**EFEITOS GÊNICOS E OSCILAÇÃO GENÉTICA ASSOCIADOS
À SELEÇÃO RECORRENTE INTRAPOPULACIONAL NA
POPULAÇÃO DE MILHO (*Zea mays* L.) SA-3**

GALO MARIO CAVIEDES CEPEDA
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. CLÁUDIO LOPES DE SOUZA JÚNIOR

Tese apresentada à Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz" da
Universidade de São Paulo, para obtenção
do título de Doutor em Agronomia. Área de
Concentração: Genética e Melhoramento de
Plantas

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Junho - 1998

ERRATA

TÉCNICA			TEXTO		
Pág.	Onde se lê	Leia-se	Pág.	Onde se lê	Leia-se
41	F_1 autofecundada = AOI+DOI+(J+J')2ALI +(J+J')2DLI+(JxJ')2DQI	F_1 autofecundada = AOI+DOI+(J+J')2ALI +(J+J')DLI+(JxJ')DQI	xviii	where as	whereas
45	26,4% e 50,7%	36,0% e 102,7%	9	observando-ses	observando-se
48	24,7%	32,7%	14	os	nos
52	77,0%	7,7%	15	esses	esse
57	11%	1,1%	17	das	duas
61	-88,5%	-0,88	24	Still	Stiff
64	(-0,09**),(-0,29**), (-0,06**)	(-0,09%**),(-0,29%**), (-0,06**%)	25	Low-Far	Low-Ear
64	2,60%	2,60	28	ma	uma
72	-0,48 x 10 ⁻²	-0,48 x 10 ⁻¹	30	maiores	menores
74	SA(tabelas 21, 24 e 27)	SA(tabelas 10, 13 e 16)	33	(MIM)	(MIM) por 16 ciclos
81	ALI + DLI	ALI e DLI	34	seguindo	segundo
82	AP e AE	AP e EP	40	j ciclo	j'ésimo ciclo
87/8/ 90/1/2	C.V.(%)	C.V.E.(%)	53	dominânica	dominância
94/7/100/ 3/6/9/12/ 15/18	R(%)	R ² (%)	56	processos	progressos
			82	Estas	As
			144	print beta print S ₂	print beta; print S ₂ ;

HOMENAGEM

À memória de
meu pai Homero

À minha esposa Alexandra
e minha filha Estefania,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Cláudio Lopes de Souza Junior, pela valiosa orientação, amizade e sobretudo pela confiança depositada no decorrer do curso.

Aos Drs. Richard Wedderburn, Diretor Associado do Programa de Milho e Shivaji Pandey e Carlos De Leon, Coordenadores do Programa de Milho para América do Sul, do CIMMYT, pelo permanente apoio e estímulo prestados.

Aos Professores do Departamento de Genética da ESALQ/USP, pelos estímulos e ensinamentos prestados no decorrer do curso.

Ao Dr. Valdemar Napolini Filho e à empresa Agrocere Sementes S.A. pela condução do experimento em Santa Cruz das Palmeiras.

Ao Jornalista Marcos Antonio Vanceto e colega Leonardo Novaes Rossi, pela revisão do Português.

Aos Colegas do Curso de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas da ESALQ/USP, pela convivência e troca de experiências.

À Dra. Doris Gomes e Eng^o Cristian Carranza, pelos auxílios no desenvolvimento dos programas e análises estatísticas usadas neste trabalho.

Ao Colega Rhainer Gleico Cardoso pelo auxílio na elaboração dos arquivos de dados e programas de computação.

Aos funcionários do Departamento de Genética da ESALQ/USP, em especial aos técnicos Antônio Juscelino Desidério e Ariberto Soares de Oliveira pela colaboração prestada na execução dos trabalhos de campo.

Às funcionárias da Biblioteca do Departamento de Genética da ESALQ/USP, Silvana Marchizelli Gregório e Aparecida Elizabeth Santos da Silva pela atenção e ajuda no decorrer do curso.

Às secretárias Leila de Oliveira e Carmem M.S.F. Pilotto pelos inúmeros auxílios.

À Clotilde Maria Batochio Cunha, pela amizade e paciência demonstrada na digitação dos diferentes trabalhos e tese na ESALQ/USP.

Ao Programa de Milho do Centro Internacional de Melhoramento de Milho e Trigo (CIMMYT) pela bolsa concedida para a realização da primeira fase de meus estudos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela bolsa concedida na segunda fase e final de meus estudos.

Ao Departamento de Genética da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (ESALQ/USP), pela oportunidade de realizar meus estudos.

Ao Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) do Equador, pelo apoio e concessão da comissão de serviços para realizar os estudos no Brasil.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	vii
RESUMO.....	xiv
SUMMARY.....	xvii
 1. INTRODUÇÃO.....	 1
 2. REVISÃO DE LITERATURA.....	 4
2.1. Efeitos do alumínio, outros elementos minerais e o pH, sobre o milho.....	4
2.2. Variabilidade genética para tolerância à toxidez de alumínio em milho.....	8
2.3. Herança da tolerância à toxidez de alumínio em milho.....	16
2.4. Seleção recorrente em milho.....	19
2.5. Resposta à seleção recorrente em milho.....	23
2.6. Cruzamentos dialélicos em milho.....	27
 3. MATERIAL E MÉTODOS.....	 33
3.1. Material genético.....	33
3.1.1. Descrição e origem da população base.....	33
3.1.2. Obtenção do material genético.....	33
3.2. Métodos.....	34
3.2.1. Execução experimental.....	34
3.2.2. Análises estatístico-genéticas.....	37
3.2.2.1. Análises da variância.....	37
3.2.2.1.1. Análises da variância individuais.....	37
3.2.2.1.2. Análise da variância conjunta.....	38
3.2.2.2. Estimativas dos parâmetros genéticos.....	39
3.2.2.3. Aplicação do teste "t".....	43

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4.1. Análises da variância.....	45
4.1.1. Produção de grãos (PG).....	45
4.1.2. Dias para florescimento feminino (FF).....	46
4.1.3. Altura da planta e da espiga (AP, AE).....	48
4.1.4. Posição relativa da espiga (PRE).....	50
4.1.5. Número de espigas por planta (EP).....	51
4.2. Respostas à seleção.....	52
4.2.1. Produção de grãos (PG).....	52
4.2.2. Dias para florescimento feminino (FF).....	60
4.2.3. Altura da planta e da espiga (AP e AE).....	66
4.2.4. Posição relativa da espiga (PRE).....	73
4.2.5. Número de espigas por planta (EP).....	78
4.3. Considerações Finais.....	82
5. CONCLUSÕES.....	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	120
APÊNDICES.....	140

LISTA DE TABELAS

1	Esquema da análise conjunta de variância para delineamento em látice com as esperanças dos quadrados médios E(QM).....	39
2	Quadrados médios das análises conjuntas de variância de produção de grãos (PG), florescimento feminino (FF) e altura da planta (AP) na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos ácidos 1995-1997.....	87
3	Quadrados médios das análises conjuntas de variância de altura da espiga (AE), número de espigas por planta (EP) e posição relativa da espiga (PRE) na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos ácidos 1995-1997.....	88
4	Quadrados médios das análises conjuntas de variância de produção de grãos (PG), florescimento feminino (FF) e altura da planta (AP) na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis. 1995 - 1997.....	89
5	Quadrados médios das análises conjuntas de variância de altura da espiga (AE), número de espigas por planta (EP) e posição relativa da espiga (PRE) na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis 1995-1997.....	90
6	Quadrados médios das análises conjuntas de variância de produção de grãos (PG), florescimento feminino (FF) e altura da planta (AP) na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis e ácidos 1995-1997.....	91

7	Quadrados médios das análises conjuntas de variância de altura da espiga (AE), número de espigas por planta (EP) e posição relativa da espiga (PRE) na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis e ácidos 1995-1997.....	92
8	Estimativas dos efeitos aditivos (AOI) e de dominância (DOI) no ciclo 0 considerando dezesseis ciclos de seleção de meios irmãos modificado (MIM) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos ácidos 1995-1997.....	93
9	Estimativas dos efeitos aditivos (ALI) e de dominância (DLI), da resposta à seleção, e da oscilação genética (DQI) considerando dezesseis ciclos de seleção de meios irmãos modificado (MIM) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos ácidos 1995-1997.....	94
10	Estimativas de parâmetros genéticos no ciclo 0 (AOI+2DOI), da resposta à seleção (2ALI+2DLI) e da oscilação genética (2DQI) considerando dezesseis ciclos de seleção de meios irmãos modificado (MIM) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos ácidos 1995-1997.....	95
11	Estimativas dos efeitos aditivos (AOI) e de dominância (DOI) no ciclo 0 considerando quatro ciclos de seleção de irmãos germanos (IG) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos ácidos 1995-1997.....	96

- 12 Estimativas dos efeitos aditivos (ALI) e de dominância (DLI), da resposta à seleção e da oscilação genética (DQI) considerando quatro ciclos de seleção de irmãos germanos (IG) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos ácidos 1995-1997..... 97
- 13 Estimativas de parâmetros genéticos no ciclo 0 (AOI+2DOI), da resposta à seleção (2ALI+2DLI) e da oscilação genética (2DQI) considerando quatro ciclos de seleção de irmãos germanos (IG) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos ácidos 1995-1997..... 98
- 14 Estimativas dos efeitos aditivos (AOI) e de dominância (DOI) no ciclo 0 considerando vinte ciclos de seleção combinada de meios irmãos modificado e irmãos germanos (MIM + IG) de seis caracteres agronômicos na população SA3 avaliada em ambientes de solos ácidos 1995-1997..... 99
- 15 Estimativas dos efeitos aditivos (ALI) e de dominância (DLI) da resposta à seleção e da oscilação genética (DQI) considerando vinte ciclos de seleção combinada de meios irmãos modificado e irmãos germanos (MIM + IG) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos ácidos 1995-1997..... 100
- 16 Estimativas de parâmetros genéticos no ciclo 0 (AOI+2DOI), da resposta à seleção (2ALI+2DLI) e da oscilação genética (2DQI) considerando vinte ciclos de seleção combinada de meios irmãos modificado e irmãos germanos (MIM + IG) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos ácidos 1995-1997..... 101

- 17 Estimativas dos efeitos aditivos (AOI) e de dominância (DOI) no ciclo 0 considerando dezesseis ciclos de seleção de meios irmãos modificado (MIM) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis 1995-1997..... 102
- 18 Estimativas dos efeitos aditivos (ALI) e de dominância (DLI), da resposta à seleção e da oscilação genética (DQI) considerando dezesseis ciclos de seleção de meios irmãos modificado (MIM) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis 1995-1997..... 103
- 19 Estimativas de parâmetros genéticos no ciclo 0 (AOI+2DOI), da resposta à seleção (2ALI+2DLI) e da oscilação genética (2DQI) considerando dezesseis ciclos de seleção de meios irmãos modificado (MIM) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis 1995-1997..... 104
- 20 Estimativas dos efeitos aditivos (AOI) e de dominância (DOI) no ciclo 0 considerando quatro ciclos de seleção de irmãos germanos (IG) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis 1995-1997..... 105
- 21 Estimativas dos efeitos aditivos (ALI) e de dominância (DLI) da resposta à seleção e da oscilação genética (DQI) considerando quatro ciclos de seleção de irmãos germanos (IG) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis 1995-1997..... 106

- 22 Estimativas de parâmetros genéticos no ciclo 0 (AOI+2DOI) da resposta à seleção (2ALI+2DLI) e da oscilação genética (2DQI) considerando quatro ciclos de seleção de irmãos germanos (IG) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis 1995-1997..... 107
- 23 Estimativas dos efeitos aditivos (AOI) e de dominância (DOI) no ciclo 0 considerando vinte ciclos de seleção combinada de meios irmãos modificado e irmãos germanos (MIM + IG) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis 1995-1997..... 108
- 24 Estimativas dos efeitos aditivos (ALI) e de dominância (DLI), da resposta à seleção e da oscilação genética (DQI) considerando vinte ciclos de seleção combinada de meios irmãos modificado e irmãos germanos (MIM + IG) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis 1995-1997..... 109
- 25 Estimativas de parâmetros genéticos no ciclo 0 (AOI+2DOI), da resposta à seleção (2ALI+2DLI) e da oscilação genética (2DQI) considerando vinte ciclos de seleção combinada de meios irmãos modificado e irmãos germanos (MIM + IG) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis 1995-1997..... 110
- 26 Estimativas dos efeitos aditivos (AOI) e de dominância (DOI) no ciclo 0 considerando dezesseis ciclos de seleção de meios irmãos modificado (MIM) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis e ácidos 1995-1997..... 111

- 27 Estimativas dos efeitos aditivos (ALI) e de dominância (DLI), da resposta à seleção, e da oscilação genética (DQI), considerando dezesseis ciclos de seleção de meios irmãos modificado (MIM) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis e ácidos 1995-1997..... 112
- 28 Estimativas de parâmetros genéticos no ciclo 0 (AOI+2DOI), da resposta à seleção (2ALI+2DLI) e da oscilação genética (2DQI) considerando dezesseis ciclos de seleção de meios irmãos modificado (MIM) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis e ácidos 1995-1997..... 113
- 29 Estimativa dos efeitos aditivos (AOI) e de dominância (DOI) no ciclo 0 considerando quatro ciclos de seleção de irmãos germanos (IG) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis e ácidos 1995-1997..... 114
- 30 Estimativas dos efeitos aditivos (ALI) e de dominância (DLI), da resposta à seleção e da oscilação genética (DQI) considerando quatro ciclos de seleção de irmãos germanos (IG) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis e ácidos 1995-1997..... 115
- 31 Estimativas de parâmetros genéticos no ciclo 0 (AOI+2DOI), da resposta à seleção (2ALI+2DLI) e da oscilação genética (2DQI) considerando quatro ciclos de seleção de irmãos germanos (IG) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis e ácidos 1995-1997..... 116

- 32 Estimativas dos efeitos aditivos (AOI) e de dominância (DOI) no ciclo 0 considerando vinte ciclos de seleção combinada de meios irmãos modificado e irmãos germanos (MIM + IG) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis e ácidos 1995-1997..... 117
- 33 Estimativas dos efeitos aditivos (ALI) e de dominância (DLI), da resposta à seleção e da oscilação genética (DQI) considerando vinte ciclos de seleção combinada de meios irmãos modificado e irmãos germanos (MIM + IG) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis e ácidos 1995-1997..... 118
- 34 Estimativas de parâmetros genéticos no ciclo 0 (AOI+2DOI), da resposta à seleção (2ALI+2DLI) e da oscilação genética (2DQI) considerando vinte ciclos de seleção combinada de meios irmãos modificado e irmãos germanos (MIM + IG) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis e ácidos 1995-1997..... 119

**EFEITOS GÊNICOS E OSCILAÇÃO GENÉTICA ASSOCIADOS
À SELEÇÃO RECORRENTE INTRAPOPULACIONAL NA
POPULAÇÃO DE MILHO (*Zea mays* L.) SA3**

Autor: Galo Mario Caviedes Cepeda

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Lopes de Souza Júnior

RESUMO

A população de milho SA3 foi submetida a vinte ciclos de seleção recorrente intrapopulacional, sendo dezesseis ciclos de meios irmãos modificada (MIM) seguido por quatro ciclos de irmãos germanos (IG). Para se investigar os efeitos da seleção recorrente e da depressão por endogamia devida à oscilação genética sobre os vinte ciclos de seleção nesta população, foi utilizada uma amostra dos ciclos 2, 5, 8, 11, 14, 16, 18 e 20, para obter estimativas de médias, de efeitos de homozigose e heterozigose e da oscilação genética utilizando o modelo genético proposto por Smith, 1983). Avaliaram-se 100 tratamentos incluindo-se oito ciclos *per-se*, oito autofecundados, vinte e oito F1's entre ciclos, vinte e oito F1's entre ciclos autofecundados e vinte e oito F1's recombinados. Os experimentos foram instalados em látices 10 x 10 com três repetições por ambiente, em oito ambientes no Brasil e na Colômbia; cinco destes com solos ácidos (SA) e três com solos férteis (SF). Foram

avaliados os caracteres produção de grãos (PG), dias para o florescimento feminino (FF), altura da planta (AP), altura da espiga (AE), posição relativa da espiga (PRE) e número de espigas por planta (EP).

