em relação a média dos pais. PATERNIANI (1970) encontrou valores de heteroses médias de 1,1% e 2,5% para a altura da planta e altura da espiga, respectivamente. BARRIGA e VENCOSKY (1973) detectaram uma heterose média de 2,0% para a altura da planta. MIRANDA FILHO (1974a) detectou uma heterose média de 2,5% para altura da planta e 2,2% para altura da espiga.

Os dados relatados até aqui se referem a populações de porte normal; dados de populações braquíticas são escassos na literatura. Assim, VALVA (1976) utilizou duas variedades de milho braquíticos e seu híbrido intervarietal (*Piranão*, *Cimmyt* e *Piranão* x *Cimmyt*) que tiveram seu comportamento avaliado em dois espaçamentos diferentes e em 5 localidades. A heterose para produção de grãos, na média dos espaçamentos e dos locais, foi de 14,7% em relação a média dos pais e 8,0% em relação ao pai mais produtivo; para altura da planta, a heterose, em relação a média dos pais, foi de 5,7% e para altura da espiga de 8,5%. PATERNIANI (1978) encontrou uma heterose de 11,0% para produção de grãos, na média de três ambientes, no cruzamento entre os cultivares *Piranão* A-74 e *Cimmyt* br₂.

2.3. Pesquisas realizadas com cruzamentos dialélicos

Cruzamentos dialélicos correspondem a todos os cruzamentos possíveis entre um grupo de n linhagens, variedades ou populações. A análise dos dados se baseia em tabelas dialélicas que, nos dialélicos completos, contém dados relativos aos n tipos parentais e aos $\frac{n(n-1)}{2}$ híbridos entre eles, além dos respectivos híbridos recíprocos. Trabalhos como os de VENCOVSKY (1970a) e MIRANDA FILHO (1974a), apresentam ampla revisão sobre o assunto.

Os conceitos, definidos por SPRAGUE e TATUM (1942), de capacidade geral e específica de combinação deram margem ao desenvolvimento dos cruzamentos dialélicos. YATES (1947) apresentou a análise da variância de dados obtidos de todos os cruzamentos possíveis entre um conjunto de linhagens homozigóticas.

Atualmente são utilizados três processos básicos, desenvolvidos por diferentes autores e que constituem a base dos estudos em qualquer tipo de cruzamentos dialélicos. Estes autores são HAYMAN (1954a e b), GRIFFING (1956a e b), e GARDNER e EBERHART (1966).

A utilização da metodologia apresentada por HAYMAN (1954a e b) é possível apenas com linhagens puras sendo, por isso, utilizada largamente em plantas autógamas. GRIF

FING (1956a e b) apresentou uma metodologia em que considera quatro tipos de tabelas dialélicas, uma completa (incluindo os tipos parentais, seus híbridos e recíprocos) e, outras três incompletas em relação a primeira; forneceu a metodologia para a análise da variância e para a estimação dos parâmetros da capacidade geral e específica de combinação, segundo dois modelos (fixo e aleatório).

GARDNER (1965) e GARDNER e EBERHART (1966) apresentaram uma metodologia de análise de cruzamentos dialélicos de variedades ou raças panmíticas. O modelo dos autores baseia-se nos componentes aditivos (a_j) e de dominância (d_j) do efeito de variedades (v_j) e no componente heterótico (h_{jj}) que aparece nos cruzamentos. A média de uma variedade é representada por: $Y_j = u + v_j$, e a média de um híbrido entre variedades por: $Y_{jj} = u + \frac{1}{2} (v_j + v_{j'}) + h_{jj}$. O componente h_{jj} é decomposto em: heterose média ($\bar{h}$), heterose de variedades (h_j) e heterose específica (s_{jj}), como componentes de médias. De acordo com o modelo apresentado pelos autores a análise da variância tem as seguintes fontes de variação: efeitos de variedades, de heterose média, de heterose de variedades e de heterose específica, que são testados com o resíduo do experimento ao nível de médias.

GARDNER (1967) fornece expressões para estimar os parâmetros genéticos e para obter as somas de quadrados da análise da variância segundo o modelo apresentado anteriormente por este autor. VENCovsky (1969a) fornece as variâncias

das estimativas dos parâmetros genéticos do modelo dos autores anteriormente citados bem como a interpretação da análise da variância de acordo com as diferentes significâncias do modelo na análise da variância.

Uma série de trabalhos realizados com produção de grãos em milho serão relatados a seguir e evidenciam a utilidade da metodologia de GARDNER e EBERHART (1966) para fornecer informações sobre o potencial genético das variedades como tais e em cruzamentos.

GARDNER e EBERHART (1966), através de cruzamentos dialélicos entre seis variedades de milho, 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 e que a melhor escolha para um programa de Seleção Recorrente Recíproca recairia nas variedades com maiores efeitos de v_j , mas que a escolha recaiu nas duas variedades que apresentaram maior capacidade específica de combinação.

HALLAUER e EBERHART (1966) em cruzamentos dialélicos entre nove variedades sintéticas de milho, obtiveram diferenças significativas entre heteroses, detectadas pela significância das heteroses de variedades, além da significância dos efeitos de variedades e da heterose média; sendo que a heterose média contribuiu com 73% da soma de quadrados to-

tal, enquanto que a contribuição da heterose de variedades foi de apenas 11%.

VENCOVSKY (1970a) analisando cruzamentos inter raciais de milho realizados por PATERNIANI (1961), mostrou 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) analisando cruzamentos dialélicos entre cinco populações de milho, obtiveram significância dos efeitos de variedades (v_j), heterose média ($\bar{h}$) e heterose de variedades (h_j) não obtendo significância para heterose específica (s_{jj}).

MIRANDA FILHO (1974a), analisando cruzamentos dialélicos entre sete populações de milho de porte baixo, obteve para o caráter produção de espigas, significância dos efeitos de variedades (v_j), e da heterose média ($\bar{h}$), não obtendo significância para os efeitos de heterose de variedades (h_j) e de heterose específica (s_{jj}); incluindo duas populações de porte alto no conjunto de sete populações de porte baixo, obteve resultados semelhantes com significância adicional para a heterose de variedades.

Significância para todos os efeitos do modelo completo de GARDNER e EBERHART (1966) foram obtidos por HALLAUER E SEARS (1968) em uma segunda fase de avaliação de variedades sintéticas, por TROYER e HALLAUER (1968) em uma avalia-

ção de dez variedades precoces e de endosperma duro e por HAL LAUER (1972) em uma terceira fase de avaliação de variedades sintéticas.

Os dados relatados até aqui se referem a produção de grãos, dados de outros caracteres são bastante escassos na literatura. Assim, BARRIGA e VENCOVSKY (1973) detectaram significância dos efeitos de variedades (v_j), e heterose de variedades (h_j) para altura da planta e, somente significância para efeitos de variedades (v_j) para altura da espiga. MIRANDA FILHO (1974a) detectou significância dos efeitos de variedades (v_j) e de heterose ($\bar{h}$) para altura de planta e da espiga em cruzamentos dialélicos entre sete populações de milho de porte baixo, incluindo duas populações de porte alto nas sete populações de porte baixo obteve resultados semelhantes com significância adicional para a heterose de variedades.

Fica evidenciado, com os dados relatados, a importância da metodologia apresentada por GARDNER (1965) e GARDNER e EBERHART (1966) na análise de cruzamentos dialélicos entre variedades de polinização aberta, pois com este tipo de análise pode-se conhecer o potencial genético relativo de variedades, populações e raças.

2.4. Previsão de compostos de milho

Com o trabalho de WRIGHT (1922)^{1/}, iniciou-se o estudo de previsão de médias resultantes de cruzamentos. Mostrou, o autor, que a média de um caráter quantitativo, resultante do intercruzamento de linhagens ou híbridos de linhagens homozigóticas, pode ser obtida pela seguinte expressão:

$$\bar{F}_2 = \bar{F}_1 - \left(\frac{\bar{F}_1 - \bar{P}}{N} \right)$$

onde

$\bar{F}_2$ = média da população, para o caráter em estudo resultante do intercruzamento das linhagens ou híbridos.

$\bar{F}_1$ = média de todos os híbridos possíveis, para o caráter em estudo, entre as N linhagens.

$\bar{P}$ = média das linhagens parentais.

N = número de linhagens.

NEAL (1935) estudou os dados de rendimento das gerações F_1 e F_2 de 10 híbridos simples, 4 híbridos triplos e 10 híbridos duplos de milho verificando uma boa concordância entre os resultados preditos e observados na geração F_2 , para cada tipo de cruzamento, mostrando a utilidade da expressão decorrente da sugestão de WRIGHT (1922).

^{1/} Citado por SPRAGUE (1955).

Após a sugestão dada por JONES (1918) para que a obtenção de híbridos se tornasse viável economicamente, logo se verificou a dificuldade de obter e comparar todos os híbridos duplos possíveis a partir de um conjunto fixo de linhagens, pois mesmo com um pequeno número de linhagens torna-se trabalhoso a obtenção de todos os híbridos duplos possíveis.

JENKINS (1934) sugeriu o uso de quatro métodos de predição de híbridos duplos, dos quais, três envolvem os híbridos simples entre as linhagens, e um se baseia no comportamento das quatro linhagens; consequentemente a obtenção dos melhores híbridos duplos tornou-se simplificado, pois a obtenção dos híbridos simples são em número menor. O mesmo autor encontrou correlação significativa entre as médias preditas e observadas nos quatro métodos, porém o método que utiliza-se das médias dos quatro híbridos simples não parentais, foi o que mostrou maior correlação. Pesquisadores como DOXTATOR e JOHNSON (1936), ANDERSON (1938) e HAYES *et alii* (1943) comprovaram a eficiência do método e, atualmente, ainda é utilizado em programas de milho híbrido.

Dispondo-se de um conjunto fixo de variedades, e de todos os possíveis cruzamentos entre elas pode-se dispor os dados em uma tabela dialélica; EBERHART *et alii* (1967) mostraram que a média de uma população composta de qualquer combinação de variedades pode ser predita, se os efeitos epistáticos para o caráter em estudo forem negligenciáveis, com a seguinte expressão:

$$\hat{\overline{CO}} = \overline{VC} - \left(\frac{\overline{VC} - \bar{V}}{N} \right)$$

onde $\bar{V}$ é a média das variedades que participam do composto, N é o número de variedades e $\overline{VC}$ é a média de todos os híbridos entre estas variedades. Observa-se que a expressão apresentada corresponde a sugestão de WRIGHT (1922). Os autores apresentam, também, um processo que possibilita estimar a média do cruzamento entre compostos. A expressão apresentada pelos autores tem a ressalva de que para a predição dos compostos as variedades devem participar com a mesma proporção.

CASTRO *et alii* (1968) fornecem expressões que possibilitam estimar a média de compostos em que as variedades originais não entram com a mesma proporção na síntese, mas as expressões são específicas para cada tipo de composto. VENCovsky (1969b) contornou o problema desenvolvendo uma expressão mais geral para estimar a média de um composto qualquer, ou seja, uma população (em equilíbrio de Hardy-Weimberg) formada a partir de N populações iniciais, as quais participam na síntese com uma proporção qualquer, de maneira que, dispondo-se dos dados de cruzamentos dialélicos, a média de um composto, em equilíbrio de Hardy-Weimberg, é estimado por:

$$\hat{\overline{CO}} = \sum_i w_i^2 v_i + 2 \sum_{i < j} w_i w_j c_{ij}$$

onde

W_i = proporção com que a população i participa da população final.

V_i = média da variedade i .

C_{ij} = média do cruzamento ij .

VENCOVSKY (1972) desenvolveu uma expressão simplificada para prever médias de compostos:

$$y_{co}^r = \left(\sum_{i=1}^n f_i P_i \right) \left(\sum_{j=1}^n f_j P_j \right),$$

onde

y_{co}^r : média predita do composto;

f_i ou f_j : proporção com que a variedade i ou j participa na formação do composto, tal que $\sum_i f_i = \sum_j f_j = 1,0$

P_i ou P_j : representa cada variedade parental.

No desenvolvimento do produto os termos $P_i P_i$ e $P_j P_j$ são substituídos pelas 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 intervarietais ($\bar{C}_{ij}$).

VENCOVSKY *et alii* (1973) utilizando-se dos métodos de predição de médias de EBERHART *et alii* (1967), orientaram na síntese de dois compostos de milho (atualmente denominados ESALQ-A e ESALQ-B) a partir de dados de uma tabela dialélica onde o número de populações eram dez, de tal modo que o cruzamento entre estes compostos apresentasse um bom comportamento e que tivesse um nível razoável de heterose. A média de um caráter no cruzamento entre compostos, é estimada por:

$$Y_{AXB} = \left(\frac{1}{mn} \right) \sum_{i,j} C_{ij}$$

onde

Y_{AXB} : média do cruzamento entre os compostos A e B;

m : número de variedades que participam na formação do Composto A;

n : número de variedades que participam na formação do Composto B;

C_{ij} : média observada no cruzamento entre a variedade i e a variedade j.

MIRANDA FILHO (1974a) dispondo de dados de produção de grãos, altura da planta e altura da espiga de sete populações de porte baixo e duas de porte alto, empregou a metodologia de VENCOVSKY *et alii* (1973) para predizer médias de compostos que além da capacidade produtiva, fossem também, de porte reduzido. A escolha, para síntese, do composto recaiu sobre aquele que envolveu as sete populações de porte baixo, objetivando um maior aproveitamento da variabilidade sem comprometer a produção de grãos. Este composto, atualmente, é denominado de ESALQ-PB1.