As magnitudes das estimativas das respostas à seleção corrigida para o caráter produção de grãos (PG) evidenciaram uma eficiência relativamente baixa do processo de seleção recorrente intrapopulacional. Essas respostas foram bastante superiores em ambientes com solos ácidos (SA) quando comparadas àquelas obtidas em solos férteis (SF), evidenciando que a seleção em solos ácidos não foi efetiva para o melhoramento desta população em solos férteis.

As magnitudes das respostas à seleção corrigida para os efeitos da oscilação genética $2(ALI + DLI)$ para os caracteres dias para o florescimento feminino (FF) e número de espigas por planta (EP), mostraram que o processo de seleção recorrente intrapopulacional foi eficiente em melhorar a média dos dois caracteres na população SA3 nos ambientes com solos ácidos (SA) e solos férteis (SF) e, também, na média dos ambientes (SF + SA). Entretanto, não foi efetiva em melhorar a média dos caracteres altura da planta (AP), altura da espiga (AE) e posição relativa da espiga (PRE) através desses ambientes.

As estimativas da depressão por endogamia devidas à oscilação genética (DQI), mostraram diferenças em magnitude e sinal para os diferentes caracteres e processos seletivos, sendo estes efeitos significativos apenas para dias para o florescimento feminino (FF). De maneira geral, as magnitudes destas estimativas

indicaram que os efeitos da oscilação genética não limitaram o melhoramento dos diferentes caracteres na população SA3, conseqüentemente, o tamanho efetivo populacional mantido através dos diferentes ciclos e processos seletivos foi adequado.

Verificou-se, também, que a população SA3 apresentou um bom padrão de produtividade em ambientes com solos ácidos (SA), o que evidencia que pode ser utilizada como fonte de germoplasma básico para desenvolver cultivares melhorados tanto em programas de seleção recorrente como em programas visando desenvolver híbridos de linhagens

**GENETIC EFFECTS AND GENETIC DRIFT ASSOCIATED TO
INTRAPOPULATION RECURRENT SELECTION ON SA3
MAIZE (*Zea mays* L.) POPULATION**

Author: GALO MARIO CAVIEDES CEPEDA

Adviser: Prof. Dr. CLÁUDIO LOPES DE SOUZA JÚNIOR

SUMMARY:

The SA3 maize population has been improved by twenty cycles of intrapopulation recurrent selection, with sixteen cycles of modified half-sib progenies (MHS), followed by four cycles of full-sib progenies (FS). To assess the genetic effects associated with this intrapopulation selection program, a sample of the cycles 2, 5, 8, 11, 14, 16, 18 and 20 was used to estimate the response to selection and the contribution of the homozygous and heterozygous loci, as well as the genetic drift, to the response to selection. The Smith's (1983) model was used for those purposes.

The following entries were used: eight cycles *per se* and after one generation of selfing, twenty eight crosses (F_1 's) between cycles, and these crosses after one generation of selfing and after one generation of intermating, with a total of 100 entries.

Experimental 10 x 10 lattice design with three replications was used in eight environments in Brazil and Colombia, with five of them in acid soils (AS) and the remainder in fertile soils (FS). The following traits were evaluated: grain yield (PG), days to silking (FF), plant height (AP) and ear height (AE), ear placement (PRE) and number of ears per plant (EP).

The low response to selection corrected for the genetic drift effects $2(ALI + DLI)$ for grain yield showed that the process utilized for the improvement of the SA3 population was not effective; although the estimates of responses to selection under acid soils were higher than under fertile soils. Thus, the selection under acid soils was also not effective in improving the population to fertile soil conditions.

For days to silking and numbers of ears per plant the response to selection corrected for the genetic drift effects showed that the method utilized was effective to improve both traits under both soil conditions. However, the process was not effective to improve the other evaluated traits regardless of the soil condition.

The effect of the genetic drift (DQI) showed significance only for days to silking in some instances, where as for the other traits DQI did not show significance in any situation, including type of soil or breeding process. Then, the effective size of the population maintained during the selection process was appropriated to avoid the inbreeding depression caused by genetic drift.

Although the process utilized to improve the SA3 population have showed low efficiency, this population have a good performance in acid soils condition;

then the SA3 population could be considered as a source of basic germoplasm to develop improved cultivars by using a different method of recurrent selection or in hybrid breeding programs.

1. INTRODUÇÃO

Considera-se que o milho é plantado em aproximadamente oito milhões de hectares (Mha) de solos ácidos: 3 Mha na América do Sul; 2,5 Mha na Ásia; 1,5 Mha na África e cerca de 1 Mha na América Central, México e Caribe. A área sob vegetação de cerrado no Brasil ocupa uma área de 204 Mha, o qual representa 22% do território brasileiro e responde hoje por 25% da produção de milho, soja e arroz (CIMMYT, 1996; Parentoni et al., 1996a).

O cultivo de milho nos solos ácidos apresenta sérios problemas devido aos efeitos da alta concentração de alumínio. Este alumínio é tóxico para as plantas e afeta seriamente o desenvolvimento das raízes, resultando em uma baixa nutrição e extração de umidade. O desenvolvimento de genótipos mais adaptados a esse tipo de solo, além de práticas de correção parcial de solo, pode oferecer uma solução satisfatória e econômica para o problema (Magnavaca et al., 1988).

A presença de variabilidade genética para a tolerância à toxidez de alumínio e a herança desse caráter já foi reportada por vários pesquisadores (Magnavaca, 1982; Lima et al., 1992; Duque-Vargas et al., 1994; Parentoni et al., 1995; Borrero et al., 1995, entre outros). Estas pesquisas indicam que a tolerância aos solos ácidos pode ser incrementada com seleção recorrente baseada em avaliações sobre vários ambientes com solos ácidos, visando melhorar a produção de grãos e outras características agronômicas.

Os diversos métodos de seleção recorrente foram desenvolvidos para melhorar sistematicamente as fontes de germoplasma a serem usadas em programas de melhoramento (Hull, 1945; Comstock et al., 1949). Este processo tem como objetivo aumentar gradualmente a frequência dos alelos favoráveis através de ciclos sucessivos de seleção e recombinação dos genótipos superiores, mantendo a variabilidade genética da população. Diversos métodos de seleção recorrente são utilizados de acordo com o número de populações incluídas, tipos de progênies avaliadas e recombinadas, tamanhos efetivos da população e caracteres sob seleção (Souza Junior, 1989; Hallauer, 1990).

O progresso por seleção é dependente da magnitude da variância genética aditiva da população sob seleção. A seleção e a oscilação genética são dois processos que podem alterar as frequências gênicas e conseqüentemente, alterar a magnitude da variância genética de uma população sob seleção recorrente (Helms et al., 1989).

Progressos obtidos por seleção recorrente intra e interpopulacional sob condições de solos férteis e em diferentes populações de milho, têm sido reportados por vários pesquisadores (Hallauer, 1984; Johnson et al., 1986; Moll, 1991; Souza Júnior, 1993; Beltran & Hallauer, 1996). Por outro lado, programas de seleção recorrente incluindo avaliações de progênies e estimativas de progresso por seleção em solos ácidos são escassos (Resende, 1989; Granados et al., 1993; Pandey et al., 1995).

Esquemas e análises de cruzamentos dialélicos têm sido desenvolvidos para diferentes tipos de genitores que variam desde linhagens até variedades de ampla base genética. Todos os delineamentos genéticos requerem desenvolvimento de progênies e sua avaliação sobre ambientes para prover estimativas de parâmetros genéticos, predizer o progresso esperado com os diversos processos de seleção e estudar

sua eficiência relativa (Hallauer & Miranda Filho, 1981). O modelo geral para a análise de cruzamentos dialélicos entre variedades de milho e populações relacionadas, proposto por Gardner & Eberhart (1966), foi modificado por Hammond & Gardner (1974) para a avaliação de ciclos de seleção; esse modelo permitiu a partição do ganho com seleção devido aos efeitos dos locos em homozigose e dos efeitos dos locos em heterozigose. Em trabalhos posteriores, Smith (1979a,b, 1983) apresentou uma modificação deste modelo, no qual incluiu os efeitos da oscilação genética nas populações selecionadas. Baseando-se nesses antecedentes e considerando-se a importância de se conhecer os efeitos dos diferentes parâmetros genéticos em populações sob seleção recorrente em solos ácidos, os objetivos desta pesquisa são:

- a) Utilização do modelo proposto por Smith para estimar a resposta à seleção em produção de grãos e outras características agronômicas na população de milho SA3, submetida a 20 ciclos de seleção recorrente em solos ácidos.
- b) A partição da resposta à seleção nos efeitos dos locos em homozigose, heterozigose e depressão por endogamia causada pela oscilação genética.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Efeitos do alumínio, outros elementos minerais e o pH, sobre o milho

Foy & Brown (1964), demonstraram que uma das principais causas do desenvolvimento inadequado do sistema radicular das plantas é a toxidez causada pelo alumínio. Na presença desse elemento, as raízes ficam pouco profundas e sem ramificação necessária, para ter maior resistência à seca e maior capacidade de utilização de nutrientes do solo. Do mesmo modo, Clark (1977) considera que um dos mais distinguíveis sintomas à toxidez de alumínio é a acentuada redução no crescimento das raízes das plantas de milho.

Estudos em solos ácidos realizados por Pavan (1983), indicaram que o alumínio não trocável e a matéria orgânica dos solos foram altamente correlacionadas e que, a neutralização do alumínio pela calagem foi dependente do teor de matéria orgânica dos solos, sendo o alumínio trocável neutralizado rapidamente e, o alumínio não trocável, lentamente. Também Figueredo & Almeida (1991), estudando vinte e seis solos ácidos concluíram que a matéria orgânica foi a propriedade que apresentou a melhor correlação com as diversas formas de alumínio no solo; a calagem promoveu a neutralização rápida do alumínio trocável e as formas não trocáveis tiveram decréscimo mais lento e não foram eliminadas nos níveis mais altos de calagem.

Técnicas de solução nutritiva apresentam uma visível e fácil mensuração dos efeitos da toxidez de alumínio em milho e outras culturas. Assim, Furlani & Hanna (1984) detectaram diferenças de desempenho em cultivares de arroz

e milho para tolerância ao alumínio mensurada através do crescimento da raiz seminal primária e secundária. Os resultados obtidos mostraram que a técnica da solução nutritiva pode ser empregada para diferenciar cultivares de arroz e milho na tolerância ao excesso de alumínio.

Resultados experimentais de uma série de ensaios realizados por Magnavaca (1982) utilizando esta técnica, indicaram que a RSRL (comprimento final da raiz seminal dividida para o comprimento inicial da raiz seminal) foi o melhor parâmetro para avaliar quantitativamente genótipos de milho tolerantes ao alumínio. Assim, Pandey & Gardner (1992), consideram que os parâmetros comprimento relativo da raiz seminal e a proporção dos comprimentos inicial e final da raiz seminal foram os melhores indicadores da tolerância ao alumínio entre linhagens de milho, particularmente em altas concentrações de alumínio.

Um último estudo realizado por Pinto et al. (1996) a respeito da influência do alumínio sobre o crescimento e composição mineral em plântulas de cultivares de milho tolerante e sensível, indicou, que as maiores reduções da elongação radicular e produção de biomassa foram constatadas na cultivar sensível. Com o aumento da atividade de alumínio em solução, houve redução das concentrações de Ca, Mg, K e Mn na parte aérea e raízes e de Fe e Zn na parte aérea.

A tolerância ao alumínio das diferentes espécies vegetais está diretamente relacionada com sua habilidade para absorver e utilizar fósforo na presença de excesso de alumínio. Experimentos realizados por Foy & Brown (1964) mostraram que o dano causado pelo alumínio foi associado com uma diminuição na solubilidade do fósforo em soluções nutritivas e com uma redução da absorção do fósforo pelas plantas.

Clark & Brown (1974) observaram diferenças genotípicas com relação à taxa de absorção de fósforo em linhagens de milho cultivadas em solução nutritiva com baixo teor de fósforo em presença e ausência de alumínio. Entretanto, Silva (1979) ressalta que o alumínio no solo se combina com nutrientes como fósforo (P), potássio (K), nitrogênio (N), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), provocando precipitações destes ou no mínimo, causando uma diminuição na solubilidade desses elementos, induzindo assim, uma redução na disponibilidade dos referidos nutrientes.

Linhagens e híbridos simples de milho foram avaliados quanto à tolerância a toxidez de alumínio em solução nutritiva e produção de espigas em dois níveis de saturação de alumínio (0 e 36%) e dois níveis de fósforo (5 e 10 ppm). As linhagens que mostraram maiores valores de capacidade geral de combinação em solo ácido também mostraram alta eficiência na utilização de fósforo, mas em geral, tiveram baixos valores de comprimento relativo de raiz seminal em solução nutritiva. Estes resultados sugerem que, em solos com níveis médios de acidez e boa disponibilidade de água, a eficiência de utilização de fósforo pode ser uma vantagem adaptativa mais importante que a tolerância à toxidez de alumínio (Parentoni et al., 1996b).

Cátions tais como cálcio e magnésio podem proteger as raízes dos efeitos tóxicos do alumínio. Em trabalhos realizados por Rhue & Grogan (1977), verificou-se que acréscimos na concentração de cálcio decresceram a severidade da toxidez do alumínio nas raízes de nove linhagens de milho, embora existissem significativas diferenças entre linhagens na habilidade de suas raízes para crescer sobre diferentes níveis de cálcio. Com iguais concentrações, o magnésio teve similar comportamento que o cálcio em proteger as raízes do milho do alumínio.

O crescimento das plantas e os conteúdos e concentrações de P, K, Ca, Mg, Mn, Zn, Fe e Cu, foram determinados em linhagens tolerantes e sensíveis de milho com vários níveis de alumínio; as concentrações e conteúdos de magnésio tiveram um decréscimo maior que de outros elementos em todas as linhagens com a adição de Al. Portanto, o Mg teve um pronunciado efeito sobre o crescimento das raízes e pode ser um importante agente responsável na sensibilidade das plantas ao Al (Clark, 1977).

O pH do solo tem uma grande influência no desenvolvimento das plantas de milho, por isso alguns pesquisadores têm realizado vários trabalhos para determinar este efeito. Assim Lutz et al. (1971) avaliando linhagens e híbridos de milho sob três níveis de pH em solo ácido verificaram que a média do crescimento das plantas e o peso médio da matéria seca foram significativamente incrementados com o acréscimo no nível de pH. Entretanto, Rhue & Grogan (1977) ressaltaram que um pH entre 4,5 e 5,5 teve pequenos efeitos sobre a severidade da toxidez de alumínio nas raízes das plantas em linhagens de milho. Em trabalho posterior, Magalhães & Silva (1987) consideraram que a toxicidade do alumínio é particularmente severa em condições de solo com pH abaixo de 5,0, podendo ocorrer em valores de até 5,5. A correção da toxidez do alumínio pode ser feita com aplicação de calcário no solo, elevando-se o pH a 6,0 ou mais, quando o alumínio é precipitado.

Através da calagem procura-se corrigir o pH do solo, levando-o para um valor onde o excesso de alumínio e de manganês seja eliminado e que o solo tenha uma saturação adequada de cálcio e de magnésio trocáveis. Com isso, evita-se a toxidez dos dois primeiros elementos, passando os dois últimos a serem oferecidos como nutrientes, conseguindo-se uma reação favorável para a disponibilidade de nutrientes e, para a vida microbiana, as condições do terreno são melhoradas (Malavolta & Pires, 1987).

A correção do solo visando reduzir o teor de alumínio na camada superficial, condiciona a maior concentração do sistema radicular nessa camada, tornando as plantas mais sensíveis aos veranicos freqüentes, além de o sistema radicular explorar um menor volume de solo. Portanto, a conjugação de práticas de correção parcial do solo com a adaptação de plantas mais tolerantes parece oferecer uma solução mais satisfatória e econômica (Bahia Filho et al., 1978; Magnavaca et al., 1988; Pandey & Gardner, 1992). A resposta a solos ácidos de dois materiais genéticos de milho e sua eficiência a dois níveis de calagem (0 e 100%) foram avaliados por Souza et al. (1996), que reportaram que a calagem proporcionou melhor desenvolvimento das plantas de milho com correspondente aumento na produtividade de grãos; nas condições experimentais, os parâmetros altura da planta, área foliar e matéria seca da parte aérea foram os melhores indicadores da sensibilidade dos materiais genéticos de milho a solos ácidos durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura.

2.2. Variabilidade genética para tolerância à toxidez de alumínio em milho

Diferenças genéticas para tolerância ao alumínio têm sido demonstradas por vários pesquisadores. Assim, Bahia Filho et al. (1978) avaliaram em condições de elevada acidez, 363 linhagens de milho de diversas origens, 175 populações não melhoradas e 20 melhoradas de diversas origens. Os resultados obtidos detectaram a existência de variabilidade genética para as condições de avaliação, principalmente a altos valores de saturação de alumínio. Na avaliação de populações, tendo em vista as diferenças verificadas entre populações, é possível que, através de seleção recorrente nas melhores obtenha-se material adaptado às condições propostas. Onze híbridos duplos de milho foram avaliados visando sua resposta a três níveis de calcário e quatro de fósforo; obtiveram-se dados mostrando a existência de híbridos com tolerância ao

alumínio e maior eficiência na utilização de fósforo. Sugere-se que este comportamento esteja relacionado com o sistema radicular nos aspectos de densidade e finura de raízes (Bahia Filho et al., 1979).

Bernardi et al. (1981) avaliaram progênies intra e interpopulacionais de milho (Piranão VD-2 e Piranão VF-1) quanto à tolerância ao alumínio. A seleção foi feita em plantas jovens comparando-se o desenvolvimento das plantas nas concentrações de 0 e 75 ppm de Al; a heterose deste cruzamento intervarietal calculada em relação à média dos parentais foi de 53% para comprimento de raiz seminal (CRR) e de 25% para comprimento relativo da parte aérea (CRP), tais heteroses foram de magnitudes relativamente altas, especialmente para CRR, indicando que podem ser obtidos híbridos de linhagens com heterose para tolerância ao alumínio.

Oliveira et al. (1982) reportaram ampla variação no desempenho de cultivares de milho em relação à calagem, observando-se desde a ausência até resposta a todos os níveis de calcário. Observaram também uma grande variação na sensibilidade dos cultivares à saturação de alumínio trocável. Entretanto, Magnavaca (1982) estudou, em níveis altos de alumínio, a população original e quatro ciclos de seleção no "Composto Amplo", em comparação com duas populações derivadas de cruzamentos de germoplasma tropical x temperado e duas de germoplasma temperado. As duas populações tropicais ("Composto Amplo" original e ciclo 4) mostraram um nível mais alto de tolerância que todas as outras populações; esse fato demonstrou que a população "Composto Amplo" apresenta tolerância ao alumínio.

Visando estimar o grau de tolerância ao alumínio em solução nutritiva de linhagens, materiais comerciais e populações de milho, Furlani et al. (1986) encontraram que os índices: comprimento de radícula (CR), índice de crescimento de radícula

(ICR) e crescimento líquido de radícula (CLR), foram eficientes na identificação de materiais de milho tolerantes ao Al em solução nutritiva e a ocorrência de ampla variabilidade genética para a tolerância ao alumínio. Em trabalho posterior, Aguiar (1986) avaliou progênies de meios irmãos da população de milho CMS 39, em dois ambientes com solos férteis e um em ambiente com solo ácido. A estimativa do ganho esperado com seleção das progênies superiores nos três locais foi de 11,16 gramas por planta (10,28%).

Os efeitos de heterose e capacidade geral e específica de combinação (CGC e CEC) de cinco populações de milho selecionadas para condições de solos ácidos, foram estimados por Eleutério et al. (1986). A média geral de produção de espigas da testemunha foi de 4.639 kg/ha e a dos cruzamentos de 4.770 kg/ha. Os valores de heterose em relação à média do pai mais produtivo foram de 26%, 25% e 10% para os cruzamentos CMS-04 x CMS-30, CMS-04 x CMS-13 e CMS-04 x CMS-36, respectivamente. O maior valor de heterose (30%) no entanto, foi obtida do cruzamento entre CMS-13 x CMS-30; as populações CMS-36 e CMS-30 apresentaram os maiores valores para CGC.

Lopes et al. (1987) avaliaram populações de milho e seus cruzamentos quanto a tolerância ao alumínio em solução nutritiva. Os genótipos selecionados em condições de toxidez de alumínio no campo mostraram tolerância na avaliação em solução nutritiva. A capacidade geral de combinação foi o parâmetro de maior magnitude no cruzamento dialélico entre materiais tolerantes e não tolerantes. Dentre o material avaliado, as populações CMS-36 e CMS-30 foram indicadas como fontes de tolerância ao alumínio.

Híbridos duplos de milho tolerantes ao Al foram avaliados por Magnavaca et al. (1988), visando-se a produtividade e estabilidade de produção destes quando cultivados em solos mais férteis. Desse modo, esses materiais seriam competitivos aos híbridos comerciais de menor tolerância. Os resultados indicaram a possibilidade de obtenção de cruzamentos específicos superiores com tolerância ao alumínio a partir de linhagens selecionadas para esse estresse.

Lima et al. (1988) reportaram resultados sobre o desempenho de duas populações de milho, uma tolerante e outra sensível ao alumínio, sob condições de solo de elevada acidez e em casa de vegetação, utilizando-se o método de solução nutritiva. A população tolerante foi 87% e 13% superior àquela apresentada pela população sensível e a F_1 , respectivamente. Além disso, ocorreram diferenças significativas entre os materiais avaliados para a variável comprimento de radícula em solução nutritiva. Lima & Furlani (1988) avaliaram 28 híbridos F_1 obtidos de oito linhagens em condições de campo e de casa de vegetação. Alguns híbridos F_1 apresentaram alta capacidade de combinação, com produções em nível do híbrido comercial mais produtivo. Em alguns deles, observou-se associados à alta produção de grãos, menor porte e maior tolerância ao alumínio. A variância para capacidade geral de combinação apresentou valores de maior magnitude, indicando que o tipo de ação gênica que explica a maior parte da variação genética é aditiva.

Em outro estudo, Lima et al. (1992), obtiveram uma alteração média de 5,2 cm (26,1%) no comprimento da radícula após dois ciclos de seleção positiva e negativa na população de milho IAC-Taiúba em solução nutritiva com alumínio. As estimativas da alteração média para as seleções positiva e negativa foram em média 1,17 t/ha⁻¹ (15,1%) para produção de grãos, 0,10 m (5,6%) para altura da planta e 0,03 m (3,6%) para altura de espiga. Os cruzamentos entre parentais divergentes apresentaram

heterose média de $0,58 \text{ t/ha}^{-1}$ (15,1%) para produção de grãos, $0,03 \text{ m}$ (1,5%) para altura da planta e $0,01 \text{ m}$ (0,8%) para altura da espiga.

Visando estudar a resposta à seleção para tolerância a solos ácidos, Granados et al. (1993) avaliaram a população de milho tropical SA3, sob dois esquemas de seleção: meios irmãos modificada (MIM) e irmãos germanos (IG) em ambientes de solo normal e ácido. Os resultados indicaram que o melhoramento por ciclo para rendimento foi aproximadamente sete vezes mais alto com seleção de IG (8,10%) que com seleção MIM (1,49%). Pandey et al. (1994) reportaram resultados sobre um estudo dialélico de seis populações tolerantes e duas suscetíveis a acidez do solo, avaliados em ambientes com solo ácido. As populações tolerantes apresentaram médias superiores em produção de grãos ($2,19$ vs $1,58 \text{ t ha}^{-1}$), espigas por planta ($0,79$ vs $0,64$), altura de espiga ($61,6$ vs $51,4 \text{ cm}$) e menos dias para o florescimento ($68,8$ vs $69,7 \text{ d}$) que as populações suscetíveis: cruzamentos entre populações tolerantes tiveram rendimentos superiores ($3,00 \text{ t ha}^{-1}$) que aqueles entre tolerantes e suscetíveis ($2,40 \text{ t ha}^{-1}$) e entre suscetíveis ($2,01 \text{ t ha}^{-1}$).

Vinte e oito híbridos simples provenientes de um dialelo completo entre oito linhagens foram avaliados em dois ambientes (0% e 36% de saturação de alumínio) e 10 ppm de fósforo; o parâmetro utilizado foi crescimento relativo da raiz seminal (CRRS). Duas linhagens mostraram elevada capacidade geral de combinação tanto em solos ácidos como em solos férteis e são consideradas bastante eficientes na utilização de fósforo (Parentoni et al., 1995).

Narro et al. (1995) avaliaram progênies de irmãos germanos da população SA3 em três ambientes com solos ácidos. Reportaram que a variância genética aditiva para produção de grãos foi semelhante à de dominância [$0,15 \text{ (t/ha)}^2$ vs.

0,12(t/ha)²]. Os ganhos em produção de grãos por efeito da seleção foram de 2 % após os 14 ciclos de meios irmãos e 14% após os dois ciclos de irmãos germanos.

Granados et al. (1995a) ressaltam as características da nova variedade melhorada de milho ICA-Sikuani V-110, derivada da população SA3. Cabe salientar que ela tolera até 55% de saturação de alumínio e baixos conteúdos de fósforo (até 8 ppm). Em 18 ensaios realizados em solos ácidos, esta variedade teve uma produção de grãos de 2,9 t/ha, o que significou, uma produção de 53% superior à testemunha suscetível Tuxpeño. Em solos não ácidos e férteis, apresentou um rendimento de 7,1 t/ha.

Magnavaca (1995) apresentou dados dos progressos alcançados com a seleção de híbridos mais tolerantes ao alumínio e de alta produtividade no Brasil. Relatou que alguns híbridos seriam materiais de alta tolerância, mas de baixa produtividade (6.616 e 7.081 kg/ha) enquanto outros, seriam tolerantes mas com a produtividade elevada, superiores às testemunhas nos dois aspectos. Um desses híbridos foi comercializado com o nome de BR-201 e, já foram lançados outros híbridos (BR-205 e BR-206) com as mesmas características pelo Centro Nacional de Pesquisa do Milho e Sorgo (CNPMS/EMBRAPA).

Lima et al. (1995) reportaram desempenhos de cruzamentos dialélicos entre oito linhagens endogâmicas de milho (cinco tolerantes e três sensíveis ao alumínio) em solução nutritiva e em condições de campo. As médias para rendimento de grãos variaram de 2,38 t/ha até 10,03 t/ha ou 29,8% e 125,3% da média das testemunhas, respectivamente; mais de 50% dos cruzamentos tiveram rendimentos acima da média e cinco superaram a melhor testemunha.

Avaliações sobre os desempenhos de populações com tolerância a solos ácidos e a seca, foram reportados por Spaner et al. (1995). Os experimentos foram

conduzidos em solos normais e ácidos. Os ambientes com solos ácidos, a testemunha Pioneer X-304 apresentou o maior rendimento (4,01 t/ha), somente a variedade de grãos amarelos tolerante a solos ácidos 1988 SA3 apresentou um rendimento semelhante (3,70 t/ha), enquanto a testemunha local apresentou o menor rendimento (2,64 t/ha).

Seis ciclos de seleção para tolerância a alta saturação de alumínio na população CMS 04-C foram avaliados em solução nutritiva por Souza et al. (1996a). Com base nos dados de crescimento relativo de raiz seminal (CRRS %), o ciclo 6 *per se* apresentou um ganho de 44,85% em relação ao ciclo 0. Houve uma diminuição de 206,50% na depressão por endogamia do ciclo 0 para o ciclo 6. Quando cruzada com os testadores F-BR-201 e BR-112, a população CMS 04-C melhorou sua capacidade de combinação do ciclo 0 ao ciclo 6, em 39% e 42,01%, respectivamente.

Estes mesmos autores (1996b), com a mesma população, encontraram diferenças significativas entre médias de peso de espigas dos cruzamentos com o testador BR 112. Diferenças significativas do ciclo 0 ao ciclo 6 foram detectadas nos ambientes de avaliação com 15% e 10% de saturação de alumínio, respectivamente, caracterizando um ganho indireto de 3,82% na capacidade de combinação da referida população. Houve na média dos cinco ambientes uma diminuição de 12,30% na depressão por endogamia do ciclo 0 ao ciclo 6.

Um estudo dialélico foi realizado por Spaner et al. (1996) utilizando seis variedades de polinização aberta em condições de solos férteis. Três cruzamentos intervarietais apresentaram níveis de heterose que variaram de 10 a 27% e alguns tiveram rendimento semelhantes aos híbridos testemunhas. O cruzamento "Acid Soil Tolerant 1991 SA-3" x ICTA Farm Corn, rendeu 5,82 t/ha e teve o maior efeito de capacidade específica de combinação (0,8 t/ha).

Parentoni et al. (1995) avaliaram progênies de meios irmãos obtidas da população Sintético Elite tolerante a solos ácidos em solo com baixa e alta capacidade de suprimento de nitrogênio (N). No solo pobre em N, o intervalo de variação das progênies para peso de espiga foi de 1,76 a 5,45 t/ha enquanto que no solo com boa disponibilidade de nitrogênio (N⁺), estes valores foram de 2,38 a 9,0 t/ha. A estimativa do progresso genético esperado no ambiente com seleção foi de 19,37 g/planta no ambiente fértil (N⁺) e em ambiente com deficiência de nitrogênio (N⁻), foi de 12,78 g/planta.

Vários pesquisadores têm realizado avaliações da variedade melhorada ICA Sikuni V-110 derivada da população SA3. Assim, Claure (1996), na Bolívia, reportou que esta variedade teve um alto potencial de rendimento (4,0 t/ha) e boa adaptação em comparação com as variedades melhoradas Across LJ-102 (4,05 t/ha) e Choclero LJ-101 (3,9 t/ha). Do mesmo modo no Equador, Reyes (1996) verificou que a variedade Sikuni V-110 apresentou o melhor desempenho em comparação com a variedade CIMCALI 93-SA3 e duas testemunhas locais, com médias para rendimento de grão de 1,64 t/ha, dias para o florescimento feminino 52 dias e, altura da planta 225 cm. Entretanto, Celis (1996), em avaliações realizadas no Peru, ressaltou que as variedades derivadas das populações melhoradas SA5, SA6 e SA3 tiveram rendimentos e adaptação superiores (2,07; 1,8 e 1,7 t/ha, respectivamente) às testemunhas locais (1,50 e 1,47 t/ha). Esses mesmo autor avaliou os ciclos avançados de seleção em relação ao ciclo original (Co) de seis populações de milho amarelo e branco duro tolerantes a solos ácidos. Na média dos ambientes o ciclo avançado da população SA-3 teve o maior rendimento, superando em 79,8% e 53,0%, respectivamente, ao cultivar testemunha ICA Sikuni V-110. Em trabalho posterior, Torres (1997) avaliou o desempenho da variedade ICA-V-110 em quatro ambientes com solos ácidos. A média

de rendimento de grão nos ambientes superou significativamente a variedade regional em 0,83 t/ha. Finalmente, Resende et al. (1997) avaliaram progênies de meios irmãos da população de milho BR-108 em ambientes contrastantes (cerrado e fértil) e concluíram que a seleção baseada na média de ambos os ambientes leva a maior progresso médio nos dois ambientes e, neste caso, o progresso esperado em solos ácidos foi de 5,41 g/pl (3,95%) e no fértil 9,18 g/pl (4,54%).