CARVALHO (1980) utilizou-se da fórmula de EBERHART *et alii* (1967) para predizer compostos para a microrregião 131 do Estado da Bahia. Com as médias preditas das dez populações mais promissoras, o autor optou pela escolha do composto amplo que seria 5% menos produtivo que o composto mais produtivo, com o mesmo objetivo de MIRANDA FILHO (1974a),

isto é, aproveitar melhor a variabilidade genética potencial, sem comprometer a produção de grãos.

MIRANDA FILHO (1974b) mostra que a predição de médias de compostos pode ser feita com base nas médias das variedades paternais e na heterose média exibida no cruzamento entre as variedades que serão intercruzadas para formar o composto. A fórmula, quando ocorre participação equitativa das variedades na formação do composto, é a seguinte:

$$y_{co}^r = \bar{v} + \left(\frac{n-1}{n}\right) \bar{h},$$

onde $\bar{v}$ é a média observada das n variedades paternais e $\bar{h}$ é a heterose média de todos os híbridos possíveis; o expoente r indica que o composto é obtido através de várias gerações de cruzamento ao acaso. Quando não ocorrer participação equitativa de todas as variedades, a fórmula é a seguinte:

$$y_{co}^r = \sum_{i=1}^K p_i \bar{v}_i + \sum_{i=1}^K p_i^2 \left(\frac{n_i-1}{n_i}\right) \bar{h}_i + 2 \sum_{ij} p_i p_j \bar{h}_{ij},$$

onde são considerados K conjuntos de variedades com características definidas, sendo que cada conjunto participa com uma proporção total p_i ($i = 1, 2, \dots, K$) na formação do composto. Assim, uma determinada variedade do conjunto i entra no composto com uma proporção p_i/n_i , onde n_i é o número de variedades do referido conjunto, $\bar{h}_{ij}$ é a heterose média dos híbridos do conjunto i com o conjunto j, $\bar{h}_i$ é a heterose média dos híbridos entre as variedades do conjunto i. Portanto, segun-

do demonstrou o autor, na síntese de um composto parte da heterose exibida a nível interpopulacional será fixada a nível intrapopulacional no composto.

Estes estudos com predição de médias são muito importantes visto as dificuldades de obtenção e avaliação experimental de todos os $2^n - (n + 1)$ compostos possíveis a partir de um conjunto fixo de n variedades, populações ou raças. Portanto, trata-se de uma metodologia de grande interesse para melhoristas para a escolha, a priori, de quais populações intercruzar para se obter um composto com produtividade e características agronômicas desejáveis e, potencialmente, incrementar a variabilidade genética no composto, relativamente aos materiais utilizados na sua confecção. Este aspecto é realçado por PATERNIANI (1967a): "A finalidade dos compostos é promover uma ampla recombinação gênica. Dessa maneira pode-se explorar melhor a variabilidade genética existente, do que seria possível trabalhando com as raças individuais".

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

Foram utilizadas as seguintes populações de milho de polinização livre, as quais serão, para os fins do presente estudo, denominadas de variedades. Os números de ordem são os utilizados no decorrer da apresentação do trabalho.

Variedades	Identificação
V_1	Piranã VD_1
V_2	Cimmyt - br_2
V_3	Piranã VD_2
V_4	Piranã VF_1
V_5	Composto H.S. Flint br_2
V_6	Composto H.S. Dent br_2

V₁. *Piranhão VD₁* - (originalmente denominado simplesmente de *Piranhão*). Obtido a partir do cruzamento efetuado em 1965 do *Piramex III* com *Tuxpeño* braquítico (*br₂br₂*), obtido do CIMMYT. As plantas são de porte baixo, colmo grosso e muito resistente ao acamamento. As espigas são grossas, cilíndricas, com 14 a 16 fileiras de grãos os quais são dentados e amarelos. PATERNIANI *et alii* (1977).

V₂. *Cimmyt - br₂* - Obtido a partir de uma amostra de milho de grãos duros de cor laranja, homozigótica para o gene *br₂*, recebido do CIMMYT em 1972. As plantas são mais baixas e tem menor produtividade que o *Piranhão VD₁*. PATERNIANI *et alii* (1977).

V₃. *Piranhão VD₂* - Representa a versão braquítica do ESALQ-VD₂ (originalmente denominado de *Composto Dentado*). Esta população foi obtida a partir da combinação, em 1965, de populações introduzidas do CIMMYT representando germoplasmas de grãos dentados brancos e amarelos, predominando a raça *Tuxpeño*. Apresenta espigas saudias, grãos dentados e amarelos. Devido a sua base genética mais

ampla que o *Piranão VD₁*, apresenta elevado potencial. PATERNIANI *et alii* (1977).

V₄. *Piranão VF₁* - Representa a versão braquítica do ESALQ-VF₁ (originalmente denominado de *Composto Flint*). Esta população foi obtida a partir da combinação, em 1965, de populações introduzidas do CIMMYT representando germoplasmas de grãos duros brancos e alaranjados representativos de raças de Cuba, Colombia e América Central e amostras de milho cateto. As espigas são sadias com grãos duros e de cor laranja. PATERNIANI *et alii* (1977).

V₅. *Composto H.S. Dent br₂* - Composto formado a partir do intercruzamento de Híbridos Simples Dentados. Após a sua homogeneização, foi introduzido o gene *br₂* por retrocruzamento, utilizando-se como doador do referido gene a população *Piranão VD₁*. As plantas são de porte baixo, com espigas cilíndricas e grãos dentados de cor amarela. J. R. ZINSLY (1980 - Comunicação Pessoal).

V₆. *Composto H.S. Flint br₂* - Composto formado a partir do intercruzamento de Híbridos Simples Duros. Após a sua homogeneização foi introduzido o gene *br₂* por retrocruzamento, utilizando-se como doador do referido gene a população *Piranão VD₁*.

do-se como doador do referido gene a população *Cimmyt br₂*. As plantas são de porte baixo, com espigas cilíndricas e grãos duros de cor amarela. J.R. ZINSLY (1980-Comunicação Pessoal).

Além destas populações acima descritas, foram utilizados, como testemunhas, dois híbridos braquíticos comerciais da firma Sementes Agrocere S/A, e que são os seguintes:

AG - 7811 *br₂* - Híbrido triplo de grãos semidentados amarelos.

AG - 305 - *Bbr₂* - Híbrido simples de grãos semidentados amarelos.

3.2. Métodos

3.2.1. Execução experimental e análise da variância

Em março de 1979 as seis variedades foram plantadas, em todas as combinações possíveis, em linhas pareadas com cerca de 30 m de comprimento cada e com um "stand" médio de 150 plantas por linha; quando do florescimento foram fei-

tos os cruzamentos possíveis entre as variedades. A multiplicação das próprias variedades foi feita através de cruzamentos planta a planta, na mesma ocasião, em um lote ã parte. Após a colheita, de cada espiga foram retirados números iguais de sementes de cada cruzamento e de cada variedade e as amostras foram conservadas em câmara seca.

No ano agrícola de 1979/80, foi instalado um ensaio de competição, segundo o delineamento de blocos casualizados, nas dependências do Departamento de Genética da ESALQ-USP em Piracicaba-SP, com 6 repetições. No ensaio foram incluídas as seis variedades já descritas, os quinze híbridos intervarietais entre elas e as duas testemunhas também já descritas.

Foram tomados dados de altura da planta e altura da espiga de uma amostra de dez plantas competitivas dentro de cada parcela aproximadamente vinte dias após o florescimento masculino; na colheita foram tomados dados de peso de grãos de cada parcela e respectivas amostras de grãos para determinação do teor de umidade que foi feito em um aparelho "Steinlite".

Os dados de peso de grãos foram corrigidos para um "stand" ideal de 50 plantas por parcela e, para umidade constante de 15,5%, utilizando-se da seguinte fórmula que corrresponde a uma extensão da fórmula de ZUBER (1942), pois inclui a correção simultânea para o teor de umidade:

$$P_{cc} = P_c \cdot \left[\frac{H - 0,3 F}{H - F} \right] \left[\frac{1 - U}{1 - 0,155} \right]$$

onde

P_{cc} : peso de campo corrigido para "stand" ideal de 50 plantas por parcela e 15,5% de umidade;

P_c : peso de campo observado;

H : número ideal de plantas por parcela (50);

F : número de falhas;

U : umidade de campo observada.

A análise da variância, para os três caracteres em estudo, foi feita segundo o delineamento de blocos casualizados, cujo modelo matemático é:

$$Y_{ij} = u + b_i + t_j + e_{ij}$$

onde:

Y_{ij} = observação do tratamento j , na repetição i ;

u = média geral;

b_i = efeito do bloco i ($i = 1, 2, \dots, 6$);

t_j = efeito do tratamento j ($j = 1, 2, \dots, 23$);

e_{ij} = erro experimental associado ao tratamento j na repetição i .

F.V.	G.L.	Q.M.	F
Blocos	5		
Tratamentos	(22)	Q_1	Q_1/Q_6
Variedades	5	Q_2	Q_2/Q_6
Cruzamentos Intervarietais	14	Q_3	Q_3/Q_6
Híbridos Comerciais	1	Q_4	Q_4/Q_6
Entre Grupos	2	Q_5	Q_5/Q_6
Erro Experimental	110	Q_6	

3.2.2. Análise das tabelas dialélicas e estimação de parâmetros genéticos de médias

Foram organizadas tabelas dialélicas (Tabelas 2, 4 e 5), para os três caracteres em estudo, com as médias das 6 repetições. De acordo com o modelo matemático apresentado por GARDNER e EBERHART (1966), a análise destas tabelas dialélicas permitem estimar parâmetros genéticos de médias das variedades em estudo, fornecendo o potencial genético destas, tanto *per se* como em cruzamentos com as outras variedades incluídas no estudo. Permite, ainda, um estudo detalhado da heterose exibida nos cruzamentos. A análise da variância das tabelas dialélicas, permite verificar a significância destes parâmetros genéticos.

O modelo matemático apresentado por GARDNER e EBERHART (1966) é o seguinte:

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

onde:

u = médias das variedades

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 ($h_{jj'}$) é 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.

$s_{jj'}$ = heterose específica ou capacidade específica de combinação entre as variedades j e j' .

O modelo matemático completo toma então a seguinte forma:

$$y_{jj'} = u + 1/2(v_j + v_{j'}) + \theta(\bar{h} + h_j + h_{j'} + s_{jj'})$$

A análise de variância, de acordo com o modelo matemático, tem a seguinte forma:

F.V.	G.L.	Q.M.	F
Populações §	(20)	Q ₁	Q ₁ /Q ₇
Variedades	5	Q ₂	Q ₂ /Q ₇
heterose	(15)	Q ₃	Q ₃ /Q ₇
heterose média	1	Q ₄	Q ₄ /Q ₇
heterose de variedades	5	Q ₅	Q ₅ /Q ₇
heterose específica	9	Q ₆	Q ₆ /Q ₇
Erro médio £	110	Q ₇	

§ São denominadas de populações as variedades e os híbridos intervarietais e, como variedades são incluídas apenas as populações parentais.

£ Obtido do Quadrado Médio do erro experimental da análise da variância dividido pelo número de repetições.

As somas de quadrados da análise da variância e os parâmetros genéticos de médias, foram calculados segundo as fórmulas apresentadas por VENCOSKY (1969a). As fórmulas para se estimar os parâmetros do modelo são as seguintes:

$$\hat{u} = \frac{V}{n}$$

$$\hat{v}_j = v_j - \hat{u}$$

$$\hat{h} = \frac{2 C_{..}}{n(n-1)} - \hat{u}$$

$$\hat{h}_j = \frac{C_{j.}}{(n-2)} - \frac{1}{n} \left(\frac{2 C_{..}}{n-2} - \frac{V_{.}}{2} \right) - \left(\frac{V_j}{2} \right)$$

$$\hat{s}_{jj'} = C_{jj'} + \frac{2 C_{..}}{(n-1)(n-2)} - \frac{C_{j.} + C_{j'.}}{n-2}$$

As fórmulas utilizadas para os cálculos das somas de quadrados são as seguintes:

$$\text{S.Q. populações} = \sum_{j=1}^n V_j^2 + \sum_{j < j'} C_{jj'}^2 - \frac{2T^2}{n(n+1)}$$

$$\text{S.Q. variedades} = \frac{1}{n+2} \left[\sum_{j=1}^n (2 V_j + C_{j.})^2 - \frac{4 T^2}{n} \right]$$

$$\text{S.Q. heterose} = \sum_{j=1}^n V_j^2 + \sum_{j < j'} C_{jj'}^2 + \frac{1}{n+2} \left[\frac{2 T^2}{n+1} - \sum_{j=1}^n (2 V_j + C_{j.})^2 \right]$$

$$\text{S.Q. heterose média} = \frac{1}{n} \left(\frac{2 C_{..}^2}{n-1} + V_{.}^2 - \frac{2 T^2}{n+1} \right)$$

$$\text{S.Q. heterose de variedades} = \frac{1}{(n-2)(n+2)} \sum_{j=1}^n \left[(n-2)V_j - 2 C_{j.} \right]^2 - \frac{4}{n} \left(\frac{C_{..}^2}{n-2} - \frac{T^2}{n+2} \right) - \frac{V_{.}^2}{n}$$

$$\text{S.Q. heterose específica} = \sum_{j < j'} C_{jj'}^2 - \frac{1}{n-2} \left(\sum_{j=1}^n C_{j.}^2 - \frac{2C_{..}^2}{n-1} \right)$$

onde

V_j = média observada da variedade j ;

$C_{jj'}$ = média observada do cruzamento entre a variedade j e a variedade j' ;

n = nº de variedades incluídas no estudo;

$V_{.}$ = soma das médias observadas das n variedades;

$C_{..}$ = soma das médias observadas de todos os cruzamentos;

$C_{j.}$ = soma das médias observadas dos cruzamentos em que participa a variedade j ;

$C_{j!}$ = soma das médias observadas dos cruzamentos em que participa a variedade j' ;

$$T = V_{..} + C_{..}$$

Foram, ainda, determinados os intervalos de confiança para as médias observadas dos híbridos intervarietais e das variedades, ao nível de 95% de probabilidade, com a seguinte fórmula:

$$IC : \hat{\bar{y}}_{ij} \pm t_{0,05} \sqrt{\text{Vâr } \hat{\bar{y}}_{ij}} \quad \begin{array}{l} \text{para } i = j \\ \text{para } i \neq j. \end{array}$$

3.2.3. Correlação entre híbridos e as respectivas variedades parentais

A correlação entre as médias dos híbridos e as médias das respectivas variedades parentais, foram feitas segundo a metodologia apresentada por MIRANDA FILHO (1974a) e, permite avaliar o quanto das médias dos híbridos depende das médias das variedades parentais.

O coeficiente de correlação foi calculado pela fórmula:

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

onde

$X = \hat{u} + 1/2 (\hat{v}_j + \hat{v}_{j'}) = \text{m\u00e9dia das variedades } j \text{ e } j'.$

$Y = \hat{u} + 1/2 (\hat{v}_j + \hat{v}_{j'}) + \hat{h} + \hat{h}_j + \hat{h}_{j'} + \hat{s}_{jj'} = \text{m\u00e9dia do h\u00edbrido correspondente.}$

Segundo MIRANDA FILHO (1974a), tem-se que:

$$\hat{\sigma}_X^2 = \frac{(n-1)(n-2)}{n(n-1)-2} \left(\frac{\hat{\sigma}_{\hat{v}}^2}{2} \right)$$

$$\hat{\sigma}_Y^2 = \frac{(n-1)(n-2)}{n(n-1)-2} \left[\frac{\hat{\sigma}_{\hat{v}}^2}{2} + 2 \hat{\sigma}_{\hat{h}}^2 + 2 \text{C\u00f4v}_{\hat{v}\hat{h}} \right] + \left[\frac{n(n-3)}{n(n-1)-2} \hat{\sigma}_{\hat{s}}^2 \right]$$

$$\text{C\u00f4v}_{XY} = \frac{(n-1)(n-2)}{n(n-1)-2} \left[\frac{\hat{\sigma}_{\hat{v}}^2}{2} + \text{C\u00f4v}_{\hat{v}\hat{h}} \right]$$

Desta maneira, a correla\u00e7\u00e3o entre as m\u00e9dias dos h\u00edbridos e as m\u00e9dias das respectivas variedades parentais, ser\u00e1:

$$r = (1/2 \hat{\sigma}_{\hat{v}}^2 + \text{C\u00f4v}_{\hat{v}\hat{h}}) / \sqrt{1/2 \hat{\sigma}_{\hat{v}}^2 \left[1/2 \hat{\sigma}_{\hat{v}}^2 + 2 \hat{\sigma}_{\hat{h}}^2 + 2 \text{C\u00f4v}_{\hat{v}\hat{h}} + \frac{n(n-3)}{n(n-1)-2} \hat{\sigma}_{\hat{s}}^2 \right]}$$

onde:

$\hat{\sigma}_{\hat{v}}^2$: estimativa da vari\u00e2ncia entre os efeitos fixos de variedades ($\hat{v}_j$).

$\hat{\sigma}_{\hat{h}}^2$: estimativa da vari\u00e2ncia entre os efeitos fixos de heterose de variedades ($\hat{h}_j$).

$\text{C\u00f4v}_{\hat{v}\hat{h}}$: estimativa da covari\u00e2ncia entre os efeitos $\hat{v}_j$ e $\hat{h}_j$.

$\hat{\sigma}_{\hat{s}}^2$: estimativa da vari\u00e2ncia entre os efeitos fixos de heterose espec\u00edfica ($\hat{s}_{jj'}$).

3.2.4. Predição de médias de compostos e dos cruzamentos entre compostos

Para a predição dos $2^n - (n + 1) = 57$ compostos possíveis foi utilizada a fórmula apresentada por VENCOVSKY (1972) que é a expressão mais geral para estimar a média de um composto qualquer, formada a partir de n populações iniciais as quais participam na síntese com qualquer proporção; segundo o autor, a média de um composto, em equilíbrio de Hardy-Weimberg, é estimada por:

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

onde

Y_{Co}^r : média predita do composto;

f_i ou f_j : proporção com que a variedade i ou j participa na formação do composto, tal que $\sum_i f_i = \sum_j f_j = 1,0$;

P_i ou P_j : representa cada variedade parental.

No desenvolvimento do produto, os termos $P_i P_i$ e $P_j P_j$ são substituídos pelas 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 intervarietais ($\bar{C}_{ij}$).

Para a predição dos 16 possíveis cruzamentos entre compostos dentados e compostos flints, foi utilizada a fórmula apresentada por VENCOVSKY *et alii* (1970b), que é a se

guinte:

$$y_{\text{CoXCo}} = \sum_{i,j} f_i f_j c_{ij}$$

onde:

y_{CoXCo} : média predita do cruzamento entre
dois compostos;

f_i ou f_j : proporção com que a variedade i ou
j participa na geração F_1 , entre os
dois compostos, tal que:

$$\sum f_i = \sum f_j = 1,0;$$

c_{ij} : médias observadas no cruzamento entre a
variedade i e a variedade j.

4. RESULTADOS

4.1. Resultados gerais

Os valores e significâncias dos quadrados médios obtidos nas análises da variância para os três caracteres em estudo (produção de grãos, altura da planta e altura da espiga), juntamente com os respectivos coeficientes de variação, encontram-se na Tabela 1. Os quadrados médios, ao nível de 5% de probabilidade, somente não se mostraram significativos (Teste F) para a variação entre híbridos comerciais para os três caracteres e para a variação entre cruzamentos intervarietais para a produção de grãos.

Os coeficientes de variação, encontrados, foram de 11,63%, 4,63% e 6,15% para os caracteres produção de grãos, altura da planta e altura da espiga, respectivamente e, podem ser considerados dentro dos limites aceitáveis na exper-

rimentação agronômica.

As médias, de seis repetições, de produção de grãos (t/ha) das seis variedades e seus respectivos híbridos intervarietais estão apresentados na Tabela 2, juntamente com as médias das testemunhas. Na Tabela 3, encontram-se estes mesmos dados em porcentagem da melhor testemunha (AG-305B). Para este caráter as variedades apresentaram uma amplitude de variação de 3,729 (*Cimmyt br₂*) a 6,378 t/ha (*Piranão VD₁*) e, dos híbridos intervarietais variaram de 5,788 (*Piranão VD₂* x *Composto H.S. Flint br₂*) a 6,949 t/ha (*Piranão VD₁* x *Piranão VF₁*), sendo que em porcentagem da melhor testemunha a amplitude de variação foi de 45,30% a 77,48% para as variedades e de 70,31% a 84,41% para os híbridos.

Nas Tabelas 4 e 5 estão as médias de altura da planta e altura da espiga, respectivamente, das variedades, seus híbridos e das testemunhas. Para a altura da planta, as variedades variaram de 1,57 (*Composto H.S. Flint br₂*) a 1,95 m (*Piranão VD₁*) e, os híbridos intervarietais variaram de 1,62 (*Cimmyt br₂* x *Piranão VD₂*) a 1,93 m (*Piranão VD₁* x *Piranão VD₂*). Para a altura da espiga, as variedades variaram de 0,85 (*Composto H.S. Flint br₂*) a 1,22 m (*Piranão VD₁*) e, os híbridos intervarietais variaram de 0,95 (*Piranão VF₁* x *Composto H.S. Flint br₂*) a 1,21 m (*Piranão VD₁* x *Piranão VD₂*).

Na Tabela 6 encontram-se os intervalos de confiança das médias observadas, ao nível de 95% de probabilidade.

de, para os três caracteres. Para produção de grãos o intervalo de confiança encontrado foi de $\hat{\bar{y}}_{ij} \pm 0,5819$ t/ha, para altura da planta encontrou-se $\hat{\bar{y}}_{ij} \pm 0,0657$ m e para altura da espiga $\hat{\bar{y}}_{ij} \pm 0,0524$ m.

4.2. Resultados de heterose

Os valores e significâncias das heteroses observadas nos cruzamentos, em relação à média dos pais e ao pai superior, encontram-se nas Tabelas 7, 8, 9, 10, 11 e 12 para os três caracteres em estudo (produção de grãos, altura da planta e altura da espiga).

Em relação à média dos pais, os valores de heterose para produção de grãos, variaram de 0,150 ou 2,46 % ($\hat{h}_{34}$) a 2,221 t/ha ou 49,25% ($\hat{h}_{26}$), com uma heterose média de 0,8596 t/ha ou 17,09%; para altura da planta obteve-se uma heterose média de 0,0371 m ou 2,24%, variando de -0,105 ou -6,05% ($\hat{h}_{24}$) a 0,142 m ou 8,32% ($\hat{h}_{36}$); para altura da espiga obteve-se uma heterose média de 0,030 m ou 3,14%, variando de -0,100 ou -9,44% ($\hat{h}_{24}$) a 0,088 m ou 9,80% ($\hat{h}_{56}$).

Em relação ao pai superior, os valores de heterose para produção de grãos, variaram de -0,535 ou -8,46% ($\hat{h}_{45}$) a 1,441 t/ha ou 27,25% ($\hat{h}_{26}$), com uma heterose média de 0,254 t/ha ou 4,88%; para altura da planta obteve-se uma heterose média de -0,051 m ou -2,58%, variando de -0,211 ou

-11,50% ($\hat{h}_{24}$) a 0,090 m ou 5,13% ($\hat{h}_{36}$); para a altura da espiga obteve-se uma heterose média de -0,051 m ou -4,22%, variando de -0,172 ou -15,28% ($\hat{h}_{24}$) a 0,082 m ou 8,13% ($\hat{h}_{23}$).

Para produção de grãos os valores de heterose, em relação à média dos pais, foram positivos em todos os cruzamentos; em relação ao pai superior, os valores de heterose foram positivos em 60% dos cruzamentos. Para altura da planta e altura da espiga, encontraram-se valores positivos de heterose em 80% dos cruzamentos, em relação à média dos pais; em relação ao pai superior, os valores de heterose foram positivos, para altura da planta, em 33% dos cruzamentos e, para altura da espiga, em 27% dos cruzamentos.

4.3. Resultados da análise dos cruzamentos dialélicos e das estimativas dos componentes de médias

Os valores e significâncias dos quadrados médios obtidos nas análises da variância das tabelas dialélicas para os três caracteres em estudo, segundo a metodologia de GARDNER e EBERHART (1966), encontram-se na Tabela 13.

Para o caráter produção de grãos, a análise da variância apresentou significância dos efeitos de variedades (v_j) e de heterose (h_{jj}), sendo que dos componentes da heterose mostraram-se significativos a heterose média ($\bar{h}$) e a heterose de variedades (h_j), não sendo significativo apenas a

heterose específica (s_{jj}). Para altura da planta, a análise da variância apresentou resultados semelhantes aos da produção de grãos, com significância adicional para a heterose específica (s_{jj}). Para altura da espiga, encontraram-se resultados semelhantes aos da altura da planta, com exceção da heterose de variedades (h_j), que não se mostrou significativa.

Da soma de quadrados total, para produção de grãos, 40,6% foi atribuída aos efeitos de variedades e 59,4% a heterose total, sendo que foi assim distribuída para os componentes da heterose: 31,4% a heterose média, 17,9% a heterose de variedades e 10,1% a heterose específica (capacidade específica de combinação). Para altura da planta, a soma de quadrados foi assim distribuída: 76,0% para variedades, 24,0% para heterose total, sendo 3,0% para heterose média, 7,0% para heterose de variedades e 14,0% para heterose específica. Para altura da espiga, a soma de quadrados teve um padrão de variação semelhante a altura da planta, sendo: 78,8% para variedades, 21,2% para heterose total, das quais 2,3% atribuída a heterose média, 2,9% para heterose de variedades e 16,0% para heterose específica.

Na Tabela 14 encontram-se as estimativas da média das variedades parentais ($\hat{u}$), dos efeitos de variedades ($v_{j,s}$), da heterose média ($\hat{h}$) e das heteroses de variedades ($\hat{h}_{j,s}$) e na Tabela 15 encontram-se as estimativas das heteroses específicas ($s_{jj,s}$), para os três caracteres em estudo.