2.3. Herança da tolerância à toxidez de alumínio em milho

A herança da tolerância ao alumínio em milho tem sido estudada por vários pesquisadores usando diferentes germoplasmas e técnicas de avaliação. Assim, Rhue & Grogan (1977), Rhue et al. (1978) e Stockmeyer et al. (1978) reportaram o desempenho de linhagens endogâmicas e compostos de milho para tolerância ao alumínio sob diferentes concentrações de Ca e Mg. Os resultados obtidos sugerem que a tolerância ao alumínio em milho é controlada por um loco simples que é dominante. O intervalo de variação da tolerância entre linhagens e entre compostos de milho sugerem também que a tolerância é controlada por uma série alélica múltipla.

Em trabalho posterior, Silva (1979) avaliou em gerações F_1 , F_2 e retrocruzamentos derivados de linhagens tolerantes e sensíveis de milho, o efeito do alumínio sobre o comprimento radicular. As linhagens sensíveis tiveram seus comprimentos radiculares reduzidos em cerca de 50%; os F_1 e os retrocruzamentos com os parentais tolerantes foram também tolerantes ao alumínio. A distribuição da frequência da geração F_2 apresentou-se bimodal com aproximadamente 25% de plantas sensíveis e 75% de plantas tolerantes, concluiu-se então, que a tolerância ao alumínio é condicionada por apenas um gene dominante, cujo efeito pode ser levemente alterado por modificadores.

Por outro lado, Magnavaca (1982) estimou os efeitos genéticos que controlam tolerância ao alumínio em milho baseando-se em seis gerações (parentais 1 e 2, F_1 , F_2 e retrocruzamentos 1 e 2), avaliando-se a característica comprimento relativo da raiz seminal. Em cruzamentos entre linhagens tolerantes e não tolerantes, efeitos genéticos aditivos foram responsáveis pela maioria da variação genética, embora os efeitos de dominância tenham sido estatisticamente significativos. Em cruzamentos entre linhagens não tolerantes ao alumínio, os efeitos genéticos de dominância foram os mais importantes. A variação entre plantas da geração F_2 , descendentes de cruzamentos de linhagens endogâmicas para comprimento de raiz em solução nutritiva com alumínio, mostrou que a distribuição de frequências foi contínua, unimodal e típica para um caráter de herança quantitativa, com uma geral tendência para a sensibilidade ser dominante sobre a tolerância. Entretanto, Miranda et al. (1984), concluíram que a tolerância é controlada por dois pares de genes dominantes complementares, ligados com os supergenes R e B que são responsáveis para a tolerância ao alumínio em milho.

Tem-se observado alta tolerância ao alumínio no milho cateto, devido à importância dessa característica nos híbridos comerciais e a divergência das informações disponíveis sobre a herança desse caráter, Sawasaki & Furlani (1987), estudaram a genética da tolerância ao alumínio utilizando as das linhagens Ip-48-5-3 (cateto) e Col 22 (duro da Colômbia) e suas gerações F_1 , F_2 e retrocruzamentos. A característica de raiz mais adequada para o estudo foi o crescimento líquido da radícula (CRL). A distribuição de frequências na geração F_2 foi contínua e unimodal, apresentando apenas classes da F_1 e do parental tolerante. A alta tolerância ao alumínio foi atribuída à contribuição da linhagem Ip-48-5-3, principalmente à ação de genes

menores, de efeitos genéticos aditivos. A herdabilidade no sentido amplo e restrito foi alta, indicando que a seleção de genótipos tolerantes na geração F_2 é eficiente.

Duque-Vargas et al. (1994) estudaram a herança da tolerância a solos ácidos na população tropical de milho SA-3. Avaliaram 256 progênies de irmãos germanos em solo normal e em três solos ácidos. Através dos três ambientes de solos ácidos, a variância genética aditiva (VA) foi maior que a variância de dominância (VD) para rendimento de grão ($0,15 \text{ (t/ha)}^2$ vs $0,12 \text{ (t/ha)}^2$), maior que a VD para altura da planta ($47,5 \text{ cm}^2$ vs $6,83 \text{ cm}^2$) e espiga por planta ($0,01$ vs $0,00$), e menor que VD para dias para o florescimento ($1,26$ vs $2,98$). A herdabilidade foi estimada usando a média de progênies de meios irmãos, $36 \pm 19,9\%$ para rendimento, $30,9 \pm 19,8\%$ para dias para o florescimento, $51,5 \pm 19,3\%$ para altura da planta e $40,5 \pm 19,8\%$ para espigas por planta.

A importância da heterose como um componente da variação genética foi determinada por Salazar et al. (1995) que utilizaram seis variedades tolerantes e duas sensíveis a solos ácidos para o dialelo. As progênies foram avaliadas em seis ambientes com solos ácidos e dois com solo normal. Observou-se uma heterose média para peso de campo, número de fileiras, podridão de espiga e produção de grãos de 77, 31, 38 e 75%, respectivamente. Os híbridos produziram mais de 19% com relação aos progenitores ($3,07$ vs $3,63 \text{ t/ha}$) apresentando uma percentagem de heterose de 4% mais baixa com relação ao melhor progenitor.

Borrero et al. (1995) estimaram variâncias genéticas da população de milho SA-4 utilizando o delineamento II, onde 20 grupos com 16 famílias de irmãos germanos foram plantados no campo em duas repetições, em ambiente de solos ácidos e normal. Nos solos ácidos, a variância de dominância (VD) foi significativamente

maior que a variância aditiva para rendimento ($0,22 \text{ (t/ha)}^2$ vs $0,09 \text{ (t/ha)}^2$) e dias para o florescimento (2,33 vs 1,35) e menor para altura de espiga ($23,93 \text{ cm}^2$ vs $37,48 \text{ cm}^2$), espigas por planta (0,0013 vs 0,0018) e podridão de espiga (4,86 vs 13,68). Herdabilidades baseadas nas médias de progênies de meios irmãos, tiveram valores médios de $0,39 \pm 0,14$ para rendimento; $0,43 \pm 0,14$ para dias para florescimento; $0,66 \pm 0,13$ para altura da espiga; $0,40 \pm 0,14$ para espigas por planta e $0,48 \pm 0,14$ para podridão da espiga, através de ambientes com solos ácidos.

2.4. Seleção recorrente em milho

O termo seleção recorrente foi utilizada pela primeira vez por Hull (1945), considerando que este processo é cíclico. A seleção recorrente pode ser definida como a seleção sistemática de genótipos superiores de uma população, seguida pela recombinação destes visando a formação de uma nova população. Os processos de seleção recorrente incluem todos aqueles processos que repetem o mesmo procedimento, ciclo a ciclo; o procedimento geral considera: (a) produção de um grupo de genótipos (indivíduos ou famílias); (b) avaliação destes genótipos e identificação dos superiores a serem usados como parentais na geração seguinte; e (c) inter cruzamento entre genótipos selecionados para produzir a geração seguinte (Fehr, 1987; Souza Júnior, 1989; Pandey & Gardner, 1992).

Os objetivos da seleção recorrente são: melhorar as populações de uma maneira cíclica para incrementar as frequências de alelos favoráveis e combinações gênicas, e manter adequada variabilidade genética para a seleção e melhoramento adicional por inter cruzamento de um suficiente número de genótipos superiores em cada ciclo de seleção.

Segundo os mesmos autores, a seleção recorrente visa o melhoramento de uma população individual (intrapopulacional) ou o melhoramento simultâneo de duas populações (interpopulacional). Cada processo seletivo tem uma unidade de avaliação e uma unidade de seleção; em poucos processos, a planta individual é a unidade avaliada e a unidade selecionada. Na maioria dos processos, a unidade de avaliação é algum tipo de progênie.

A avaliação de progênies normalmente é feita em experimentos com repetições em ambientes representativos da área para a qual a população é desenvolvida. A seleção é baseada no desempenho das progênies avaliadas e as progênies superiores no teste são inter cruzadas para formar a população melhorada e que será usada no seguinte ciclo de seleção.

Processos de seleção recorrente são usados para mudar os níveis dos caracteres herdados de uma maneira quantitativa. Diferentes processos de seleção recorrente foram sugeridos devido às diferenças de opinião para os tipos de efeitos gênicos considerados de maior importância na expressão de heterose e pela relativa proporção dos tipos de variabilidade genética expressada nas populações de milho (Hallauer, 1990).

O método espiga por fileira modificado em milho foi sugerido por Lonquist (1964) que considerou que o uso deste esquema oferece um meio de incrementar a exatidão da seleção intrapopulacional, o método é essencialmente um programa de seleção entre e dentro de progênies de meios irmãos. A seleção das progênies é dependente da média de seu comportamento em três locais e a escolha de indivíduos dentro das progênies selecionadas é baseada sobre a seleção visual num local. Eberhart et al. (1995) sugerem que avaliações usando altas densidades de plantio poderia

incrementar o ganho por ciclo para vários caracteres. Seleção entre progênies de meios irmãos (espiga por fileira) seria mais efetiva que seleção massal para altura da planta, sincronização na floração, prolificidade sem esterilidade, doenças foliares, resistência ao acamamento de raiz e caule e produção de grãos. Uma vantagem adicional da seleção espiga por fileira modificada é a recombinação em cada estação ou época.

Vários pesquisadores têm apresentado modificações ao método de seleção de meios irmãos. Assim, Paterniani & Vencovsky (1978) apresentam uma nova versão da seleção recíproca recorrente que é totalmente baseada em famílias de meios irmãos. O processo requer plantas prolíficas, polinização com a própria população, cruzamentos com uma população recíproca e avaliação de progênies: o ganho observado por ciclo de cruzamento intervarietal para rendimento variou entre 3,1% e 6,2% com uma média de 3,5%.

Marques-Sanchez (1987) propôs uma modificação ao método de meios irmãos que é baseada na avaliação de "testcrosses" e seleção intra e interfamiliar. Souza Júnior (1987) descreveu um novo esquema de seleção recorrente recíproca com plantas prolíficas S_0 - S_1 (RRSHS S_0 - S_1); o processo envolve duas fases, operando com plantas prolíficas e inclui autofecundação, cruzamentos e avaliação de progênies de meios irmãos. Dados da eficiência relativa (ER) mostraram que RRSHS S_0 - S_1 foi mais eficiente que RRSFS (irmãos germanos) e 68% mais que RRSHSPP (meios irmãos com plantas prolíficas) considerando o ciclo normal. Considerando o ciclo mínimo RRSHS S_0 S_1 foi 93% mais eficiente que RRSFS e cerca de 68% mais eficiente que RRSHSPP.

Dhillon & Khehra (1989) sugeriram um método de seleção S_1 modificado, alternado com seleção de meios irmãos. O método requer gerações de inverno e avaliação e recombinação de progênies S_1 . A eficiência relativa da seleção

recorrente baseada em ciclos alternados de S_1 modificado e meios irmãos sobre espiga por fileira modificada foi de 29% a 50%, respectivamente. Em trabalho posterior, Dhillon (1991), propôs um novo método que envolve ciclos alternados de seleção S_1 e seleção espiga por fileira modificada (MIM). O método requer gerações de inverno, avaliação de progênies S_1 e recombinação baseada na seleção entre e dentro de progênies S_1 . A eficiência relativa do método variou entre 10% e 35% em relação a S_1 , irmãos germanos e S_1 modificado.

O método de seleção de progênies de irmãos germanos foi idealizado por Harland (1946); a descendência do cruzamento entre duas plantas constitui as progênies de irmãos germanos. Estas progênies são avaliadas em ensaios com repetições; as melhores combinações são selecionadas com base nos ensaios. As sementes remanescentes das progênies selecionadas são plantadas em lotes isolados para recombinação, praticando-se a seleção entre as progênies.

Com relação a este método, Eberhart et al. (1995), consideram que a seleção de progênies de irmãos germanos pode ser extremamente efetiva, já que a seleção massal para características altamente herdáveis pode ser praticada fora de época e seleção entre progênies replicadas de irmãos germanos para produção de grãos e outros caracteres pode ser feita na época normal. O uso de altas densidades de plantio em ambas as épocas poderia incrementar a herdabilidade e ganhos para muitos caracteres.

O método tem apresentado bons resultados. Dentre os resultados da literatura, merecem ser destacados os trabalhos de Souza Junior (1983), Hallauer (1984), Johnson et al. (1986), Stromberg & Compton (1989), Crossa & Gardner (1989), Moll et al. (1994) e Rezende (1997), entre outros.

2.5. Resposta à seleção recorrente em milho

A seleção recíproca recorrente foi originalmente proposta por Comstock et al. (1949) e considera-se ser efetiva para desenvolver simultaneamente duas fontes de germoplasma para programas de melhoramento de milho híbrido porque a seleção baseia-se no comportamento do híbrido interpopulacional no qual qualquer tipo de ação gênica é expressada (Smith, 1979a; Souza Júnior, 1989).

Vários autores apresentam resultados sobre comparações entre diferentes processos de seleção recorrente. Assim, Lamkey & Hallauer (1987), compararam estimativas de herdabilidade e outros parâmetros genéticos para produção de grãos de milho; usaram variâncias entre progênies de 121 experimentos de seleção de sete processos de seleção recorrente. As estimativas de herdabilidade das análises compostas foram de 68% para irmãos germanos; 59,5% para meios irmãos; 79,8% para S_1 ; 77,3% para S_2 ; 53,3% para "testcrosses" com uma linhagem; 62,7% para "testcrosses" com testador de ampla base e 54,7% para seleção recorrente recíproca de irmãos germanos. Os ganhos esperados para rendimento de grão por ciclo e por ano para os sete processos foram: 7,6; 5,1; 9,1; 9,3; 4,4; 5,0 e 5,4%, respectivamente.

Lamkey & Smith (1987) avaliaram populações representativas de cada uma das sete "décadas" de seleção em milho. Estimaram as proporções do ganho genético e depressão por endogamia; encontraram que a média das proporções de ganho genético para produção de grãos foi $0,52 \pm 0,04 \text{ t ha}^{-1} \text{ década}^{-1}$, quando variedades de polinização livre foram incluídas na análise. A depressão por endogamia em porcentagem, mostrou mudanças não direcionais e teve magnitude semelhante para todas as décadas.

Rodriguez & Hallauer (1988) estimaram a resposta à seleção em dez populações de milho e compararam a eficiência relativa de diferentes métodos de

seleção recorrente para melhorar a produção de grãos. A resposta média foi de 0,249 t.ha⁻¹ ciclo⁻¹ para os processos de seleção intrapopulacional, o qual foi maior que a resposta média de 0,033 t.ha⁻¹ ciclo⁻¹ para os processos de seleção interpopulacional. A média estimada da depressão por endogamia para as dez populações melhoradas foi similar para os processos de seleção interpopulacional (30,7%) e intrapopulacional (26,9%).

Helms et al. (1989b) reportaram mudanças na variância genética em dois programas de seleção originados na população "Iowa Still Stalk Synthetic" (BSSS Co). Um programa foi de seleção recíproca recorrente e outro de sete ciclos de meios irmãos (MI) seguidos seqüencialmente por três ciclos de seleção recorrente *S₂ per-se*. Progênies *S₂* não selecionadas das populações foram avaliadas; a média de produção de grão das progênies *S₂* em relação com a população original BSSS Co aumentou 62% após nove ciclos de seleção recíproca recorrente e 81% após sete ciclos de (MI) seguidos por três ciclos de seleção recorrente *S₂*. Os resultados sugerem que a variância genética decresceu na população melhorada utilizando seleção recíproca recorrente, mas não na população melhorada usando o método seqüencial meios irmãos e *S₂*.

Walters et al. (1991) compararam o desempenho e a depressão por endogamia na população original "Iowa Still Stalk Synthetic", duas populações melhoradas desta população (BSSS(R)C9 e BS13(S)C3) e o cruzamento entre as populações melhoradas C3 x C9. As populações melhoradas BS13(S)C3 e BSSS(R)C9 tiveram um desempenho superior na geração *S₁* que a *S₁* de BSSS Co: 4,54, 5,31 e 3,65 t.ha⁻¹, respectivamente. O cruzamento entre as populações melhoradas (C3 x C9) mostrou alta heterose para rendimento no nível da geração *S₀* (6,51 t.ha⁻¹). As diferenças entre as três populações melhoradas em depressão por endogamia para rendimento de grão foram 18,2% (C3); 23,2% (C9) e 22% (C3 x C9), mas não significativas.

Souza Júnior et al. (1993) avaliaram o potencial das populações do milho BR-105 e BR-106 para o melhoramento interpopulacional. Utilizaram-se progênies de meios irmãos interpopulacionais para a avaliação. A estimativa da heterose para peso de espigas foi de 19,23% e 17,86% em relação à média dos parentais e ao parental superior respectivamente; o progresso estimado com seleção recorrente recíproca foi de 7,69%, concluindo-se que estas populações possuem elevado potencial para serem utilizadas em programas de seleção recorrente recíproca e para a obtenção de híbridos de linhagens.

Burgess & West (1993) reportaram resultados de quatro ciclos de seleção recorrente para produção de grãos, após dez ciclos de seleção para altura de espiga. Durante o processo de seleção para reduzir altura de espiga, a produção de grãos teve um decréscimo de 29%. O ciclo 10 do sintético "Tennessee Late Low-Far" (TLLE 10) foi usado para iniciar seleção S_1 e "testcrosses" (TC) para rendimento de grãos. A resposta à seleção S_1 teve um acréscimo de 44% após quatro ciclos de seleção, e a seleção TC apresentou 21% de ganho na produção de grãos nas populações recombinadas. Verificou-se que quatro ciclos de seleção recorrente restabeleceram a produção de grãos aproximadamente ao nível que tinha a população antes da seleção para espiga mais baixa.

Vasal et al. (1995) submeteram duas populações tropicais (Pop 23 e Pop 26) e duas subtropicais (Pop 33 e Pop 45) à seleção recorrente com progênies S_3 , visando melhorar depressão por endogamia. Dois ciclos de seleção foram realizados; progênies selecionadas foram recombinadas para formar o C_1 e C_2 das populações (Syn-1). As populações melhoradas (Syn-1) foram intercruzadas gerando o sintético dois (Syn-2). As gerações S_1 e Syn-2 do ciclo zero (C_0) e versões do C_1 e C_2 foram avaliadas. A seleção resultou numa resposta linear positiva e significativa para produção

de grãos em todas as populações em ambas as gerações, exceto a geração Syn-2 da população 26. Os ganhos por ciclo para produção de grãos na geração S_1 de diferentes populações variou de 15,0% a 16,4%; a depressão por endogamia para produção de grãos teve um decréscimo de 20,3; 11,2; 10,0 e 4,9 pontos percentuais nas Pop 26, Pop 33, Pop 23 e Pop 45, respectivamente.

Holthaus & Lamkey (1995) avaliaram o desempenho médio e diversos parâmetros genéticos na população "Iowa Stiff Stalk Synthetic" (BSSS) antes e após sete ciclos de seleção de progênies de meios irmãos (HS), seis ciclos de seleção de progênies S_2 e onze ciclos de seleção recíproca recorrente (SRR). A eficiência relativa dos três métodos para melhorar o desempenho médio para produção de grãos da população BSSS *per-se* foi 0,4% por ciclo para seleção HS, 1,1% por ciclo para seleção de progênies S_2 e 1,4% por ciclo para SRR. As estimativas de herdabilidade e variância genética aditiva indicaram que contínua resposta à seleção é esperada para cada método de seleção.

Beltran & Hallauer (1996) avaliaram a resposta direta à seleção recorrente recíproca (SRR) na população "Iowa Stiff Stalk Synthetic" (BSSS) e na "Iowa Corn Borer Synthetic nº 1" (BSCB1). Híbridos simples foram obtidos pelo cruzamento entre BSSSCo x BSSSCo, BSSS(R)C9 x BSCB1(R)C9 e BS13(S)C3 x BSCB1(R)C9. A resposta a seleção para os híbridos simples foi de 2,66 t/ha e para BSSS(R)C9 x BSCB1(R)C9 (6,1% por ciclo) e de 2,09 t/ha para BS13(S)C3 x BSCB1(R)C9 (4,8% por ciclo).

Os métodos de seleção recorrente recíproca intra e interpulacionais são os esquemas seletivos que têm sido utilizados para o melhoramento de germoplasmas. Entretanto, nenhum destes métodos pode melhorar as taxas razoáveis, os híbridos interpulacionais e as populações *per-se* simultaneamente

(Souza Junior, 1993). Segundo o autor, uma boa alternativa para se contornar este problema é a utilização de um método modificado de seleção recorrente, onde uma das populações, a que apresenta menor valor médio para o caráter em questão, é utilizada como testadora dela mesma e da população recíproca. Portanto, o método apresenta uma abordagem interpopulacional para a população de maior média e intrapopulacional para a população de menor média. No contexto geral, esse processo parece ser superior aos métodos tradicionais e está relacionado às magnitudes de novos componentes genéticos de variância e covariância por ele sugeridos.

2.6. Cruzamentos dialélicos em milho

Esquemas e análises de cruzamentos dialélicos têm sido desenvolvidos para genitores que variam desde linhagens até variedades de ampla base genética. Assim que os cruzamentos são feitos, avaliados e analisados é possível realizar inferências, estimando os tipos de ação gênica (Gardner & Eberhart, 1966).

Uma melhor compreensão da heterose intervartietal expressada como componentes de médias foi desenvolvida por Gardner & Eberhart (1966), os quais apresentaram um modelo geral para análise de cruzamentos dialélicos de variedades e populações relacionadas; o modelo baseia-se nos componentes aditivos (a_j) e de dominância (d_j), do efeito de variedades (V_j) e nos componentes heteróticos ($h_{jj'}$) que aparecem nos cruzamentos. Tais componentes podem ser estimados pelo método dos quadrados mínimos e, com este tipo de análise, pode-se conhecer o potencial genético das variedades como tais e em cruzamentos.

Vários pesquisadores apresentam resultados sobre os efeitos de variedades e do componente heterótico utilizando o modelo de Gardner & Eberhart

(1966). Merecem ser destacados os trabalhos de Souza Júnior (1981), Lima (1982), Miranda Filho & Vencovsky (1984), Misevic (1990), Perez-Velasquez et al. (1995) e Sfakianakis et al. (1996), entre outros.

Hammond & Gardner (1974) apresentaram uma modificação do modelo geral para avaliar resposta à seleção. O modelo modificado permitiu estimar mudanças nas frequências alélicas e também, o tipo de efeito alélico predominante, sendo a contribuição dos locos em homozigose e heterozigose expressa como na função polinomial dos ciclos de seleção. O modelo apresentado por estes autores não inclui efeitos devidos às mudanças nos níveis de endogamia em função da oscilação genética que podem ocorrer na maioria dos programas de seleção recorrente (Smith, 1979b).

Um modelo modificado para avaliar progresso na seleção recorrente, foi proposto por Smith (1979a,b; 1983). O modelo estuda as relações entre as mudanças na média e as mudanças nas frequências alélicas (P) em populações melhoradas por seleção recorrente. As mudanças na média das populações melhoradas é uma função do acréscimo de p (Δp), a mudança média ponderada na frequência alélica; (α) o efeito médio de substituição gênica na população base; e (R) a alteração na depressão por endogamia nas populações melhoradas.

Vários estudos serão relatados a seguir, os quais permitem conhecer a utilidade deste modelo para fornecer informações sobre o potencial genético das populações como tais e em cruzamentos.

O modelo de análise de cruzamentos dialélicos proposto por Hammond & Gardner em 1974 e o modelo proposto por Smith em 1979a, foram usados para avaliar programas de seleção recorrente de meios irmãos (MI) e linhagens S_1 , na população de milho "BKS". Mudanças na média da população selecionada e em seus

cruzamentos foram definidos ser uma função da depressão por endogamia e das mudanças nas frequências de alelos com efeitos aditivos (Smith, 1979b). O uso da análise proposta por Smith mostrou que a seleção de MI e S_1 incrementou a frequência de alelos com efeitos aditivos, e que a seleção S_1 foi mais efetiva que a seleção de MI. A análise também forneceu uma estimativa da depressão por endogamia causada pela redução do tamanho efetivo populacional e que esta proporção foi a mesma para os dois métodos de seleção ($-0,08 \text{ t/ha} \pm 0,01 \text{ t/ha}$).

Moll & Smith (1981) apresentaram resultados de uma série de experimentos no esquema dialélico. Avaliaram um composto semiexótico de milho (IC-DC), os dados foram analisados usando o modelo proposto por Smith. A resposta de cinco ciclos de seleção em populações melhoradas com progênies S_1 foi maior que a resposta à seleção com progênies de irmãos germanos (32,6 g/planta vs 25,3 g/planta). A estimativa da depressão por endogamia foi maior nas progênies S_1 que nas de irmãos germanos (-11,5 g/planta vs -9,5 g/planta).

Smith (1983), em cruzamentos dialélicos entre as populações de milho BSSS(R), BSCB1(R) e BS13(HT), avaliou os efeitos da seleção recorrente para produção de grãos e outros caracteres agronômicos. As respostas indireta e direta à seleção recíproca recorrente (SRR) nas populações BSSS(R) e BSCB1(R) foram maiores nos ciclos 4 a 8 que nos ciclos iniciais. A resposta média observada sobre todos os ciclos foi estimada em 4,3% por ciclo ou 1,8% por ano considerando três anos por ciclo. As estimativas dos efeitos da oscilação genética nas populações *per-se* BSSS(R), BSCB1(R) e BS13(HT) foram -0,012, -0,016 e -0,005 t/ha, respectivamente; estes resultados indicaram que os efeitos devidos ao tamanho efetivo reduzido das populações usadas durante a SRR foram importantes.

Smith (1984) avaliou, também, a resposta à seleção recíproca recorrente (SRR) nas populações de milho BSSS(R), BSCB1(R) e BS6. As respostas diretas à seleção para produção de grãos foram maiores nos cruzamentos com BS6 (0,17 e 0,12 t/ha) que em BSSS(R) e BSCB1(R) 0,65 e 0,95 t/ha, respectivamente. Os efeitos da oscilação genética foram significativos nas populações BSCB1(R) (-0,03 t/ha) e BS6 (-0,07 t/ha).

Tanner & Smith (1987) analisando cruzamentos dialélicos entre as populações BSK(S), BSK(HI) e testadores usados no programa BSK(HI) encontraram que o ganho genético obtido na produção de grãos, considerando quatro ciclos de seleção de meios irmãos (HI) na população BSK foi somente 44,2% do ganho obtido para a mesma população sob seleção com linhagens S_1 e S_2 . Durante os primeiros quatro ciclos, o ganho obtido na população *per-se* para produção de grãos na população BSK(S) foi 0,33 t.ha⁻¹ (6,9%) por ciclo comparado com 0,10 t.ha⁻¹ (2,2%) por ciclo para BSK(HI). Os efeitos do tamanho da população (oscilação genética) foram de -0,017 t.ha⁻¹ para BSK(S) e -0,009 t.ha⁻¹ para BSK(HI); estes efeitos resultaram em uma redução na produção de grãos no ciclo 8 das populações de 2,24 t.ha⁻¹ para BSK(S) e 1,15 t.ha⁻¹ para BSK(HI).

Helms et al. (1989a) compararam a resposta à seleção entre a seleção recíproca recorrente (SRR) e a seleção interpopulacional que inclui meios irmãos (MI) e seleção S_2 (S) na população BSSS, e separaram os efeitos da seleção daqueles devido à oscilação genética. Os efeitos devidos à seleção para produção de grãos por ciclo foram 0,356 t.ha⁻¹ para BSSS(R); 0,344 t.ha⁻¹ para BSSS(HT); e 0,226 t.ha⁻¹ para BS13(S). Os efeitos de oscilação genética para produção de grãos em BSSS(R), BSSS(HT) e BS13(S) foram -0,012 t.ha⁻¹, -0,013 t.ha⁻¹ e -0,019 t.ha⁻¹, respectivamente.

Cruzamentos dialélicos entre as populações NBS, NSS e NKS melhoradas por cinco ciclos de seleção de linhagens S_1 *per-se*, e seleção recíproca de irmãos germanos (RFS) foram avaliadas por Tragesser et al. (1989). Os efeitos de seleção para produção de grãos foram de 2,77 e 1,03 t.ha⁻¹ para S_1 e RFS, respectivamente; e para índice de seleção de 1,81 e 1,01 t.ha⁻¹ para S_1 e RFS, respectivamente. Entretanto, para oscilação genética foram: -2,03 e -1,25 t.ha⁻¹ para produção de grãos em S_1 e RFS, e de -1,30 e -0,95 t.ha⁻¹ no índice de seleção para seleção S_1 e RFS, respectivamente.

Três populações de milho: BS2, BSTL e BS16, com diferentes proporções de germoplasma exótico, foram avaliadas para determinar os efeitos de cinco ciclos de seleção recorrente S_2 sobre a produção de grãos e outras características agronômicas (Iglésias & Hallauer, 1989). A produção de grãos teve um significativo acréscimo através de cinco ciclos de seleção na população BS2 (0,4 t/ha/ciclo). As populações BSTL e BS16 não apresentaram significativas mudanças na produção de grãos através dos ciclos; mas, na população BSTL um acréscimo de 12% na produção de grãos foi observado entre os ciclos 4 e 5. Efeitos de oscilação genética foram significativos para a população BS2 (-0,05 t/ha/ciclo) e não significativos para BSTL e BS16.

Landi & Frascaroli (1993) avaliaram quatro ciclos de seleção com progênes de irmãos germanos na população de milho A632 x Mu195 (F_2). A produção de grãos no ciclo 4 foi de 7,46 t.ha⁻¹ e superou à do ciclo 0 em 1,68 t.ha⁻¹; a resposta média para produção de grãos foi de 0,42 t.ha⁻¹ por ciclo (7,3%). Entretanto, a oscilação genética foi de -0,07 t.ha⁻¹ por ciclo para produção de grãos.