As estimativas da média das variedades parentais, foi de: $\hat{u} = 5,403$ t/ha para produção de grãos, $\hat{u} = 1,729$ m para altura da planta e $\hat{u} = 1,020$ m para altura da espiga. As estimativas dos efeitos de variedades variaram de: $\hat{v}_2 = -1,674$ a $\hat{v}_1 = 0,974$ t/ha para produção de grãos; $\hat{v}_5 = -0,162$ a $\hat{v}_1 = 0,219$ m para altura da planta; e, $\hat{v}_5 = -0,170$ a $\hat{v}_1 = 0,196$ m para altura da espiga, com um padrão de variação semelhante a altura da planta.

Para os componentes da heterose, obteve-se, para produção de grãos, uma heterose média de $\hat{h} = 0,8596$ t/ha, sendo que os efeitos de heterose de variedades variaram de $\hat{h}_4 = -0,564$ a $\hat{h}_2 = 0,730$ t/ha e, os efeitos de heterose específica de $\hat{s}_{16} = -0,476$ a $\hat{s}_{26} = 0,529$ t/ha; para altura da planta obteve-se uma heterose média de $\hat{h} = 0,0371$ m, com os efeitos de heterose de variedades variando de $\hat{h}_4 = -0,054$ a $\hat{h}_6 = 0,057$ m e, os efeitos de heterose específica de $\hat{s}_{24} = -0,088$ a $\hat{s}_{14} = 0,070$ m; para altura da espiga obteve-se uma heterose média de $\hat{h} = 0,030$ m, com os efeitos de heterose de variedades variando de $\hat{h}_4 = -0,034$ a $\hat{h}_5 = 0,031$ m e, os efeitos de heterose específica de $\hat{s}_{24} = -0,089$ a $\hat{s}_{23} = 0,072$ m.

4.4. Resultados das correlações entre as médias dos híbridos intervarietais e as médias das respectivas variedades parentais

Na Tabela 16 encontram-se as estimativas dos

componentes da variância entre as médias das variedades parentais (σ_X^2) e da variância entre as médias dos híbridos intervalos (σ_Y^2), segundo a metodologia de MIRANDA FILHO (1974a). Note-se que, para todos os caracteres, a covariância entre os efeitos fixos de variedades e heterose de variedades (Cov_{Vh}) foram negativas.

Na Tabela 17 encontram-se as estimativas das variâncias dos dados médios das variedades parentais (σ_X^2), das variâncias dos dados das médias dos respectivos híbridos (σ_Y^2), das covariâncias (Cov_{XY}) e dos coeficientes de correlação (r) entre as duas variáveis, para os três caracteres em estudo.

Para o caráter produção de grãos encontrou-se um coeficiente de correlação de $r = 0,418$, que não é significativo ao nível de 5% de probabilidade. Para altura da planta encontrou-se um valor de $r = 0,755$ e para altura da espiga $r = 0,829$, sendo que estes coeficientes de correlação foram significativos ao nível de 1% de probabilidade. As regressões lineares correspondentes estão apresentadas nas figuras 1, 2 e 3.

4.5. Resultados da predição das médias dos compostos e dos cruzamentos entre compostos

Na Tabela 18 encontram-se as principais especi

ficações referentes aos $2^n - (n + 1) = 57$ compostos possíveis envolvendo as seis variedades. Encontrou-se uma amplitude de variação de 5,097 a 6,555 t/ha e um desvio padrão de 0,273 t/ha entre as médias estimadas dos compostos.

O composto mais promissor seria aquele envolvendo as variedades 1 e 4 (*Piranão VD₁* e *Piranão VD₂*) que, sintetizado, produziria em torno de 6,555 t/ha e, o composto amplo (envolvendo as seis variedades) produziria em torno de 6,119 t/ha, sendo que a diferença entre estes compostos seria de 0,436 t/ha.

Na Tabela 19 encontram-se as principais especificações referentes aos 4 possíveis compostos dentados e aos 4 possíveis compostos flints (duros).

Encontrou-se uma amplitude de variação de 5,988 a 6,555 t/ha e um desvio padrão de 0,2576 t/ha para os compostos dentados e, uma amplitude de variação de 5,097 a 5,645 t/ha e um desvio padrão de 0,2615 para os compostos flints (duros).

O composto dentado mais promissor seria aquele envolvendo as variedades 1 e 4 (*Piranão VD₁* e *Piranão VD₂*) que, sintetizado produziria 6,555 t/ha e, o composto dentado amplo (envolvendo as três variedades braquíticas dentadas) produziria 6,262 t/ha, sendo que a diferença entre estes compostos seria de 0,293 t/ha. O composto flint (duro) mais promissor seria aquele envolvendo as variedades 3 e 5 (*Piranão*

VF_1 e *Composto H.S. Flint br₂*) que, sintetizado, produziria 5,645 t/ha e, o composto flint amplo (envolvendo as três variedades braquíticas flints) produziria 5,641 t/ha, sendo que a diferença entre estes compostos seria de 0,004 t/ha.

Na Tabela 20 encontram-se as principais especificações referentes a todos os possíveis cruzamentos entre os compostos flints e dentados. Encontrou-se uma amplitude de variação de 6,086 a 6,517 t/ha e um desvio padrão de 0,1414 t/ha. O cruzamento mais promissor seria entre o composto dentado que envolveria as variedades 1 e 6 e, o composto flint que envolveria as variedades 2 e 3; tal cruzamento produziria 6,517 t/ha e, o cruzamento entre os compostos amplos dentados e flints produziria 6,394 t/ha, sendo que a diferença entre estes cruzamentos seria de 0,123 t/ha.

5. DISCUSSÃO

5.1. Avaliação do material e do seu potencial heterótico

As plantas de milho das regiões tropicais e sub-tropicais são tipicamente altas e, portanto, mais sujeitas ao acamamento; conseqüentemente a colheita mecânica torna-se bastante dificultada. Assim, a obtenção de variedades de milho de porte baixo e, portanto, menos sujeitas ao acamamento foi necessária para acompanhar a crescente mecanização agrícola. No Instituto de Genética da E.S.A.L.Q./U.S.P., existem, atualmente, seis variedades de milho braquítico que foram obtidas através da introdução do gene br_2 (braquítico₂) em variedades de porte normal e, que fazem parte do presente estudo.

A introdução do gene br_2 (braquítico₂) em cultivares normais, reduz a altura da planta e da espiga, consi-

deravelmente. Assim, no estudo em questão, as variedades apresentaram altura da planta e espiga bastante reduzidas, sendo que na variedade com porte mais elevado (*Piranão VD₁*), observou-se uma altura média de planta de 1,95 m e 1,22 m para altura da espiga e, para a variedade com porte mais reduzido (*Composto H.S. Flint br₂*) observou-se uma altura média de 1,57 m e 0,85 m para planta e espiga, respectivamente. Os híbridos intervarietais apresentaram uma altura média da planta de 1,77 m e 1,05 m de altura da espiga.

Verifica-se, com a amplitude de variação observada do porte da planta nas variedades que, como observaram LENG (1957), ANDERSON e CHOW (1963), SCOTT e CAMPBELL (1969) e PATERNIANI (1973), além do gene principal (*br₂*), há a presença de genes modificadores de herança poligênica afetando este caráter, fazendo com que a redução na altura da planta e da espiga varie bastante com as diferentes constituições genotípicas onde o gene *br₂* é incorporado. Esta observação é estatisticamente válida pois a análise da variância acusou significância, ao nível de 1% de probabilidade, para estes caracteres, entre variedades.

Vale acrescentar, que achou-se desnecessário a notar dados de acamamento, visto que para os materiais incluídos no presente estudo a presença de plantas acamadas foi extremamente baixa (aproximadamente 0%).

Para produção de grãos, a variedade mais produ

tiva foi *Piranão VD₁* com 6,378 t/ha e a menos produtiva foi *Cimmyt br₂* com 3,729 t/ha, sendo que em porcentagem da melhor testemunha (AG-305B) estes valores se tornam 77,48% e 45,30%, respectivamente. A melhor testemunha (AG-305B) é consideravelmente superior (8,232 t/ha) às variedades e seus híbridos intervarietais, apresentando, também, um porte de planta baixo, com 1,67 e 1,13 m de altura da planta e espiga, respectivamente; esta superioridade na produção de grãos pode ser devido ao fato desta testemunha ser um híbrido simples.

A significância para "Variedades" e não significância para "Cruzamentos intervarietais" na análise da variância para produção de grãos, indicam que apesar das variedades diferirem quanto as suas capacidades produtivas, seus híbridos intervarietais não diferiram para este caráter. Isto só é possível devido a presença da heterose para este caráter, indicando, ainda, haver uma correlação negativa entre nível de produtividade das variedades e a heterose manifestada nos seus cruzamentos, pois o híbrido entre as duas piores variedades (*Cimmyt br₂* x *Composto H.S. Flint br₂*) não diferiu estatisticamente do cruzamento entre as duas melhores variedades (*Piranão VD₁* x *Piranão VD₂*)

A interpretação genética desta correlação negativa entre nível de produtividade das variedades e heterose, pode ser visualizada tomando por base o fenômeno da dominância para explicar a heterose: as variedades mais produtivas serão aquelas que terão em maior quantidade os genes dominan-

tes favoráveis *per se* e, quando cruzadas os seus híbridos F_1 s não diferirão muito dos pais na quantidade de genes dominantes favoráveis acumulados, apresentando baixos valores de heterose; as variedades menos produtivas terão menor quantidade de genes dominantes *per se*, mas quando cruzadas, os seus híbridos F_1 s poderão diferir consideravelmente dos pais na quantidade de genes dominantes favoráveis acumulados, apresentando altos valores de heterose. Assim, os cruzamentos entre as piores variedades, podem ser tão produtivos quanto os cruzamentos entre as melhores variedades, como mostram os resultados do presente trabalho.

Para a produção de grãos, a heterose, em relação à média dos pais, mostrou-se positiva em todos os cruzamentos, sendo que a heterose média encontrada foi de 17,09% a qual é de manitude comparável aqueles obtidos por EBERHART (1971), HALLAUER (1972), MIRANDA FILHO (1974a), entre outros. O híbrido que apresentou maior valor de heterose foi *Cimmyt br₂* x *Composto H.S. Dent br₂* ($\hat{h}_{26} = 2,221$ t/ha ou 49,25%) e o híbrido que apresentou menor valor de heterose foi *Piranão VF₁* x *Piranão VD₂* ($\hat{h}_{34} = 0,150$ t/ha ou 2,46%).

Para a altura da planta e espiga as heteroses médias, em relação à média dos pais, encontradas foram de baixas magnitudes, sendo de 0,0371 m (2,24%) e de 0,030 m (3,14%) para os dois caracteres, respectivamente. Estes resultados são da mesma ordem de grandeza daqueles encontrados por PATER

NIANI (1970), BARRIGA e VENCOVSKY (1973) e MIRANDA FILHO (1974a) que utilizaram-se de cultivares normais e de cultivares de porte baixo (poligênicos); estes resultados estão um pouco abaixo daqueles encontrados por VALVA (1976) que utilizou-se de duas das variedades e seu híbrido intervarietal (braquíticos) que fazem parte do presente estudo. De qualquer maneira, os resultados mostram que, com relação a heterose da altura da planta e espiga, os milhos braquíticos não diferem daqueles com porte normal.

O vigor do híbrido, principalmente para produção de grãos, só terá sentido prático quando o híbrido superar o pai superior. Neste sentido, o híbrido que se apresentou com o maior valor de heterose em relação ao pai superior foi, novamente, *Cimmyt br₂* x *Composto H.S. Dent br₂* ($\hat{h}_{26} = 1,441$ t/ha ou 27,25%). Desta maneira, podemos inferir que apesar da variedade *Cimmyt br₂* ser mais pobre em quantidade de genes favoráveis para produção de grãos (variedade menos produtiva do conjunto), os genes favoráveis que contém complementam de maneira satisfatória os que faltam na variedade *Composto H.S. Dent br₂*, fazendo com que o híbrido entre elas tenha maior quantidade de genes favoráveis acumulado no híbrido que o pai mais produtivo.

Autores como MOLL *et alii* (1962) e MOLL *et alii* (1965), verificaram a estreita relação que existe entre a magnitude da heterose e a divergência genética entre os pais. De fato, a magnitude da heterose observada (h_{ij}) no cruzamento

entre populações é diretamente proporcional às diferenças de frequências gênicas entre as populações, nos locos que apresentam algum grau de dominância, ou seja: $h_{ij} = \sum_{i=1}^N (p_{ii} - p_{ji})^2 \delta_i$, onde p_{ii} e p_{ji} são as frequências gênicas dos alelos favoráveis nas duas populações e, δ_i é o efeito de dominância; assim, populações com diferentes frequências gênicas, no que diz respeito aos locos com dominância, serão, necessariamente, aquelas divergentes geneticamente.

No entanto, CRESS (1966) concluiu que a ausência de heterose não implica, necessariamente, na falta de divergência genética, pois se os efeitos de dominância não forem unidirecionais em grande parte dos locos, pode ocorrer compensação nos efeitos dos diferentes locos e, consequentemente, a ausência de heterose. Mas, a presença da heterose implica, necessariamente, em evidência de divergência genética. No estudo em questão, foram encontradas magnitudes amplas de heterose para produção de grãos, variando de 0,150 ou 2,46% ($\bar{h}_{34}$) a 2,221 t/ha ou 49,25% ($\bar{h}_{26}$), indicando haver pares de variedades mais divergentes geneticamente que outros. Este resultado é bastante alentador para melhoristas, visto que esta divergência genética entre as variedades poderá ser aproveitada na síntese de populações base (compostos) para o melhoramento, pois assim, poder-se-á, potencialmente e no que diz respeito aos locos com algum grau de dominância, incrementar a variabilidade genética para produção de grãos.

O comportamento de um híbrido intervarietal re

apresenta o comportamento médio de todos os possíveis híbridos simples provenientes do cruzamento entre linhagens das duas variedades parentais, já que os genes das linhagens que geram os híbridos simples são funções das frequências destes genes nas variedades de onde foram obtidas. Consequentemente, a presença de um híbrido intervarietal altamente produtivo é bastante alentador, pois espera-se que alguns híbridos simples (também híbridos duplos ou triplos) selecionados deverão exceder em muito o comportamento do híbrido intervarietal.

No estudo em questão, apesar da análise da variância não ter detectado significância entre os híbridos intervarietais, o melhor híbrido intervarietal foi *Piranão VD₁* x *Piranão VF₁*, que produziu cerca de 7,0 t/ha. Assim, a médio prazo, pode-se recomendar as variedades *Piranão VD₁* e *Piranão VF₁* para a obtenção de linhagens endogâmicas para produção de híbridos e, a longo prazo, o comportamento do híbrido intervarietal *Piranão VD₁* x *Piranão VF₁*, poderia ser melhorado através da Seleção Recorrente Recíproca, melhorando, consequentemente, após alguns ciclos de seleção, a capacidade produtiva dos híbridos provenientes dos cruzamentos entre as linhagens endogâmicas obtidas daquelas variedades. Vale acrescentar, que o tipo de grão, proveniente do cruzamento entre estas duas variedades ou entre suas linhagens, será semi-dentado de cor amarela, que, atualmente, é um tipo de grande aceitação por agricultores e pelo mercado.

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

As análises da variância das tabelas dialéli-
cas para produção de grãos, altura da planta e altura da espiga, detectou significância, ao nível de 1% de probabilidade, para os efeitos de variedades, sendo, portanto, estatisticamente válida a discriminação para estes caracteres, entre as variedades. Assim, para produção de grãos destacou-se a variedade *Piranao* VD₁ ($\hat{v}_1 = 0,974$ t/ha) como a melhor do conjunto e a variedade *Cimmyt* br₂ ($\hat{v}_2 = -1,674$ t/ha) como o pior do conjunto; para a altura da planta e espiga, as variedades *Piranao* VD₁ e *Composto* H.S. *Flint* br₂ destacaram-se como as variedades com portes mais elevado e mais reduzido, respectivamente.

Quanto a decomposição dos efeitos de heterose para produção de grãos, a análise da variância acusou significância, ao nível de 1% de probabilidade, dos efeitos de heterose média e heterose de variedades e, não acusou significância dos efeitos de heterose específica, indicando que existem diferenças entre os valores observados de heterose e, que a variação entre estes valores se deve ao fato de que certas variedades ocasionam um efeito heterótico particular, diferenciando certos valores de heterose das demais. Resultados semelhantes a estes mostrando que as variedades diferem entre si como tais e, também, quanto ao seu potencial heterótico nos

cruzamentos devido a significância dos efeitos de variedades, heterose média e heterose de variedades, foram relatados por HALLAUER e EBERHART (1966), VENCOVSKY (1970a), BARRIGA e VENCOVSKY (1973) e MIRANDA FILHO (1974).

Quando aos valores dos parâmetros de heterose de variedades, a variedade *Cimmyt br₂* apresentou o mais alto valor ($\hat{h}_2 = 0,730$ t/ha) e, a variedade *Piranão VD₂* apresentou o mais baixo valor ($\hat{h}_4 = -0,564$ t/ha). Portanto, a variedade *Cimmyt br₂* deve ter as frequências gênicas, dos locos com dominância, bem contrastantes com as frequências gênicas médias das variedades incluídas no conjunto, daí o seu alto valor heterótico positivo. Por outro lado, a variedade *Piranão VD₂* deve ter as frequências gênicas, dos locos com dominância, bem próximas das frequências gênicas médias do conjunto, ocasionando o seu baixo valor heterótico.

Segundo VENCOVSKY (1970a), existem três situações em que certas variedades apresentarão um alto valor de heterose de variedades: a. as variedades que tiverem muitos locos com altas frequências dos genes dominantes; b. as que tiverem muitos locos com baixas frequências dos genes dominantes e c. as que apresentarem maior dispersão das frequências gênicas em relação às frequências gênicas médias do conjunto. De acordo com esta interpretação, a variedade *Cimmyt br₂* foi a que apresentou, para produção de grãos, o menor valor do efeito de variedade ($\hat{v}_2 = -1,674$ t/ha) e o maior valor do efeito de heterose de variedades ($\hat{h}_2 = 0,730$ t/ha) do conjunto

e, assim, esta variedade é a mais divergente geneticamente em relação às outras variedades incluídas no estudo, devido ao fato das suas frequências dos genes favoráveis, com algum grau de dominância, estarem bem abaixo das frequências gênicas médias das outras variedades.

Para o caráter altura da planta, todos os componentes da heterose foram significativos, ao nível de 1% de probabilidade e, para o caráter altura da espiga somente o componente heterose de variedades não se mostrou significativo, na análise da variância. Estes resultados diferem daqueles encontrados por BARRIGA e VENCOVSKY (1973) e por MIRANDA FILHO (1974a), os quais utilizaram-se de cultivares normais e cultivares de porte baixo poligênicos, que são homozigotos dominantes para o gene Br_2 , no sentido de que para estes caracteres não havia sido detectado, ainda, significância para heterose específica. Mesmo para produção de grãos que é um caráter mais complexo e com maior nível de dominância (vide valores das heteroses), poucos são os relatos na literatura em que se encontrou significância para heterose específica, sendo os trabalhos de HALLAUER e SEARS (1968), TROYER e HALLAUER (1968) e HALLAUER (1972) aqueles em que foram detectados significâncias de heterose específica para produção de grãos.

A presença de genes modificadores e de herança poligênica afetando a expressão do gene *braquítico* (br_2), pode explicar estes resultados. Isto porque os genes modifica-

dores sendo variáveis entre as diferentes variedades, fazem com que ocorra uma grande variação para altura da planta e espiga entre as variedades como já discutido anteriormente. Assim, nos cruzamentos entre variedades muito divergentes quanto aos genes modificadores com algum grau de dominância, poderá ocorrer diferenças entre os graus de complementação nos híbridos. Isto ocasionaria o aparecimento da variação devido à heterose específica (capacidade específica de combinação).

Apesar da significância dos efeitos de heterose específica na análise da variância, as médias de altura da planta e espiga nos híbridos intervarietais não apresentaram valores discrepantes, sendo que para o híbrido com porte mais elevado obteve-se 1,926 e 1,208 m e para aquele com o porte mais reduzido obteve-se 1,623 e 0,954 m para a altura da planta e espiga, respectivamente.

5.3. Correlação entre as médias dos híbridos intervarietais e as médias das respectivas variedades parentais

A correlação entre as médias dos híbridos e as médias das suas respectivas variedades parentais é, sem dúvida, de grande interesse para o melhoramento, pois permite avaliar o quanto das médias dos híbridos depende das médias das variedades parentais. Os resultados da literatura, para produção de grãos, mostram que esta correlação é positiva e alta

mente significativa; assim PATERNIANI e LONNQUIST (1963) obtiveram um valor de $r = 0,677$ em um estudo envolvendo cruzamentos entre diversas raças de milho, MIRANDA FILHO e VENCovsky (1978) obtiveram valores de $r = 0,750$ e $r = 0,556$ em cruzamentos dialélicos envolvendo sete variedades de porte baixo (poligênico) e duas variedades de porte normal; tais valores são altamente significativos estatisticamente.

Estes resultados são muito importantes, pois mostram que se as médias dos híbridos são correlacionadas com as médias das suas respectivas variedades parentais, estas quando melhoradas, a nível intrapopulacional, irão acarretar uma melhoria no híbrido intervarietal. Aliás, tal resultado foi obtido por PATERNIANI (1968) em estudos com Seleção Entre e Dentro de Famílias de Meios Irmãos.

É preciso ressaltar, que estes resultados citados, foram obtidos com variedades de milho não portadoras do genótipo br_2br_2 (braquíticos), portanto, a inclusão deste item no presente estudo justifica-se pela necessidade de verificar se o comportamento destas variedades braquíticas difere dos resultados citados na literatura.

O coeficiente de correlação entre as médias dos híbridos e as médias das respectivas variedades parentais, foi calculado segundo a metodologia sugerida por MIRANDA FILHO (1974a), o qual se baseou no modelo de GARDNER e EBERHART

(1966) para que os resultados possam ser melhor interpretados do ponto de vista genético.

Segundo MIRANDA FILHO (1974a), esta correlação é dada pela seguinte fórmula:

$$r = \frac{1/2 \hat{\sigma}_{\hat{V}}^2 + \text{Cov}_{\hat{V}\hat{H}}}{\left[1/2 \hat{\sigma}_{\hat{V}}^2 + 1/2 \hat{\sigma}_{\hat{V}}^2 + 2 \hat{\sigma}_{\hat{V}}^2 + 2 \text{Cov}_{\hat{V}\hat{H}} + \frac{n(n-3)}{n(n-1)-2} \hat{\sigma}_{\hat{S}}^2 \right]^{1/2}}$$

Observa-se da fórmula, que esta depende em grande parte da magnitude da variância entre os efeitos fixos de variedades ($\hat{\sigma}_{\hat{V}}^2$) e da magnitude da covariância entre os efeitos fixos de variedades e os efeitos fixos de heterose de variedades ($\text{Cov}_{\hat{V}\hat{H}}$). Se a variância entre os valores de heterose tenderem a zero, o coeficiente de correlação tende ao seu valor máximo, isto é: $\lim_{\sigma_{hij}^2 \rightarrow 0} r = 1$, pois quando isto ocorre os

componentes da heterose também tendem a zero e, o coeficiente de correlação será: $r = (1/2) \hat{\sigma}_{\hat{V}}^2 / (1/2) \hat{\sigma}_{\hat{V}}^2 = 1,0$.

Para o caráter produção de grãos encontrou-se um valor de $r = 0,418$, que não é significativo ao nível de 5% de probabilidade. Apesar da não significância deste coeficiente de correlação, pode-se observar pela Figura 1 que há uma tendência de aumento de produção de grãos nos híbridos a medida em que se aumenta o nível das médias das variedades; e, além disso, o valor deste coeficiente de correlação não é de

magnitude desprezível e, portanto, a sua não significância po de ser devido ao baixo número de graus de liberdade para testar a sua significância. Assim, provavelmente, tal resultado deve estar de acordo com aqueles obtidos por PATERNIANI e LONNQUIST (1963) e MIRANDA FILHO e VENCovsky (1978), mas deve ser objeto de mais estudos desta natureza, com maior quantidade de dados para verificar se esta conclusão pode ser confirmada.

Quanto aos caracteres altura da planta e altura da espiga, encontraram-se valores de $r = 0,755$ e $r = 0,829$, respectivamente, os quais são significativos ao nível de 1% de probabilidade e, cujos resultados estão de acordo com aqueles obtidos por MIRANDA FILHO e VENCovsky (1978). Portanto, quanto a este aspecto, tais caracteres devem ter comportamento semelhante às variedades não portadoras do genótipo br_2br_2 .

Para os três caracteres, as estimativas da covariância entre os efeitos fixos de variedades e os efeitos de heterose de variedades ($\hat{C\hat{O}_{vh}}$) foram negativos, contribuindo para diminuir os valores dos coeficientes de correlação. Ainda, estes resultados estão de acordo com a discussão no item 5.1. a respeito da correlação negativa entre o nível das variedades e seu potencial heterótico.

Deve-se salientar, que como realçaram MIRANDA FILHO e VENCovsky (1978), o coeficiente de correlação não depende da magnitude da heterose total, mas da variabilidade dos efeitos de heterose de variedades e heterose específica. Con

sequentemente, altos valores de heterose não é sinônimo de baixos valores de correlação pois se estes valores forem, aproximadamente, da mesma magnitude (significância de apenas heterose média na análise de variância), pode-se obter altos valores de correlação.

Apesar das médias não serem um meio eficiente para se obter inferências sobre o tipo de ação gênica envolvida no controle dos caracteres, pode-se especular a respeito com os resultados obtidos. Assim, para produção de grãos, obtiveram-se valores relativamente altos de heterose e, um coeficiente de correlação (entre as médias dos híbridos e suas respectivas variedades parentais), relativamente baixo. Como a heterose é função dos efeitos de dominância e o coeficiente de correlação é inversamente proporcional a variabilidade dos efeitos de dois dos componentes da heterose, possivelmente, um grande número de locos que controlam este caráter deve ter ação gênica dominante. Quanto a altura da planta e da espiga, obtiveram-se baixos valores de heterose e altos valores para os coeficientes de correlação (entre as médias dos híbridos e suas respectivas variedades parentais), indicando que a maioria dos locos que controlam estes caracteres deve ter ação gênica predominantemente aditiva. Isto é compreensível, visto que se estes caracteres fossem controlados unicamente por genes de efeitos aditivos, não existiria heterose e, os coeficientes de correlação entre as médias dos híbridos e as médias das suas respectivas variedades parentais atingiria o

seu valor máximo. Tais considerações são limitadas devido a possível ocorrência de dominância gênica não unidirecional, como salientado por CRESS (1966).