Cruzamentos dialélicos envolvendo os ciclos 0, 4, 7, 9 e 11 das populações BSSS(R) e BSCB1(R) foram avaliadas por Keeratinijakal & Lamkey (1993a,b) para mensurar a resposta à seleção recorrente recíproca. A resposta dos

cruzamentos interpopulacionais para produção de grãos foi de 0,28 t.ha⁻¹ por ciclo (6,95%). A resposta na população BSSS(R) *per-se* foi de 0,06 t.ha⁻¹ por ciclo (1,94%), mas na população BSC1(R) *per-se*, a produção de grãos não mudou significativamente. A depressão por endogamia devida à oscilação genética nas populações cruzadas, incrementou-se de 1,01 a 2,32 t.ha⁻¹ após 11 ciclos de seleção.

Stojsin & Kannenberg (1994a,b), compararam a eficácia de quatro métodos de seleção: espiga por fileira modificada, progênies de meios irmãos (MI), progênies autofecundadas (S) e seleção recíproca recorrente (SRR), em cinco populações de milho: CGSYmA, CGSYmB, CGG, CGN e CGW. O método (S) foi o mais efetivo e sua estimativa de resposta à seleção foi de 0,03, 0,09, 0,10, 0,22 e 1,64 t.ha⁻¹ para produção de grãos nas cinco populações, respectivamente. A estimativa dos efeitos de oscilação genética para produção de grãos foi mais alta com o método (S) em três das cinco populações (-0,01 t.ha⁻¹ para CGG, -0,02 t.ha⁻¹ para CGN, -0,21 t.ha⁻¹ para CGW). Para altura da planta e espiga, o método (HS), resultou em menor oscilação genética em duas das cinco populações (-0,38 cm e -0,30 cm para CGSYmA e -0,76 cm e -0,69 cm para CGSYmB).

Em trabalho recente, Rezende (1997) estudou os efeitos da seleção e da oscilação genética sobre a heterose, a depressão por endogamia e a variabilidade genética nas populações de milho BR-105 e BR-106. Encontrou que o processo de seleção recíproca recorrente foi efetivo em melhorar a média e a heterose do híbrido interpopulacional, uma vez que o cruzamento IG3 x IG4 apresentou uma produtividade de 9.215 kg/ha e foi 16,71% (1.319 kg/ha) mais produtivo que o cruzamento BR-105 x BR-106, cuja produtividade foi de 7.896 kg/ha. Além disso, o processo seletivo foi eficiente em melhorar a média e reduzir a depressão por endogamia da população BR-105, mas não foi efetivo em melhorar a população BR-106, que apresentou decréscimo em seu desempenho individual e manteve seus níveis de depressão por endogamia, para a maioria de caracteres.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material genético

3.1.1. Descrição e origem da população base

Foi utilizada a população de milho SA3, liberada em 1993 e desenvolvida pelo Programa Regional Sulamericano de Milho do Centro Internacional de Melhoramento de Milho e Trigo (CIMMYT) em colaboração com programas nacionais de pesquisa da América do Sul e Ásia. Esta população que possui grãos amarelos semi-dentados com porte e ciclo intermediários, foi obtida a partir do inter cruzamento de 216 genótipos provenientes do CIMMYT-México que incluem 37 linhagens opaco-2 (o_2), 34 variedades experimentais da população 28, 25 progênies de irmãos germanos de Tuxpeño-1, 9 progênies de meios irmãos de La Posta, 8 progênies de Compuesto Selección Precoz, 26 linhagens braquitico-2 (br-2), 6 híbridos duplos do ICA-Colômbia, 18 variedades br-2 do CIAT-Colômbia, 28 variedades do Peru, 6 variedades da Bolívia, uma variedade da Tailândia e 18 coleções de Cateto do Brasil. A população SA3 foi submetida à seleção com progênies de meios irmãos modificado (MIM) e depois submetida à seleção com progênies de irmãos germanos (IG) por quatro ciclos (Granados et al., 1995b).

3.1.2. Obtenção do material genético

Da população de milho SA3, utilizaram-se 100 plantas para representar cada ciclo seletivo. Amostras correspondentes aos ciclos 2, 5, 8, 11, 14, 16, 18 e 20

foram utilizadas para a avaliação; para isto, no segundo semestre de 1994 e primeiro de 1995, na Estação Experimental do CIAT-CIMMYT em Cáli-Colômbia, foram multiplicadas as sementes relativas aos ciclos *per-se*. A seguir, estes foram autofecundados e cruzados em um esquema dialélico e, em seguida, tais cruzamentos foram autofecundados e recombinados. Este trabalho gerou um dialélico com 100 tratamentos, que correspondem a oito ciclos *per-se*, oito ciclos *per-se* autofecundados, 28 $F_{1's}$ entre os ciclos, 28 $F_{1's}$ entre ciclos autofecundados e 28 $F_{1's}$ recombinados.

3.2. Métodos

3.2.1. Execução experimental

Os 100 tratamentos que correspondem à amostra dos 20 ciclos seletivos da população SA3, foram avaliados seguindo o delineamento experimental látice parcialmente balanceado 10 x 10 com três repetições para cada ambiente. Os experimentos foram avaliados nos anos agrícolas 1995/96 e 1996/97, sendo instalados em oito ambientes localizados no Brasil e na Colômbia, cinco dos quais em solos ácidos (SA) e três em solos férteis (SF).

Os ambientes com SA foram: Carimagua (Colômbia) com 63% de saturação de alumínio e 10 ppm de fósforo (P), pH 4,1; Santander de Quilichao (Colômbia) com 34% de saturação de alumínio e 10 ppm de P, pH 4,0; Villavicencio 1 e 2 (Colômbia) com 53% e 64% de saturação de alumínio e 10 ppm de P, pH de 4,5 e 4,3, respectivamente; e Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS) Sete Lagoas - MG (Brasil), com 36% de saturação de alumínio e 5 ppm de P, pH de 5,1.

Os ambientes com SF foram: Palmira (Colômbia) pH 7,2; Fazenda Caterpillar, Piracicaba, São Paulo (Brasil) pH 4,8 e Santa Cruz das Palmeiras -

Agrocères, São Paulo (Brasil) pH 6,4; estes ambientes não apresentam nível tóxico de alumínio. O tamanho médio das parcelas foi de uma linha de 5 m de comprimento, e foram separados entre si por 75 cm. Na semeadura foram colocadas 33 sementes por parcela e 15 dias após a germinação foi efetuado o desbaste, procurando-se manter o estande de 22 plantas por parcela, resultando em uma densidade aproximada de 53.333 plantas por hectare.

As adubações de plantio e cobertura e o controle das plantas daninhas e insetos foram realizados de acordo com sua necessidade em cada ambiente. Todos os dados foram tomados na parcela, de uma amostra representativa obtida das plantas competitivas. A semeadura e a colheita foram realizadas manualmente.

Os caracteres avaliados foram:

- **Florescimento Feminino (FF)**: número de dias em que cerca de 50% das plantas da parcela tinham estigmas visíveis (dias/planta),
- **Altura da Planta (AP)**: média da altura da planta de cinco plantas competitivas, medidas do nível do solo à inserção da folha bandeira (cm/planta),
- **Altura da Espiga (AE)**: média da altura da espiga de cinco plantas competitivas medidas do nível do solo até a inserção da primeira espiga (cm/planta),
- **Posição Relativa da Espiga (PRE)**: indica a posição da primeira espiga em relação à altura da planta. É obtida dividindo-se a altura da primeira espiga pela altura da planta (AE/AP),
- **Estande (E)**: número de plantas por parcela no momento da colheita. Após a colheita as espigas despilhadas foram levadas ao laboratório,

Peso de Espigas (PE): é o peso de espigas despalhadas expresso em kilogramas por parcela (kg/par),

Número de Espigas por Parcela (NE): após a pesagem das espigas, efetuou-se a contagem do número total de espigas dentro de cada parcela,

Percentagem de Umidade de Grão (PU): medido em amostra de 100 gramas de grão com um determinador de umidade e,

Número de Espigas por Planta (EP): calculado dividindo-se o número de espigas pelo número total de plantas por parcela.

Os dados referentes ao caráter produção de grãos (PG) foi determinado assumindo que 80% do peso das espigas referem-se ao peso de grãos. A seguir, efetuou-se a correção para 15% de umidade mediante a seguinte fórmula:

$$PGC = PG \times [(100 - PU)/85] \times (10/AEP)$$

em que:

PGC = Produção de grãos corrigido para 15% de umidade em toneladas por hectare,

PG = Peso de grãos assumindo que 80% do peso das espigas referem-se ao peso de grãos,

(100 - PU) = coeficiente de percentagem de matéria seca,

85 = coeficiente para correção de umidade a 15%,

(10/AEP) = fator de correção para transformar kg/parcela em t/ha e,

AEP = área efetiva da parcela.

Para o caráter produção de grãos foram feitas correções para o stande médio, utilizando-se o método de correção por covariância descrito por Steel & Torrie (1960).

Os caracteres PG, FF e AP foram avaliados nos oito ambientes de avaliação, enquanto que AE, PRE e EP foram avaliados em sete ambientes.

3.2.2. Análises estatístico-genéticas

3.2.2.1. Análises da variância

Os dados experimentais coletados nos 100 tratamentos correspondentes aos oito ciclos *per-se*, oito ciclos *per-se* autofecundados, 28 $F_{1's}$ entre os ciclos, 28 $F_{1's}$ entre os ciclos autofecundados e 28 $F_{1's}$ entre os ciclos recombinados, foram analisados considerando estes como de efeitos fixos e os ambientes como aleatórios.

3.2.2.1.1. Análises de variâncias individuais

Realizou-se a análise de variância por ambiente segundo o delineamento em látice simples 10 x 10 com recuperação da informação intrabloco (Cockran & Cox, 1957; Pimentel Gomes & Garcia, 1991). Analisaram-se seis caracteres: produção de grãos, florescimento feminino, altura da planta, altura da espiga, posição relativa da espiga e número de espigas por planta. Adotou-se o seguinte modelo matemático:

$$Y_{ijk} = \mu + t_i + r_j + b_{k/j} + e_{ijk}$$

onde:

Y_{ijk} : média do tratamento i no bloco k na repetição j;

μ : média geral do experimento, $E(\mu) = \mu$; $E(\mu)^2 = \mu^2$;

t_i : efeito do tratamento i ($i = 1, 2, \dots, 100$) $E(t_i) = t_i$ e $E(t_i)^2 = t_i^2$

r_j : efeito da repetição j ($j = 1, 2, 3$), $E(r_j) = 0$; $E(r_j)^2 = \sigma_r^2$

$b_{k/j}$: efeito do bloco k dentro da repetição j ($k = 1, 2, \dots, 10$); $E(b_{k/j}) = 0$ e $E(b_{k/j})^2 = \sigma_b^2$;

e_{ijk} : erro experimental associado à parcela ik , dentro da repetição j ; $e_{ijk} \cap N(0, \sigma^2)$, isto é: $E(e_{ijk}) = 0$; $E(e_{ijk})^2 = \sigma_e^2$.

3.2.2.1.2. Análise da variância conjunta

A análise conjunta da variância dos experimentos foi realizada operando com os totais ajustados de tratamentos para cada ambiente. Adotou-se o seguinte modelo matemático para a análise conjunta:

$$Y_{ijkl} = \mu + t_i + r_{j(l)} + b_{k/jl} + a_l + (ta)_{il} + e_{ijl}$$

onde:

Y_{ijkl} = é a média do tratamento i , na repetição j , no bloco k , no ambiente l ;

μ = média geral do experimento; $E(\mu) = \mu$ e $E(\mu)^2 = \mu^2$;

t_i = efeito do tratamento i ($i = 1, 2, 3 \dots 100$) $E(t_i) = t_i$ e $E(t_i)^2 = t_i^2$;

$r_{j(l)}$ = efeito da repetição ($j = 1, 2, 3$) dentro do ambiente l $E(r_{j/l}) = 0$ e $E(r_{j/l})^2 = \sigma_r^2$;

$b_{k/jl}$ = efeito do bloco k ($k = 1, 2, 3 \dots 10$) dentro da repetição j , dentro do ambiente l $E(b_{k/jl}) = 0$ e $E(b_{k/jl})^2 = \sigma_b^2$;

a_l = efeito do ambiente l ($l = 1, 2 \dots L$) $E(a_l) = 0$ e $E(a_l)^2 = \sigma_a^2$;

$(ta)_{il}$ = efeito da interação entre o tratamento i e o ambiente l $E[(ta)_{il}] = 0$ e $E[(ta)_{il}]^2 = \sigma_{ta}^2$;

e_{ijl} = erro efetivo associado ao tratamento i , na repetição j , no bloco k , para o ambiente l ; $e_{ijkl} \cap N(0, \sigma_{ef}^2)$, isto é: $E(e_{ijkl}) = 0$; $E(e_{ijkl})^2 = \sigma_e^2$.

O esquema da análise conjunta de variância relativo aos 100 tratamentos pode ser visualizado na Tabela 1.

Tabela 1 - Esquema da análise conjunta de variância para delineamento em látice com as esperanças dos quadrados médios $E(QM)$.

FV	GL	QM	$E(QM)$
Ambientes	4	-	-
Repetições/Ambiente	10	-	-
Blocos(Rep/Amb) A_j	135	-	-
Tratamentos (A_j)	99	QMt	$\sigma_e^2 + r \frac{I}{I-1} \sigma_{ta}^2 + ar\phi_t$
Tratamentos x Ambientes	396	QMta	$\sigma_e^2 + r \frac{I}{I-1} \sigma_{ta}^2$
Erro ¹	855	QMe	σ_e^2

¹Erro intrabloco

$$\phi_t = \frac{\sum t_i^2}{I-1}$$

3.2.2.2. Estimativas dos parâmetros genéticos

Estimativas das respostas à seleção envolvendo todos os ciclos de seleção (MIM do ciclo 0 ao 16 e IG do ciclo 2 ao 4); das respostas à seleção considerando apenas o esquema de seleção com meios irmãos modificado (MIM) e das

respostas à seleção considerando apenas o esquema de seleção com progênies de irmãos germanos (IG) foram obtidas. Essas estimativas também foram obtidas para solos ácidos, solos férteis e considerando todos os ambientes, segundo o procedimento apresentado a seguir.

As alterações nos locos em homozigose e heterozigose devida à seleção e as alterações nos locos em heterozigose devida à oscilação genética foram estimadas de acordo com o modelo genético proposto por Smith (1979a,b; 1983). O modelo generalizado pode ser descrito da seguinte maneira:

$$C_{ij} = AOI + 2DOI + (J)2ALI + (J)2DLI + (J)^22DQI$$

onde:

- C_{ij} : é a média da população i no j ciclo seletivo;
- AOI : $\mu + \Sigma(2p - 1)$ refere-se à contribuição dos locos em homozigose ou dos efeitos aditivos para o ciclo 0 da população I;
- DOI : $\Sigma p(1 - p)d$, refere-se à contribuição dos locos em heterozigose ou dos efeitos de dominância para o ciclo 0 da população I;
- ALI : $\Sigma \Delta p a$ é função linear das alterações nos locos em homozigose ou contribuição dos efeitos aditivos para o progresso com a seleção na população I;
- DLI : $\Sigma \Delta p(1 - 2p)d$, é função linear das alterações nos locos em heterozigose ou contribuição dos efeitos de dominância para o progresso com a seleção na população I;
- DQI : $\Sigma (\Delta p)^2 d$, é função quadrática das alterações nos locos em heterozigose na população I. Corresponde ao efeito da oscilação genética nesta população pelo uso de tamanho efetivo populacional reduzido ($N_e < 25$).

Os parâmetros genéticos descritos são definidos considerando-se o modelo com dois alelos por loco. Nesta notação μ corresponde à média dos homozigotos extremos da população I; p corresponde às frequências do alelo favorável na população I; a , d e $-a$ são os valores genotípicos do homozigoto favorável, do heterozigoto e do homozigoto desfavorável, respectivamente, e Δp é a alteração na frequência do alelo favorável na população I.