Os resultados mostrando que os caracteres altura da planta e altura da espiga dos híbridos intervarietais são praticamente determinados pelas médias das variedades parentais (apesar da significância para heterose específica na análise da variância) e, apresentando baixos valores de heterose, são bastante alentadores para os melhoristas, visto que a heterose para produção de grãos, poderá ser explorada através da Seleção Recorrente Recíproca ou através de cruzamentos intervarietais, sem comprometer a altura da planta e da espiga. MIRANDA FILHO (1974a), chegou as mesmas conclusões utilizando-se de cultivares não portadores do genótipo $br_2 br_2$, indicando que a presença do genótipo ($br_2 br_2$) em variedades, não deve se constituir em cuidados adicionais em programas de melhoramento.

5.4. Predição de médias de compostos e dos cruzamentos entre compostos

A formação de compostos obtidos pelo intercruzamento de variedades ou raças geneticamente divergentes, vem sendo recomendada por melhoristas como HALLAUER e EBERHART (1966), PATERNIANI (1967), LONNQUIST (1969), MIRANDA FILHO

(1974a), entre outros. Isto se deve ao fato de que estes compostos apresentarão uma quantidade apreciável de variabilidade genética, os quais servirão como populações base em programas de melhoramento; além de que, com as metodologias de predição de médias de compostos, pode-se optar pela escolha de compostos que apresentem uma boa produtividade média inicial, aliada a boas características agronômicas.

No presente estudo, foram preditas as médias dos 57 possíveis compostos envolvendo as seis variedades braquíticas. O composto amplo (envolvendo as seis variedades) produziria 6,119 t/ha, que seria apenas 6,65% ou 0,436 t/ha menos produtivo que o composto mais promissor (envolvendo as variedades *Piranão VD₁* e *Piranão VD₂*), que produziria 6,555 t/ha. O composto amplo seria 4,05% menos produtivo que a melhor variedade do conjunto, mas terá alto potencial para o melhoramento, devido ao fato de que deverá apresentar uma quantidade apreciável de variação genética. Assim, a recomendação da síntese do melhor composto, recaiu no composto amplo; este mesmo procedimento foi adotado por MIRANDA FILHO (1974a) e por CARVALHO (1980), cujo objetivo principal é aproveitar melhor a variabilidade genética potencial, sem comprometer a produção de grãos.

Outra estratégia a ser seguida na formação de compostos, é a síntese de um par de compostos que além de bom comportamento *per se*, o híbrido proveniente do seu cruzamento

também tenha um bom comportamento. Isto visando, principalmente, a utilização deste par de compostos em programas de Seleção Recorrente Recíproca para posterior extração de linhagens e produção de híbridos.

Quanto a este aspecto, há uma certa preocupação por parte dos melhoristas, em sintetizar compostos com tipo definido de grão. Assim, diversas variedades obtidas no Instituto de Genética da ESALQ/USP tem grão do tipo dentado ou grão do tipo flint (duro); note-se que cada variedade braquítica incluída no presente estudo, tem tipo definido de grão. Tal fato se deve a grande aceitação, no Brasil, de híbridos semi-dentados, que são provenientes do cruzamento entre linhagens ou variedades flints e linhagens ou variedades dentadas.

Neste sentido, foi dada atenção às predições dos compostos formados a partir das variedades flints (duras) e os compostos formados a partir das variedades dentadas; além disso, foram previstos o comportamento dos cruzamentos entre estes compostos, no que diz respeito a produção de grãos.

Com base nos resultados, optou-se pela recomendação da síntese do composto dentado que envolveria as três variedades braquíticas dentadas incluídas no estudo e, o composto flint (duro) que na sua síntese envolveria as três variedades braquíticas flints incluídas no estudo. Este composto dentado braquítico a ser sintetizado, produziria apenas 4,47% (0,293 t/ha) a menos que o composto dentado mais promis

sor e, este composto flint braquítico a ser sintetizado, produziria apenas 0,07% (0,004 t/ha) a menos que o composto flint mais promissor; o híbrido proveniente do cruzamento entre estes dois compostos produziria 6,394 t/ha, ou seja, apenas 1,89% (0,123 t/ha) a menos que o cruzamento predito mais promissor entre compostos dentados e flints.

Esta recomendação foi feita segundo o mesmo objetivo citado na recomendação do composto amplo (envolvendo as seis variedades), visando, principalmente, aproveitar melhor a variabilidade genética potencial, sem comprometer a produção de grãos.

6. CONCLUSÕES

As interpretações dos resultados do presente trabalho, permitiram chegar as seguintes conclusões:

a. As variedades braquíticas de milho incluídas no estudo, diferem geneticamente entre si como tais e, também, quanto ao seu potencial heterótico, no que diz respeito à contribuição das variedades para a heterose, para o caráter produção de grãos.

b. Os valores de heterose para produção de grãos, mostraram elevada amplitude de variação, evidenciando a presença de pares de variedades mais divergentes geneticamente que outros.

c. Os resultados das análises da variância das tabelas dialélicas dos caracteres altura da planta e espiga, foram diferentes daqueles encontrados na literatura, no que diz respeito à significância da heterose específica. Tais re

resultados foram interpretados como sendo devido à grande diversidade genética entre as variedades no que diz respeito aos genes modificadores (como algum grau de dominância), ocasionando diferenças entre os graus de complementação nos híbridos.

d. A variedade *Cimmyt br₂* é a mais divergente geneticamente em relação às outras variedades incluídas no estudo, devido ao fato das suas frequências dos genes favoráveis com algum grau de dominância, estarem bem abaixo das frequências gênicas médias das outras variedades.

e. O melhor híbrido intervarietal resultou do cruzamento entre as variedades *Piranão VD₁* e *Piranão VF₁*. Portanto, estas variedades foram indicadas para serem, a médio prazo, utilizadas em programas de obtenção de híbridos de linhagens; e, a longo prazo, para serem utilizadas em programas de Seleção Recorrente Recíproca para posterior obtenção de novos híbridos de linhagens.

f. O coeficiente de correlação entre as médias dos híbridos e as médias das suas respectivas variedades parentais, para o caráter produção de grãos, mostrou-se não significativo. Tal resultado foi interpretado como sendo devido, provavelmente, ao baixo número de graus de liberdade disponíveis para testar a sua significância. Tal resultado indica que, provavelmente, quanto a este aspecto, as variedades braquíticas têm comportamento semelhante às variedades não porta

doras do genótipo br_2br_2 (normais); este tipo de estudo deve ser melhor investigado, para verificar se esta conclusão pode ser confirmada.

g. Os coeficientes de correlação entre as médias dos híbridos e as médias das suas respectivas variedades parentais, para os caracteres altura da planta e altura da espiga, foram de magnitudes elevadas e altamente significativas. Tais resultados indicam que, quanto a estes aspectos, tais caracteres têm comportamento semelhante às variedades não portadoras do genótipo br_2br_2 .

h. Os caracteres altura da planta e altura da espiga apresentaram baixos valores de heterose e alta correlação entre as médias dos híbridos e as médias das suas respectivas variedades parentais, indicando que as médias das variedades parentais determinam, em grande parte, estes caracteres nos seus híbridos intervarietais. Assim, tais resultados indicam que pode-se explorar a heterose para produção de grãos, sem comprometer a altura da planta e da espiga. Tal conclusão é bastante alentadora, visto que é semelhante àquelas obtidas com variedades não portadoras do genótipo br_2br_2 e, portanto, a presença deste genótipo em variedades não deve se constituir em cuidados adicionais em programas de melhoramento.

i. A recomendação da síntese do melhor composto recaiu sobre o composto amplo (envolvendo as seis variedades

des braquíticas), pois este seria apenas 6,65% menos produtivo que o composto mais promissor e, dessa maneira espera-se a aproveitar melhor a variabilidade genética potencial, sem comprometer a produção de grãos.

j. Com relação à predição de um par de compostos para serem utilizados em programas de Seleção Recorrente Recíproca para posterior produção de híbridos de linhagens, optou-se pela recomendação da síntese de um composto dentado, que envolveria as três variedades dentadas braquíticas incluídas no estudo e, da síntese de um composto flint, que envolveria as três variedades flints braquíticas incluídas no estudo em questão. Tal opção foi feita visando incrementar a variabilidade genética dos compostos *per se* e do seu cruzamento, sem comprometer a produção de grãos, visto que tais compostos e seu cruzamento seriam apenas um pouco menos produtivos que aqueles mais promissores.

7. LITERATURA CITADA

- ANDERSON, D.C., 1938. The relation between single and double cross yields in corn. *J. Am. Soc. Agron.* Madison, 30: 209-211.
- ANDERSON, J.C. e P.N. CHOW, 1963. Phenotypes and grain yield associated with brachytic-2 gene in single cross hybrids of dent corn. *Crop. Sci.* Madison, 3:111-113.
- ALLEONI, M.R.B. e R. VENCovsky, 1971. Vigor de híbrido em cruzamentos de raças de milho de diversas origens. *Rel. Cient. I. Gen.* Piracicaba, 5:1-3.
- BANDEL, G., 1978. Genética. In: PATERNIANI, E., Coord. *Melhoramento e produção do milho no Brasil*. Piracicaba, ESALQ/USP. Marprint, p: 97-118.

- BARRIGA, P. e R. VENCovsky, 1973. Heterose da produção de grãos e de outros caracteres agronômicos em cruzamentos intervarietais de milho. *Ciência e Cultura*. São Paulo, 25: 880-885.
- BEAL, W.J., 1880. Indian Corn. Mich. State. Bd. Agr. Ann. Rpt. 19:279-289. In: Jugenheimer, R.W., 1958. Hybrid maize breeding and seed production. FAO Agric. Development Paper Rome. 432 pp.
- BULOW, J.F.W. Von, 1971. Efeito do gene braquítico-2 em populações análogas e em híbrido de milho (*Zea mays* L.). *Pesq. Agropec. Bras.* Brasília, 6:155-161.
- CAMPBELL, C.M., 1965. New dwarfs and modifiers. *Proc. 20th A. Hybrid Corn Industry Res. Conf.*, 20:22-29.
- CARVALHO, H.W.L., 1980. Predição de médias de compostos de milho (*Zea mays* L.) para a microrregião homogênea 131 do Estado da Bahia. Piracicaba, ESALQ/USP. 112 p. (Dissertação de Mestrado).
- CASTRO, G.M., 1973. Maíces "super enanos" para El Bajío. México, Universidade de Coahuila. 20 p. (Boletim).
- 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 Sci.* Madison, 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* L.) and their F₁ progenies. *Crop Sci.* Madison, 5: 505-508.
- CRESS, C.E., 1966. Heterosis of the hybrid related to gene frequency differences between two populations. *Genetics*. New York, 53:269-274.
- DOXTATOR, C.W. e I.J. JOHNSON, 1936. Prediction of double-cross yields in corn. *J. Am. Soc. Agron.* Madison, 28:460-462.
- EBERHART, S.A., M.N. HARRISSON e F.O. OGADA, 1967. A comprehensive breeding system. *Der Züchter*. Berlin, 37: 169-174.
- EBERHART, S.A., 1971. Regional maize diallels with U.S. and semi-exotic varieties. *Crop Sci.* Madison, 11:911-914.
- GALSTON, A.W. e P.J. DAVIES, 1972. *Mecanismos de controle no desenvolvimento vegetal*. São Paulo, Edgar Blucher e Ed.da Universidade de São Paulo, 171 p.
- GALVÃO, J.D., 1974. Comportamento do milho Piranão (braqui_{ti} co-2) e de milhos de porte normal, em diferentes níveis de nitrogênio e populações de plantas. Piracicaba, ESALQ/USP. 106 p. (Tese de Doutorado).

- GARDNER, C.O., 1965. Teoria de genética estadística aplicada a las médias de variedades, sus cruces y poblaciones afines. *Fitotecnia Latinoamericana*. Caracas, 2:11-22.
- GARDNER, C.O., 1967. Simplified methods for estimating constants and computing sums of squares for a diallel cross analysis. *Fitotecnia Latinoamericana*. Caracas, 4:1-12.
- GARDNER, C.O. e S.A. EBERHART, 1966. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. *Biometrics*. Tallahassee, 22:439-452.
- 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*. São Paulo, 19:95-101.
- GRIFFE, F., 1922. First generation corn varietal crosses. *J. Am. Soc. Agron.* Madison, 14:18-27.
- GRIFFING, B., 1956a. A generalized treatment of the use of dialled crosses in quantitative inheritance. *Heredity*. Edinburgh, 10:31-50.
- GRIFFING, B., 1956b. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biol. Sci.*, 9:463-493.