Cabe ressaltar, que no modelo proposto por Smith (1979a,b; 1983), o parâmetro que estima o efeito da oscilação genética é definido como $DQI = \Sigma(\Delta p)^2 d$. Entretanto, para Falconer (1989), Δp refere-se às mudanças nas frequências do alelo favorável devido à seleção e δp indica mudanças nestas frequências devido ao efeito da oscilação genética. Portanto, são processos distintos e deve-se considerar como $DQI = \Sigma(\delta p)^2 d$, caracterizando-se este efeito como proveniente da oscilação genética (Souza Junior, 1995)¹.

O modelo geral pode ainda ser estendido à primeira geração de autofecundação das populações (S_1), os $F_{1's}$ entre ciclos, os $F_{1's}$ entre ciclos autofecundados e os $F_{1's}$ recombinados. Neste caso, de acordo com Smith (1983), têm-se:

$$C_U \text{ autofecundada} = AOI + DOI + (J)2ALI + (J)DLI + (J)^2DQI$$

$$(C_U \times C_{U'}) F_1 = AOI + 2DOI + (J + J')2ALI + (J + J')2DLI + (J \times J')2DQI$$

$$(C_U \times C_{U'}) F_1 \text{ autofecundada} = AOI + DOI + (J + J')2ALI + (J + J')2DLI + (J \times J')2DQI$$

$$(C_U \times C_{U'}) F_1 \text{ recombinada} = (C_U \times C_{U'})$$

¹ SOUZA JÚNIOR, C.L. Departamento de Genética-ESALQ/USP, Piracicaba. Anotações de aula, 1995.

Os parâmetros genéticos do modelo foram estimados usando a análise de quadrados mínimos, sendo $\beta = (X'X)^{-1} (X'Y)$, onde β corresponde ao vetor de parâmetros estimáveis do modelo, Y é o vetor formado pelas médias de tratamentos para o caráter avaliado e X é a matriz composta em função do número de ciclos e dos coeficientes dos parâmetros do modelo, cuja estrutura é apresentada no Apêndice 1.

Foram obtidas, também, estimativas dos seguintes parâmetros genéticos:

$b_0 = AOI + 2DOI$, que estima a contribuição da população original;

$b_1 = 2ALI + 2DLI$, que estima a resposta à seleção na população; e,

$b_2 = 2DQI$, que estima o efeito da oscilação genética na população melhorada, em que b_0 refere-se ao intercepto, b_1 e b_2 coeficientes parciais de regressão. Portanto, b_1 e b_2 são valores das alterações por ciclo seletivo.

A percentagem da resposta por ciclo foi estimada pela relação entre o coeficiente parcial de regressão linear (b_1) e o intercepto (b_0) e multiplicado por 100. Foram estimados os valores do coeficiente de determinação (R^2) para verificar a proporção da variação na variável dependente atribuível ao modelo através da seguinte expressão:

$$R^2 = 1 - SQD/SQT$$

onde:

$SQD : (Y'Y - \beta X'Y)$ Soma de quadrados dos desvios;

SQT : $[Y'Y - (\Sigma Y)^2/n]$ Soma de quadrados totais corrigida;

Y : vetor das médias de tratamento;

Y' : transposta da matriz Y;

X' : transposta da matriz X;

β : vetor de parâmetros do modelo.

3.2.2.3. Aplicação do teste "t"

A significância da hipótese de que cada parâmetro do modelo é nulo, isto é, $H_0 (\beta_i = 0)$, foi avaliada pelo teste "t" através da expressão:

$$t = \frac{\beta_i}{\sqrt{V(\beta_i)}} ;$$

onde:

β_i : estimativa do parâmetro;

V : variância estimada do parâmetro.

As variâncias relacionadas a cada estimativa $[V(\beta)]$ foram obtidas multiplicando-se a diagonal principal da matriz $(X'X)^{-1}$ pela relação entre o quadrado médio do erro da análise da variância conjunta e o produto do número de repetições pelo número de ambientes utilizados nos ensaios. Os erros associados às estimativas $[S(\beta_i)]$ foram obtidos pela extração da raiz quadrada da variância de cada estimativa e utilizados para determinar o nível de significância dos parâmetros do modelo.

As significâncias dos parâmetros b_0 , b_1 e b_2 foi avaliada através das seguintes expressões:

$$t = \frac{AOI + 2DOI}{\sqrt{V(AOI) + V(2DOI) + 2COV(AOI, 2DOI)}} ,$$

$$t = \frac{2(ALI + DLI)}{\sqrt{V(2ALI) + V(2DLI) + 2COV(2ALI, 2DLI)}} e$$

$$t = \frac{2DQI}{\sqrt{V(2DQI)}}$$

onde:

AOI, DOI, ALI, DLI, DQI : estimativas dos parâmetros do modelo,

V : variâncias estimadas dos parâmetros do modelo e,

COV : covariâncias estimadas entre os parâmetros do modelo.

Foi utilizado o procedimento IML do programa SAS (1988) para realizar as análises de regressão e obter as estimativas dos parâmetros genéticos do modelo. A estrutura do procedimento IML é apresentada no Apêndice 2.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análises da variância

4.1.1 Produção de grãos (PG)

As significâncias dos quadrados médios (teste F) detectadas nas análises de variância conjunta no experimento em látice, a média geral e os coeficientes de variação experimental (CVE), para o caráter PG avaliado sob condições de solo ácido, solo fértil e SF + SA, estão apresentadas nas Tabelas 2, 4 e 6, respectivamente. Deve-se salientar que com o objetivo de melhorar a precisão dos experimentos realizados, o látice foi analisado utilizando a análise intrabloco que considera as diferenças entre blocos e que são, geralmente, importantes (Pimentel Gomes & Garcia, 1991).

Diferenças significativas ($P \leq 0,01$) para ambientes foram observadas nos dois tipos de ambientes e envolvendo os dois ambientes. O quadrado médio do erro e o CVE para este caráter no SA, apresentaram magnitudes de 26,4% e 50,7% superiores às obtidas no SF, respectivamente. A média de PG em SA foi inferior em 42,5% à obtida sob condições de SF (2,76 t/ha vs 4,80 t/ha). Produção de grãos em ambientes com SF superior aos dos ambientes em SA, tem sido reportada por vários autores em diferentes populações de milho (Aguiar, 1986; Gama et al., 1986; Resende 1989; Pandey et al., 1995). Esses resultados são um indicativo de que as condições ambientais sob as quais foram avaliados os tratamentos (ciclos seletivos) tiveram influência significativa na expressão fenotípica deste caráter, e que, ambientes com altos níveis de alumínio tóxico reduzem significativamente a produção de grãos no milho.

O efeito de tratamentos neste experimento avalia as diferenças entre ciclos seletivos, sendo que cada ciclo seletivo foi avaliado através de diferentes tipos de progênies geradas em um sistema dialélico. Para tratamentos, o teste F detectou significâncias ($P \leq 0,01$) para este caráter; este resultado era esperado em razão de que nesta fonte de variação, estão embutidos os efeitos de uma amostra de vinte ciclos seletivos da população SA3. Para a interação tratamentos x ambientes, o teste F detectou significâncias ($P \leq 0,01$). Este resultado evidencia o desempenho diferencial dos tratamentos através dos dois tipos de ambientes e envolvendo os dois ambientes de avaliação. Significâncias ao nível de 1% para tratamentos e para a interação tratamentos x ambientes nesta mesma população, têm sido reportadas por outros autores em avaliações realizadas com diferentes tipos de progênies e através de vários ciclos seletivos em ambientes de SF e SA (Granados et al., 1993; Duque-Vargas et al., 1994).

Também é conveniente salientar que o caráter PG caracteriza-se por ter baixa herdabilidade e ser muito influenciado pelas condições ambientais; vários autores reportam estimativas de coeficientes de herdabilidade baixas para este caráter em populações de milho sob condições de SA (Borrero et al., 1995; Resende et al., 1997).

4.1.2 Dias para florescimento feminino (FF)

Os valores e significâncias dos quadrados médios (teste F) obtidos nas análises de variância conjunta, a média geral e os CVE para este caráter avaliado sob condições de SA, SF e SF + SA encontram-se nas Tabelas 2, 4 e 6, respectivamente.

Nos dois tipos de ambientes e envolvendo os dois ambientes, os quadrados médios para ambientes foram significativos ($P \leq 0,01$) para este caráter. O quadrado médio do erro e o CVE em SA apresentaram magnitudes de 46,4% e

24,4 % superiores às obtidas em SF, respectivamente. No que diz respeito à média de FF nos ambientes com SA, esta foi superior em 3,1 % em relação à obtida em SF (65,1 dias vs 63,1 dias). No que tange à magnitude da média em ambos os tipos de ambientes (SF + SA) apresentou valor de 64,4 dias. Número de dias para FF em ambientes de SA maior que em SF, tem sido reportado por vários pesquisadores em estudos realizados com a mesma população (Duque-Vargas et al., 1994; Pandey et al., 1994). Por outro lado, sabe-se que estresse ambiental retarda o florescimento do milho (Troyer & Brown, 1972; Aldrich et al., 1975) e, a capacidade de um genótipo para apresentar adiantamentos no florescimento, pode ser um reflexo de sua tolerância à acidez do solo (Granados et al., 1993). As significâncias observadas para ambientes neste caráter sugerem que as condições ambientais afetaram a sua expressão fenotípica e que ambientes com altos níveis de alumínio no solo, conduzem a acréscimos nos dias para o florescimento feminino.

Detectaram-se diferenças altamente significativas ($P \leq 0,01$) entre tratamentos para este caráter. Este resultado evidencia que existe diferenças genéticas para FF entre os diferentes ciclos seletivos. O teste F para a interação tratamentos x ambientes não apresentou significância ($P \leq 0,01$ e $P \leq 0,05$), evidenciando que os tratamentos não apresentaram comportamento diferencial nos diferentes ambientes para FF. Cabe salientar que este caráter apresenta herdabilidade alta, conseqüentemente, é pouco influenciado pelas condições ambientais. Estimativas de herdabilidade relativamente altas têm sido reportadas neste caráter em estudos realizados com diferentes populações de milho em ambientes de SF e SA (Duque-Vargas et al., 1994; Borrero et al., 1995; Resende et al., 1997).

4.1.3 Altura da planta e da espiga (AP e AE)

As significâncias dos quadrados médios (teste F) das análises de variância conjunta, a média geral e o CVE para o caráter AP avaliado em ambientes de SA, SF e SF + SA estão nas Tabelas 2, 4 e 6, respectivamente e, para o caráter AE, estão nas Tabelas 3, 5 e 7, respectivamente.

Diferenças significativas ($P < 0,01$) para ambientes foram observadas para o caráter AP sob condições de SF, SA e SF + SA. O quadrado médio do erro em condições de SA apresentou magnitude inferior em 4,5% em relação àquele obtido em SF, e o CVE sob condições de SA, foi superior em 24,7% ao valor obtido em SF. Valores superiores de CVE obtidos em SA é um indicativo da maior variação fenotípica encontrada para este caráter, como consequência da heterogeneidade ambiental presente nos solos com altos níveis de saturação de alumínio. A média de AP em SA foi 26,4% inferior em relação à média em SF (164,5 cm vs 223,5 cm). Esses resultados, evidenciam o marcante efeito que tem o alumínio tóxico sobre a expressão fenotípica deste caráter. Vários autores (Aguiar 1986; Resende 1989; Granados et al., 1993) reportaram resultados semelhantes em avaliações realizadas sob condições de ambientes contrastantes.

Para o caráter AE, as análises de variância conjunta apresentaram diferenças significativas ($P \leq 0,01$) para ambientes sob condições de SF, SA e SF + SA. Em ambientes com SA, o quadrado médio do erro para este caráter foi 34,5% inferior ao obtido sob condições de SF. O CVE obtido em condições de SA, apresentou um valor de 27,6% superior ao obtido em SF, o que era esperado em função das diferentes condições dos ambientes em questão. A média de AE em SA foi 41,4% inferior em relação àquela obtida em SF (71,9 cm vs 122,8 cm). Altura da espiga

inferior em ambientes com SA tem sido reportada em vários trabalhos com diferentes materiais genéticos de milho (Aguiar, 1986; Resende, 1989; Salazar et al., 1997). Esses resultados confirmam o pronunciado efeito que produz o alumínio tóxico sobre este caráter e em geral, no desenvolvimento da planta do milho.

Para o caráter AP, o efeito de tratamentos apresentou diferenças significativas ($P \leq 0,01$) através dos dois tipos de ambientes e combinação desses. A interação tratamentos x ambientes não foi significativa ($P \leq 0,01$ e $P \leq 0,05$) em ambientes de SF e altamente significativa ($P \leq 0,01$) em ambientes de SA e SF + SA. A significância encontrada para a interação nestes dois tipos de ambientes não era esperada, em decorrência que o caráter AP caracteriza-se por ter alta herdabilidade, conseqüentemente, ser pouco influenciado pelas condições ambientais. Esse resultado é um indicativo de que houve mudanças significativas no desempenho dos tratamentos através de ambientes com SA e SF + SA. Assim mesmo, cabe indicar que valores de herdabilidade intermediárias têm sido reportados para este caráter em populações de milho avaliadas em ambientes de SF e SA (Duque-Vargas et al., 1994; Resende et al., 1997).

No que se refere ao efeito de tratamentos para o caráter AE, diferenças significativas ($P \leq 0,01$) foram detectadas. A interação tratamentos x ambientes não foi significativa ($P \leq 0,01$ e $P \leq 0,05$) nos dois tipos e combinação de ambientes; esse resultado era esperado em decorrência da alta herdabilidade que tem este caráter. Estimativas relativamente altas de herdabilidade para AE têm sido reportadas em populações de milho sob condições de solos contrastantes (Duque-Vargas, 1994; Resende et al., 1997).

4.1.4 Posição relativa de espiga (PRE)

Os valores e significâncias dos quadrados médios (teste F) obtidos nas análises de variância conjunta, a média geral e os CVE para o caráter PRE avaliado sob condições de SA, SF e SF + SA encontram-se nas Tabelas 3, 5 e 7, respectivamente.

Estas análises mostram diferenças altamente significativas ($P \leq 0,01$) para ambientes, o que já era esperado em função das diferentes condições ambientais utilizadas na avaliação. O quadrado médio do erro e o CVE para este caráter em condições de SA apresentaram valores superiores em 24,2% e 38,2% àqueles obtidos em condições de SF, respectivamente. Além disso, a média de PRE sob ambientes de SA foi 29,2% inferior à obtida em SF (0,38 vs 0,54). Esses resultados eram esperados já que o caráter PRE é uma relação entre AE/AP, e as médias para estes dois caracteres sob condições de SA apresentaram reduções significativas em seu desempenho.

No que diz respeito ao efeito de tratamentos, o teste F detectou diferenças altamente significativas ($P \leq 0,01$) sob condições de SA e SF + SA respectivamente. Para esta fonte de variação não houve significância ($P \leq 0,01$ e $P \leq 0,05$) sob condições de SF, o que evidencia que o efeito deste tipo de ambiente não afetou significativamente a expressão fenotípica deste caráter.

Não foi observada interação significativa ($P \leq 0,01$ e $P \leq 0,05$) de tratamentos x ambientes na avaliação realizada para PRE nos dois tipos e combinação de ambientes, demonstrando que os tratamentos não apresentaram um desempenho diferencial nos diversos ambientes. Esse resultado evidencia a alta herdabilidade e correlação que apresentam AE e AP, que são dois componentes do índice PRE.

4.1.5 Número de espigas por planta (EP)

Nas Tabelas 3, 5 e 7 estão apresentadas as significâncias dos quadrados médios (teste F) detectados nas análises de variância conjunta, a média geral e os CVE para o caráter EP avaliados sob condições de SA, SF e SF + SA, respectivamente.