- HALLAUER, A.R. e S.A. EBERHART, 1966. Evaluation of synthetic varieties of maize for yield. *Crop Sci.* Madison, 6:423-427.
- HALLAUER, A.R. e J.H. SEARS, 1968. Seconde phase in the evaluation of synthetic varieties of maize for yield. *Crop Sci.* Madison, 8:448-451.
- HALLAUER, A.R., 1972. Third phase in the yield evaluation of synthetic varieties of maize. *Crop Sci.* Madison, 12:16-18.
- HAYES, H.K., R.P. MURPHY e E.H. RINKE, 1943. A comparision of the actual yield of double crosses of maize with their predicted yield from single crosses. *J. Am. Soc. Agron.* Madison, 35: 60-65.
- HAYMAN, B.I., 1954a. The analysis of variance of diallel tables. *Biometrics*, 10:235-244.
- HAYMAN, B.I., 1954b. The theory and analysis of diallel crosses. *Genetics*. Tallahasee, 39:789-809.
- JENKINS, M.T., 1934. Methods of estimating the performance of double crosses in corn. *J. Am. Soc. Agron.* Madison, 26:199-204.
- JOHNSON, G.R., 1973. Diallel analysis of leaf area heterosis and relationship to yield in maize. *Crop Sci.* Madison, 13:178-180.

- JONES, D.F., 1918. The effects of inbreeding and cross breeding upon development. *Connecticut Agr. Expt. Sta. Bull.*, 207:5-100.
- KEMPTON, J.H., 1920. Heritable character in maize. III - Brachytic culms. *J. Hered.* Washington, D.C., 11:111-115.
- KHEHRA, A.S., V.V. MALHOTRA, V.K. SAXENA e B.S. DHILLON, 1975. Role of brachytic-2 in genetic improvement of maize. *Egypt. J. Genet. Cytol.* Ludhiana, 4: 430-432.
- KRUG, C.A., G.P. VIEGAS e L. PAOLIERI, 1943. Híbridos comerciais de milho. *Bragantia*. Campinas, 3:367-552.
- LAMBERT, R.J., 1963. Location of brachytic-2 dwarf. *Maize Genet. Coop. New. Lett.*, 37:41-42.
- LEITE, D.R., 1973. Comportamento de milho (*Zea mays* L.) brachítico-2 em diferentes densidades de plantio. Piracicaba, ESALQ/USP. 60 p. (Dissertação de Mestrado)
- LENG, E.R., 1957. Genetic production of short stalked hybrids. *Proc. 12th. A. Hybrid Corn Industry Res. Conf.*, 12:80-86.
- LONNQUIST, J.H., 1969. Maize Improvement. *Cimmyt Mayze*, 9: 1-9.
- LONNQUIST, J.H. e C.O. GARDNER, 1961. Heterosis in intervarietal crosses of maize and its implication in breeding procedures. *Crop Sci.* Madison, 1:179-183.

MIRANDA FILHO, J.B., 1974a. Cruzamentos dialélicos e síntese de compostos de milho (*Zea mays* L.) com ênfase na produtividade e no porte da planta. Piracicaba, ESALQ/USP. 116 p. (Tese de Doutorado)

MIRANDA FILHO, J.B., 1974b. Predição de médias de compostos em função das médias das variedades parentais e das heterosises dos cruzamentos. *Rel. Cient. I. Gen.* Piracicaba, 8: 109-120.

MIRANDA FILHO, J.B. e R. VENCOSKY, 1978. Coeficiente de correlação entre as médias de variedades e dos híbridos intervarietais em cruzamentos dialélicos. *Rel. Cient. I. Gen.* Piracicaba, 12:147-161.

MIRANDA FILHO, J.B., 1979. Avaliação de híbridos *crípticos* $S_0 \times S_0$ entre duas populações de milho braquíticos. *Rel. Cient. I. Gen.*, 13:159-171.

MOLL, R.H., W.S. SALHUANA e H.F. ROBINSON, 1962. Heterosis and genetic diversity in variety crosses of maize. *Crop Sci.* Madison, 2:197-198.

MOLL, R.H., J.H. LONNQUIST, J.V. FORTUNO e E.C. JOHNSON, 1965. The relationship of heterosis and genetic divergence in maize. *Genetics.* New York, 52:139-144.

NEAL, N.P., 1935. The decrease in yielding capacity in advanced generations of hybrid corn. *J. Am. Soc. Agron.* Madison, 27:666-670.

- PATERNIANI, E. e J.H. LONNQUIST, 1963. Heterosis in interracial crosses of corn. *Crop Sci.* Madison, 3: 504-507.
- PATERNIANI, E., 1967a. Formação de compostos e avaliação de germoplasma para o melhoramento do milho. *Rel. Cient. I. Gen.* Piracicaba, 1:48-49.
- PATERNIANI, E., 1967b. Cruzamentos intervarietais de milho. *Rel. Cient. I. Gen.* Piracicaba, 1:49-50.
- PATERNIANI, E., 1968. Cruzamentos interracialis de milho. *Rel. Cient. I. Gen.* Piracicaba, 2: 108-110.
- PATERNIANI, E., 1968. Avaliação do método de seleção entre e dentro de famílias de meios irmãos no melhoramento do milho (*Zea mays* L.). Piracicaba, ESALQ/USP. 92 p. (Tese de Professor Catedrático).
- PATERNIANI, E., 1970. Heterose em cruzamentos intervarietais de milho. *Rel. Cient. I. Gen.* Piracicaba, 4: 95-100.
- PATERNIANI, E., 1973. Origem e comportamento do milho Piraião. *Rel. Cient. I. Gen.* Piracicaba, 7: 148-155.
- PATERNIANI, E., 1975. Origem e comportamento do milho Piraião. *Informativo del maiz.* 1:37-39 (Citado por BANDEL, 1978).

PATERNIANI, E. e R. RISSI, 1976. Seleção entre e dentro de famílias de meios irmãos nas populações de Piranão A e Piranão B. *Rel. Cient. I. Gen.* Piracicaba, 10:167-173.

PATERNIANI, E., J.R. ZINSLY e J.B. MIRANDA FILHO, 1977. Populações melhoradas de milho obtidas pelo Instituto de Genética. *Rel. Cient. I. Gen.* Piracicaba, 11:108-114.

PATERNIANI, E., 1978. Avaliação de cultivares de milho de planta baixa. *Rel. Cient. I. Gen.* Piracicaba, 12:162-168.

RISSI, R., 1980. Estimação de parâmetros genéticos em duas subpopulações da variedade de milho (*Zea mays* L.) Piranão. Piracicaba, ESALQ/USP. 87 p. (Dissertação de Mestrado)

RICHEY, F.D., 1922. The experimental basis for the present status of corn breeding. *J. Am. Soc. Agron.* Madison, 14:1-17.

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*. Tempe, 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*. New York, 43:868-877.

- SCOTT, G.E. e C.M. CAMPBELL, 1969. Internode lenght and brachytic-2 maize inbreds in single cross. *Crop Sci.* Madison, 9:293-295.
- SHEHATA, A.H. e N.L. DHAWAN, 1975. Genetic analysis of grain yield in maize as manifested in genetically diverse varietal populations and their crosses. *Egypt. J. Genet. Cytol.* Ludhiana, 4:90:116.
- SOLOMONENKO, T.A. e T.S. CHALYR, 1972. A study of dwarf maize hybrids. In: *Plant breeding Abstracts*, 45:279.
- SPRAGUE, G.F., 1955. Chapter V: Corn Breeding. In: *Corn and Corn Improvement*. New York, N.Y., Academic Press Inc.
- SPRAGUE, G.F. e L.A. TATUM, 1942. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. *J. Am. Soc. Agron.* Madison, 34:923-932.
- TAVARES, F.C.A., 1972. Componentes da produção relacionados à heterose em híbridos intervarietais de milho (*Zea mays* L.). Piracicaba, ESALQ/USP. 106 p. (Dissertação de Mestrado).
- 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, p. 581-593.

- TREGUBENKO, M.J. e V.I. NEPOMNJASCIJ, 1971. The water consumption of brachytic maize hybrids in relation to their yield. *Pl. Breed. Abstr.*, 41:340 (Resumo)
- TROYER, A.F. e A.R. HALLAUER, 1968. Analysis of a set of early flint varieties of maize. *Crop Sci.* Madison, 8: 581-584.
- VALVA, F. D'AYALA, 1976. Heterose em híbridos intervarietal de milho (*Zea mays* L.) br₂ br₂ (Braquítico-2). Piracicaba, ESALQ/USP. 96 p. (Dissertação de Mestrado).
- VENCOVSKY, R., 1969a. Análise de cruzamentos dialélicos entre variedades pelo método de GARDNER e EBERHART. *Rel. Cient. I. Gen.* Piracicaba, 3:99-111.
- VENCOVSKY, R., 1969b. Expressão geral para estimar a média de um carpater num composto qualquer de variedades. *Rel. Cient. I. Gen.* Piracicaba, 3: 88-93.
- VENCOVSKY, R., 1970a. Alguns aspectos teóricos e aplicados relativos a cruzamentos dialélicos de variedades. Piracicaba, ESALQ/USP. 59 p. (Tese de Livre-Docência).
- VENCOVSKY, E., J.R. ZINSLY, N.A. VELLO e C.R.M. GODOI, 1970b. Predição da média de um composto de variedades e do cruzamento de compostos. *Rel. Cient. I. Gen.* Piracicaba, 4 : 137-144.

VENCOVSKY, R., 1972. Processo geral para estimar a média de um caráter quantitativo numa população obtida por cruzamento. Trabalho apresentado na XXIV Reunião da SBPC (São Paulo). (Mimeogr.).

VENCOVSKY, R., J.R. ZINSLY, N.A. VELLO e C.R. GODOI, 1973.

Predição da média de um caráter quantitativo em composto de variedades e cruzamento de compostos. *Fitotecnia Latinoamericana*. Caracas, 8:25-28.

WELLHAUSEN, E.J., 1965. Exotic germ plasm for improvement of corn belt maize. *Proc. 20th A. Hybrid Corn Industry Res. Conf.*

WRIGHT, S., 1922. The effects of inbreeding and cross-breeding of guinea pig. *U.S. Dept. Agric. Bull.* 1121. (Citado por SPRAGUE, 1955).

YATES, F., 1947. Analysis of data from all possible reciprocal crosses between a set of parental lines. *Heredity*. Edinburgh, 1:287-301.

ZUBER, M.S., 1942. Relative efficiency of incomplete block designs using corn uniformity trial data. *J. Am. Soc. Agron.* Madison, 34:30-47.

TABELAS E FIGURAS

Tabela 1. Valores e significâncias dos quadrados médios obtidos nas análises da variância para os três caracteres em estudo: PG: produção de grãos (t/ha), AP: altura da planta (m) e AE: altura da espiga (m). Blocos casualizados com seis repetições. Piracicaba-SP - 1979/80.

F.V.	G.L.	Quadrados Médios		
		PG	AP($\times 10^{-2}$)	AE($\times 10^{-2}$)
Blocos	5	1,245*	3,382**	1,782**
Tratamentos	(22)	4,645**	5,856**	5,006**
Variedades	5	6,108**	12,438**	10,479**
Cruzamentos Intervarietais	14	0,777ns	3,774**	3,335**
Híbridos comerciais	1	0,981ns	0,152ns	0,013ns
Entre grupos	2	29,888**	6,827**	5,511**
Erro experimental	110	0,517	0,655	0,416
Coeficiente de variação (%)		11,63	4,63	6,15

ns: não significativo

* : significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** : significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 2. Médias observadas de produção de grãos (t/ha) de seis variedades e seus respectivos híbridos intervarietais em cruzamentos dialélicos. Médias das seis repetições (1979/80).

	1	2	3	4	5	6
1	6,378	6,085	6,949	6,760	6,628	6,144
2		3,729	6,330	5,842	5,898	6,729
3			5,836	6,229	5,940	6,303
4				6,323	5,788	6,279
5					4,865	6,035
6						5,288
Testemunhas: AG-7811: 7,660 t/ha AG-305-B: 8,232 t/ha						

Tabela 3. Porcentagem (%) em relação a testemunha superior (AG-305-B) das médias observadas de produção de grãos de seis variedades e seus respectivos híbridos intervarietais em cruzamentos dialélicos. Médias das seis repetições (1979/80).

	1	2	3	4	5	6
1	77,48	73,92	84,41	82,12	80,51	74,64
2		45,30	76,89	70,97	71,65	81,74
3			70,89	75,67	72,16	76,57
4				76,81	70,31	76,30
5					59,10	73,31
6						64,24
Testemunhas: AG-7811: 93,05 AG-305-B: 100,00						

1. Piranão VD₁; 2. Cimmyt br₂; 3. Piranão VF₁; 4. Piranão VD₂; 5. Composto H.S. Flint br₂; 6. Composto H.S. Dent br₂.

Tabela 4. Médias observadas de altura da planta (m) de seis variedades e seus respectivos híbridos intervarietais em cruzamentos dialélicos. Médias de seis repetições (1979/80).

	1	2	3	4	5	6
1	1,95	1,81	1,80	1,93	1,81	1,84
2		1,62	1,77	1,62	1,70	1,72
3			1,75	1,77	1,67	1,84
4				1,84	1,71	1,80
5					1,57	1,70
6						1,65
Testemunhas: AG-7811: 1,65 AG-305-B: 1,67						

Tabela 5. Médias observadas de altura da espiga (m) de seis variedades e seus respectivos híbridos intervarietais em cruzamentos dialélicos. Médias de seis repetições (1979/80).

	1	2	3	4	5	6
1	1,22	1,15	1,07	1,21	1,11	1,07
2		0,98	1,09	0,95	0,97	0,98
3			1,01	1,07	0,95	1,05
4				1,13	1,03	1,06
5					0,85	0,98
6						0,93
Testemunhas: AG-7811: 1,13 AG-305-B: 1,13						

1. Piranão VD₁; 2. Cimmyt br₂; 3. Piranão VF₁; 4. Piranão VD₂;
5. Composto H.S. Flint br₂; 6. Composto H.S. Dent br₂.

Tabela 6. Intervalos de confiança, ao nível de 95% de probabilidade, das médias observadas das variedades e dos híbridos intervarietais, para os caracteres: PG: produção de grãos (t/ha), AP: altura da planta (m) e AE: altura da espiga (m).

Caráter	Intervalos de confiança
PG (t/ha)	$\bar{y}_{ij} \pm 0,5819$
AP (m)	$\bar{y}_{ij} \pm 0,0657$
AE (m)	$\bar{y}_{ij} \pm 0,0524$

Tabela 7. Valores e significâncias ^{a/} das heteroses para produção de grãos (t/ha) em relação à média dos pais (acima da diagonal) e em relação ao pai superior (abaixo da diagonal), observadas nos híbridos intervarietais.

	1	2	3	4	5	6
1	-	1,032**	0,842*	0,410ns	1,007**	0,311ns
2	-0,293ns	-	1,548**	0,816*	1,601**	2,221**
3	0,571ns	0,494ns	-	0,150ns	0,590ns	0,741*
4	0,382ns	-0,481ns	-0,094ns	-	0,194ns	0,474ns
5	0,250ns	1,033*	0,104ns	-0,535ns	-	0,959**
6	-0,234ns	1,441**	0,467ns	-0,044ns	0,747ns	-

^{a/}: Obtidas pela comparação dos valores das heteroses com zero pelo teste t.

ns: não significativo.

* : Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** : Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 8. Valores das heteroses da produção de grãos em porcentagem da média dos pais (acima da diagonal) e em porcentagem do pai superior (abaixo da diagonal), observadas nos híbridos intervarietais.

	1	2	3	4	5	6
1	-	20,41	13,79	6,45	17,90	5,33
2	-4,59	-	32,36	16,24	37,26	49,25
3	8,95	8,46	-	2,46	11,02	13,32
4	5,99	-7,61	-1,49	-	3,47	8,16
5	3,92	21,23	1,78	-8,46	-	18,88
6	-3,67	27,25	8,00	-0,70	14,13	-

Tabela 9. Valores e significâncias ^{a/} das heteroses da altura da planta (m) em relação à média dos pais (acima da diagonal) e em relação ao pai superior (abaixo da diagonal), observados nos híbridos intervarietais.

	1	2	3	4	5	6
1	-	0,026ns	-0,050ns	0,035ns	0,057ns	0,046ns
2	-0,138**	-	0,081*	-0,105*	0,102*	0,083*
3	-0,147**	0,015ns	-	-0,026ns	0,012ns	0,142**
4	-0,022ns	-0,211**	-0,066ns	-	0,013ns	0,054ns
5	-0,134**	0,075ns	-0,081ns	-0,121*	-	0,090*
6	-0,103*	0,068ns	0,090ns	-0,038ns	0,048ns	-

^{a/} : Obtidas pela comparação dos valores das heteroses com zero pelo teste t.

ns : Não significativo.

* : Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** : significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 10. Valores das heteroses da altura da planta (m) em porcentagem da média dos pais (acima da diagonal) e em porcentagem do pai superior (abaixo da diagonal), observadas nos híbridos intervarietais.

	1	2	3	4	5	6
1	-	1,43	-2,67	1,85	3,21	2,56
2	-7,08	-	4,80	-6,05	6,40	5,04
3	-7,55	0,86	-	-1,42	0,72	8,32
4	-1,13	-11,50	-3,60	-	0,74	3,10
5	-6,88	4,63	-4,62	-6,60	-	5,56
6	-5,29	4,12	5,13	-2,07	2,91	-

Tabela 11. Valores e significâncias ^{a/} das heteroses da altura da espiga (m) em relação à média dos pais (acima da diagonal) e em relação ao pai superior (abaixo da diagonal), observados nos híbridos intervarietais.

	1	2	3	4	5	6
1	-	0,053ns	-0,040ns	0,037ns	0,073*	-0,004ns
2	-0,065ns	-	0,096**	-0,100**	0,052ns	0,024ns
3	-0,143**	0,082*	-	0,001ns	0,019ns	0,079*
4	-0,008ns	-0,172**	-0,058ns	-	0,045ns	0,033ns
5	-0,110**	-0,014ns	-0,061ns	-0,093*	-	0,088**
6	-0,144**	0,001ns	0,042ns	-0,063ns	0,045ns	-

^{a/} : Obtidas pela comparação dos valores das heteroses com zero pelo teste t.

ns : Não significativo.

* : Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** : Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 12. Valores das heteroses da altura da espiga (m) em porcentagem da média dos pais (acima da diagonal) e em porcentagem do pai superior (abaixo da diagonal), observadas nos híbridos intervarietais.

	1	2	3	4	5	6
1	-	4,78	-3,55	3,16	7,07	-0,33
2	-5,35	-	9,65	-9,44	5,63	2,51
3	-11,76	8,13	-	0,05	1,99	8,13
4	-0,66	-15,28	-5,15	-	4,55	3,15
5	-9,05	-1,43	-6,05	-8,26	-	9,80
6	-11,84	0,10	4,16	-5,60	4,81	-

Tabela 13. Valores e significâncias dos quadrados médios obtidos nas análises da variância das Tabelas dialélicas para os caracteres: PG: produção de grãos, AP: altura da planta e AE: altura da espiga, segundo a metodologia de GARDNER e EBERHART (1966).

F.V.	G.L.	Quadrados médios		
		PG	AP	AE
Populações	(20)	0,5034**	0,0099**	0,0085**
variedades	5	0,8168**	0,0300**	0,0267**
heterose	(15)	0,3990**	0,0032**	0,0024**
heterose média	1	3,1655**	0,0059**	0,0039**
heterose variedades	5	0,3612**	0,0028*	0,0010ns
heterose específica	9	0,1127ns	0,0031**	0,0030**
Erro médio	110	0,0862	0,0011	0,0007

ns: Não significativo

* : Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** : Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 14. Estimativas dos parâmetros $\hat{v}_j$ (efeito de variedades), $\hat{h}_j$ (heterose de variedades), $\hat{u}$ (média das variedades parentais) e $\bar{h}$ (heterose média), para os caracteres: PG: produção de grãos (t/ha), AP: altura da planta (m) e AE: altura da espiga (m).

$\hat{v}_j$'s	PG	AP	AE	$\hat{h}_j$'s	PG	AP	AE
$\hat{v}_1$	0,974	0,219	0,196	$\hat{h}_1$	-0,174	-0,018	-0,008
$\hat{v}_2$	-1,674	-0,108	-0,038	$\hat{h}_2$	0,730	0,000	-0,007
$\hat{v}_3$	0,433	0,024	-0,010	$\hat{h}_3$	-0,107	-0,007	0,001
$\hat{v}_4$	0,920	0,105	0,106	$\hat{h}_4$	-0,564	-0,054	-0,034
$\hat{v}_5$	-0,538	-0,162	-0,170	$\hat{h}_5$	0,013	0,022	0,031
$\hat{v}_6$	-0,115	-0,078	-0,084	$\hat{h}_6$	0,102	0,057	0,017
$\hat{u}$	5,403	1,729	1,020	$\bar{h}$	0,8596	0,0371	0,030

Tabela 15. Estimativas dos parâmetros $\hat{s}_{ij}$'s (heterose específica ou capacidade específica de combinação), para os caracteres: PG: produção de grãos (t/ha), AP : altura da planta (m) e AE: altura da espiga (m).

$\hat{s}_{ij}$'s	PG	AP	AE	$\hat{s}_{ij}$'s	PG	AP	AE
$\hat{s}_{12}$	-0,384	0,006	0,037	$\hat{s}_{26}$	0,529	-0,012	-0,016
$\hat{s}_{13}$	0,264	-0,062	-0,063	$\hat{s}_{34}$	-0,039	-0,002	0,003
$\hat{s}_{14}$	0,288	0,070	0,049	$\hat{s}_{35}$	-0,176	-0,040	-0,044
$\hat{s}_{15}$	0,308	0,016	0,020	$\hat{s}_{36}$	-0,114	0,054	0,031
$\hat{s}_{16}$	-0,476	-0,030	-0,043	$\hat{s}_{45}$	-0,115	0,007	0,018
$\hat{s}_{23}$	0,065	0,050	0,072	$\hat{s}_{46}$	0,076	0,014	0,019
$\hat{s}_{24}$	-0,209	-0,088	-0,089	$\hat{s}_{56}$	-0,016	-0,026	0,009
$\hat{s}_{25}$	-0,001	0,043	-0,003	-	-	-	-

Tabela 16. Estimativas dos componentes da variância entre as médias das variedades parentais ($\hat{\sigma}_x^2$) e da variância entre as médias dos híbridos intervarietais ($\hat{\sigma}_y^2$) para: PG: produção de grãos, AP: altura da planta e AE: altura da espiga.

Componentes ⁺	PG	AP	AE
$\hat{\sigma}_v^2$	1,017502	0,020711	0,017430
$\hat{\sigma}_h^2$	0,180659	0,001404	0,000504
$\hat{\sigma}_s^2$	0,072431	0,001972	0,001931
$C\hat{o}v_{vh}$	-0,395086	-0,003558	-0,002323

⁺ onde:

$\hat{\sigma}_v^2$: estimativa da variância entre os efeitos fixos de variedades;

$\hat{\sigma}_h^2$: estimativa da variância entre os efeitos fixos de heterose de variedades;

$\hat{\sigma}_s^2$: estimativa da variância entre os efeitos fixos de heterose específica;

$C\hat{o}v_{vh}$: estimativa da covariância entre os efeitos fixos de variedades e heterose de variedades.

Tabela 17. Estimativas das variâncias dos dados médios das variedades parentais ($\hat{\sigma}_X^2$), dos dados médios dos respectivos híbridos ($\hat{\sigma}_Y^2$), das covariâncias entre estas duas variáveis ($\hat{Cov}_{XY}$) e dos coeficientes de correlação entre as médias das variedades e seus respectivos híbridos (r), para PG: produção de grãos, AP: altura da planta e AE: altura da espiga.

Estimativas de:	PG	AP	AE
$\hat{\sigma}_X^2$	0,363394	0,007397	0,006225
$\hat{\sigma}_Y^2$	0,103632	0,005587	0,004868
$\hat{Cov}_{XY}$	0,081189	0,004855	0,004566
r^+	0,418ns	0,755**	0,829**

$$r^+ = \hat{Cov}_{XY} / \hat{\sigma}_X \hat{\sigma}_Y$$

ns: Não significativo

** : Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 18. Amplitude de variação e desvio padrão das médias dos 57 possíveis compostos entre as seis variedades braquíticas. Produções estimadas do composto amplo, do composto mais promissor e, produções observadas das testemunhas.

Especificações	Produção de grãos (t/ha)
Amplitude	5,097 a 6,55
Desvio padrão	0,273
Composto mais promissor (1,4)	6,555
Composto amplo (1, 2, 3, 4, 5 e 6)	6,119
Diferença (a)	-0,436
Testemunhas: AG-305-B	8,232
AG-7811	7,660

(a) Diferença entre o composto amplo e o composto mais promissor.

Tabela 19. Principais especificações referentes as médias preditas dos 4 compostos envolvendo as variedades dentadas braquíticas e das médias preditas dos 4 compostos envolvendo as variedades flints braquíticas.

Especificações	Produção de grãos (t/ha)	
	Dentado	Flint
Amplitude	5,988 a 6,555	5,097 a 5,645
Desvio padrão	0,2576	0,2615
Compostos mais promissores (a)	6,555	5,645
Compostos amplos (b)	6,262	5,641
Diferença (c)	-0,293	-0,004

a. Tipo Dentado: envolveria as variedades 1 e 4; tipo Flint: envolveria as variedades 3 e 5.

b. Composto Dentado envolveria as três variedades dentadas e o composto Flint envolveria as três variedades flints.

c. Diferença entre o Composto amplo e o Composto mais promissor.

Tabela 20. Principais especificações referentes a predição de todos os cruzamentos possíveis entre os compostos dentados e flints preditos.

Especificações	Produção de grãos (t/ha)
Amplitude	6,086 a 6,517
Desvio padrão	0,1414
Cruzamento mais promissor (a)	6,517
Cruzamento entre os compostos amplos	6,394
Diferença (b)	-0,123

a. Cruzamento entre o composto dentado que envolveria as variedades 1 e 6 e o composto flint que envolveria as variedades 2 e 3.

b. Diferença entre o cruzamento mais promissor e o cruzamento entre os compostos amplos.

$$\bar{X} = 5,403 \text{ t/ha}$$

$$b_{Y/X} = 0,2234 \text{ t/ha}$$

$$\bar{Y} = 6,263 \text{ t/ha}$$

$$sb = 0,1301 \text{ t/ha}$$

$$r = 0,418 \text{ ns}$$

Figura 1. Regressão linear entre médias de produção de grãos (t/ha) dos híbridos intervarietais e das respectivas variedades parentais.

Figura 2. Regressão linear entre médias de altura da planta (m) dos híbridos intervarietais e das respectivas variedades parentais.

Figura 3. Regressão linear entre médias de altura da espiga
 (m) dos híbridos intervarietais e das respectivas
 variedades parentais.