Diferenças altamente significativas ($P \leq 0,01$) foram detectadas nos dois tipos e combinação de ambientes de avaliação. O quadrado médio do erro e o CVE para este caráter em condições de SA foram 46,9% e 33,9% superiores em relação às obtidas em condições de SF, respectivamente. A média de EP em ambientes com SA foi 9,3% inferior à obtida sob condições de SF (0,91 espigas vs 1,01 espigas). Valores inferiores do caráter EP em SA, têm sido reportados em diversas avaliações realizadas com a população SA3 (Duque-Vargas et al., 1994).

Foram detectadas diferenças significativas ($P \leq 0,01$) para tratamento nos dois tipos de ambientes e combinação desses. Este resultado era esperado em decorrência de que nesta fonte de variação estão considerados os efeitos de uma amostra de diferentes ciclos seletivos da população SA3. O teste F para a interação tratamentos x ambientes foi altamente significativo ($P \leq 0,01$) em ambientes com SA e significativo ($P \leq 0,05$) em ambientes com SA e SF + SA, respectivamente. Estes resultados demonstram que os tratamentos tiveram um desempenho diferencial em relação aos ambientes, sugerindo que houve variação entre ciclos seletivos em função das mudanças ambientais. Por outro lado, cabe ressaltar que EP é um caráter associado com produção de grãos e ambos os caracteres apresentam baixa herdabilidade, portanto, são afetados pelas condições ambientais. Além disso, estimativas altas de correlação genética têm sido reportadas para ambos os caracteres em populações de milho em ambientes com SA (Duque-Vargas et al., 1994; Borrero et al., 1995).

4.2 Respostas à seleção

4.2.1 Produção de grãos (PG)

As estimativas de quadrados mínimos para o caráter produção de grãos (PG) devido aos efeitos dos homozigotos ou aditivos (AOI) e dos heterozigotos ou de dominância (DOI) para o ciclo 0 da população SA3 avaliada sob condições de solos ácidos (SA), para os processos de meios irmãos modificado (MIM), irmãos germanos (IG) e considerando os processos (MIM + IG), encontram-se nas Tabelas 8, 11 e 14 respectivamente. Observa-se que para este caráter não houve contribuição significativa ($P \leq 0,01$ e $P \leq 0,05$) dos efeitos aditivos para os processos seletivos MIM, IG e MIM + IG. A estimativa dos efeitos aditivos apresentou um valor baixo e negativo para o processo MIM + IG (Tabela 14). O parâmetro DOI apresentou valores positivos e significativos ($P \leq 0,01$) para os três processos seletivos, indicando o pronunciado efeito devido à dominância dos locos que controlam PG. A proporção entre os efeitos aditivos e de dominância na população inicial (AOI : 2DOI) foi 11,7% : 88,3% para MIM; de 77,0% : 92,3% para IG e 1,2% : 98,8% para MIM + IG, respectivamente (Tabelas 8, 11 e 14). Esses resultados indicam uma forte preponderância dos efeitos de dominância na população inicial.

As estimativas do parâmetro relativo aos efeitos de dominância devido à seleção (DLI) foram positivas e significativas ($P \leq 0,01$) para MIM em SA, o que é um indicativo de alteração nos locos em heterozigose, no sentido de aumentar a expressão deste caráter; para esse mesmo processo seletivo, as estimativas ALI foram negativas, mas significativas em nível de 10% de probabilidade, evidenciando alteração nos locos em homozigose no sentido de diminuir a expressão da PG (Tabela 9). Para o processo de IG (Tabela 12), as estimativas de DLI foram positivas e não significativas

neste tipo de ambiente, indicando que os efeitos de dominância apresentaram uma tendência em aumentar a expressão deste caráter. Por outro lado, as estimativas de ALI para IG foram negativas e não significativas. Vários autores (Lima et al., 1995; Borrero et al., 1995; Salazar et al., 1997) reportaram que os efeitos de dominância para PG foram preponderantes em diferentes populações de milho sob condições de SA. Os parâmetros ALI e DLI foram positivos e não significativos ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) para PG no processo MIM + IG em SA, evidenciando que a seleção apresentou uma tendência em aumentar a média por ciclo seletivo na população SA3, porém, com predominância dos efeitos aditivos (Tabela 15).

A oscilação genética causa alterações nos locos em heterozigose devido ao tamanho efetivo populacional reduzido, refletindo em alterações nas médias e variâncias das populações. Por outro lado, a oscilação genética é inversamente proporcional ao tamanho efetivo populacional; portanto, quanto maior o tamanho efetivo, menor será a magnitude desta (Falconer, 1989; Souza Junior, 1995).

Para os três processos seletivos e em condições de SA, os efeitos da oscilação genética (DQI) na população SA3 para o caráter PG apresentaram-se positivos, não significativos ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) e de baixa magnitude (Tabelas 9, 12 e 15); esses resultados demonstraram que os efeitos da DQI foram direcionais, apresentando uma tendência em aumentar a PG, sendo também um indicativo que o tamanho efetivo populacional utilizado através dos diferentes ciclos e processos seletivos na população SA3 foi adequado ($N_e > 25$).

De acordo com o modelo de Smith (1979a,b; 1983), a resposta observada por ciclo pode ser definida como $2(ALI + DLI + DQI)$, no qual os progressos devido à seleção são confundidos com os efeitos devido à oscilação genética.

A resposta à seleção $2(\text{ALI} + \text{DLI})$ é uma função do progresso observado $2(\text{ALI} + \text{DLI} + \text{DQI})$ corrigido para os efeitos da oscilação genética.

Quanto à resposta corrigida $2(\text{ALI} + \text{DLI})$ para PG nos três processos seletivos em ambientes com SA, os progressos foram de $0,22 \times 10^{-1}$ t/ha por ciclo (0,76%^{**}); de $0,28 \times 10^{-1}$ t/ha por ciclo (0,89% ns) e de $0,72 \times 10^{-2}$ t/ha por ciclo (0,23%ns) para MIM, IG e MIM + IG, respectivamente (Tabelas 10, 13 e 16). As respostas observadas foram superiores às corrigidas em 3,5%; 36,4% e 2,9%, respectivamente. Estas estimativas são um indicativo de que a oscilação genética (2DQI) atuou na mesma direção que a seleção, produzindo um acréscimo em sua resposta.

As estimativas do progresso para PG em ambientes com SA neste estudo, são bastante inferiores às respostas com a população SA3 neste tipo de ambiente quando comparados com os relatos de Granados et al. (1993), que observaram um melhoramento de 1,9% por ciclo após 14 ciclos de MIM e de 13,9% por ciclo após dois ciclos de IG; e também por Pandey et al. (1995) que reportaram progressos de 1,3% por ciclos após 14 ciclos de MIM, 11,3% por ciclo após dois ciclos de IG e de 1,7% por ciclo após 18 ciclos de MIM + IG. Resultados do CIMMYT (1986), reportaram progressos de 3,9% por ciclo após quatro ciclos de IG. Esses resultados são inferiores aos reportados por outros autores, em avaliações realizadas com diferentes populações de milho sob condições de SA (Aguilar, 1986; Resende, 1989; Lima et al., 1992).

As diferenças observadas entre as respostas à seleção sob condições de SA neste estudo, com as respostas de outros estudos, evidenciam que a resposta à seleção é função do número de ambientes, do diferente nível de saturação de alumínio presente no solo no qual as populações foram avaliadas, das diferenças nos métodos utilizados na avaliação e do número de ciclos de seleção avaliados em cada população.

Nas Tabelas 17, 20 e 23, encontram-se as estimativas de quadrados mínimos para PG dos efeitos aditivos e de dominância para o ciclo 0 da população SA3 avaliada sob condições de SF para os três processos seletivos. Verifica-se que para o caráter PG o parâmetro relativo à contribuição dos efeitos aditivos (AOI) para o ciclo 0 da população SA3, não apresentou significância ($P \leq 0,01$ e $P \leq 0,05$) para os três processos seletivos. As estimativas dos efeitos aditivos foram negativas para MIM e MIM + IG (Tabelas 17 e 23). Todavia, foi positiva e significativa em nível de 10% de probabilidade sob seleção com IG, sendo que sua estimativa foi relativamente alta, isto é, 0,67 t/ha (Tabela 20). Entretanto, os efeitos de dominância (DOI) contribuíram significativamente para o ciclo 0 da população SA3, sob os três processos seletivos. Estas estimativas sugerem que a PG foi fortemente controlada por locos com efeitos de dominância. De acordo com o modelo de Smith, a média do ciclo 0 é igual a $AOI + 2DOI$. A proporção entre os efeitos aditivos e de dominância foram de 0,2%:99,8% para MIM, 11,9%:88,1% para IG e 4,2%:95,8% para MIM + IG (Tabelas 17, 20 e 23), evidenciando uma forte preponderância dos locos com efeitos de dominância na população inicial. Vários autores, em pesquisas realizadas com diferentes materiais genéticos de milho, relataram efeitos de dominância preponderantes nas populações iniciais (Tanner & Smith, 1987; Helms et al., 1989; Stojšin & Kannenberg, 1994; Rezende, 1997).

As estimativas dos efeitos de dominância devida à seleção (DLI) para PG em ambientes com SF foram positivas e significativas ($P \leq 0,05$), enquanto que as estimativas dos efeitos aditivos (ALI) foram negativas e não significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) para o processo seletivo de MIM (Tabela 18). As estimativas para os parâmetros ALI e DLI não foram significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) para o processo de IG sob condições de SF, sendo positiva para DLI e negativa para ALI,

respectivamente. Os efeitos dominantes e aditivos apresentaram uma tendência em aumentar e diminuir a média de PG na população SA3, não ocorrendo uma tendência marcante de predominância entre eles (Tabela 21). As estimativas dos efeitos aditivos (ALI) e de dominância (DLI) para o processo seletivo MIM + IG neste tipo de ambiente, foram positivas e não significativas (Tabela 24). Ambos os tipos de efeitos apresentaram magnitudes semelhantes e uma tendência em aumentar a média da população SA3. Esse resultado já foi reportado por outros autores em estudos realizados com diferentes populações de milho (Helms et al., 1989; Keeratinijakal & Lamkey, 1993b).

A estimativa da perda de heterozigose devido à oscilação genética (DQI) na população SA3 para MIM em ambientes com SF foi negativa, não significativa ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) e de baixa magnitude (Tabela 18). Por outro lado, verificou-se que a estimativa do parâmetro DQI neste tipo de ambiente e para o processo de IG, foi positiva, não significativa ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) e de baixa magnitude, ressaltando que efeitos da oscilação genética foram direcionais, apresentando uma tendência em aumentar a PG na população SA3 (Tabela 21).

Para o processo de MIM + IG em ambientes com SF a estimativa da oscilação genética na população SA3 para o caráter PG foi negativa e significativa ($P \leq 0,05$). Essa tendência evidencia que os efeitos do DQI limitaram o melhoramento da PG na população SA3. Este resultado já foi reportado por outros autores em pesquisas realizadas com diferentes populações de milho (Landi & Frascaroli, 1993; Keeratinijakal & Lamkey, 1993b; Stojšin & Kannenberg, 1994a; Rezende, 1997).

Quanto a resposta corrigida à seleção $2(ALI + DLI)$ para PG nos três processos seletivos em ambientes com SF, os processos foram de $0,20 \times 10^{-1}$ t/ha por

ciclo ($0,36\%*$); $0,04 \times 10^{-1}$ t/ha por ciclo ($0,07\%$ ns) e de $0,74 \times 10^{-2}$ t/ha por ciclo ($0,12\%$ ns) para MIM, IG e MIM + IG, respectivamente (Tabelas 19, 22 e 25). As respostas corrigidas foram superiores às observadas em $3,6\%$ e $10,4\%$ nos processos MIM e MIM + IG. O inverso ocorreu para IG, ou seja, a resposta corrigida foi inferior à observada em $9,1\%$. Esses resultados indicam que nos processos MIM e MIM + IG, os efeitos da oscilação genética (2DQI) apresentaram uma tendência em limitar o melhoramento para PG na população SA3.

As estimativas do progresso para PG em ambientes de SF neste estudo, foi semelhante em sinal e magnitude à reportada por Pandey et al. (1995) para MIM + IG na população SA3 ($0,07\%$ vs $0,08\%$) e bastante inferior à de Granados et al. (1993) que reportaram 11% por ciclo para MIM. Dessa forma, foi significativamente inferior à resposta média à seleção de $3,5\%$ por ciclo reportada na literatura de milho para ambientes com SF sem estresse (Hallauer & Miranda Filho, 1988) e aos progressos médios reportados por vários pesquisadores em diferentes populações de milho sob seleção de meios irmãos neste tipo de ambiente (Souza Junior, 1983; Aguiar, 1986; Resende, 1989; Souza Junior et al., 1993). As baixas estimativas do progresso nesta população evidenciaram que a seleção em solos ácidos não acarretou o melhoramento em solos férteis.

Na média dos ambientes (SF + SA) as estimativas do AOI não foram significativas ($P \leq 0,01$ e $P \leq 0,05$) para os três processos seletivos. Entretanto, observou-se magnitudes positivas para estes efeitos para MIM e IG (Tabelas 26 e 29) e negativa para MIM + IG (Tabela 32). As estimativas de DOI para este caráter foram positivas e significativamente diferentes de zero ($P \leq 0,01$) nos três processos seletivos (Tabelas 26, 29 e 32). A proporção entre os efeitos aditivos e de dominância no ciclo 0 da população inicial (AOI : 2DOI) apresentou as seguintes magnitudes: $5,1\%:94,9\%$

para MIM, 8,7%:91,3% para IG e de 2,9%:97,1% para MIM + IG, respectivamente. Esses resultados evidenciam um alto nível de heterozigosidade nos locos que controlam este caráter.

Na combinação de ambientes (SF + SA) a contribuição dos efeitos aditivos e de dominância para o progresso com seleção (ALI e DLI) na população SA3 para MIM, foram positivas e significativas ($P \leq 0,01$) para os efeitos de dominância, e negativas e significativas ($P \leq 0,05$) para os efeitos aditivos, apresentando preponderância dos efeitos de dominância para PG (Tabela 27). Esses resultados também têm sido reportados em estudos realizados com diferentes populações de milho sob condições de solos contrastantes (Duque-Vargas et al., 1994; Borrero et al., 1995). Para o processo de IG as estimativas dos efeitos aditivos e de dominância devidas à seleção para PG não foram significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$), sendo positivas para DLI e negativas para ALI, não ocorrendo uma tendência marcante de predominância entre eles (Tabela 30). Esses resultados indicam que locos em heterozigose e em homozigose controlam a expressão deste caráter. As estimativas dos efeitos aditivos e dominantes para MIM + IG (Tabela 33) foram positivas e não significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$), ocorrendo uma tendência marcante de predominância dos efeitos aditivos (ALI) sobre os dominantes (DLI).

A estimativa da oscilação genética (DQI) não foi significativa ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) para PG na média dos ambientes (SF + SA), para os três processos seletivos, sendo positiva para MIM e IG e negativa para MIM + IG (Tabelas 27, 30 e 33); além disso, apresentou baixa magnitude, o que sugere que os efeitos de DQI não foram importantes para o melhoramento da PG na população SA3 em ambientes de solos contrastantes.

As estimativas das respostas corrigidas à seleção para PG nos três processos seletivos na média dos ambientes (SF + SA), foram de $0,22 \times 10^{-1}$ t/ha por ciclo (0,56%**) para MIM; de $0,08 \times 10^{-1}$ t/ha por ciclo (0,19%ns) para IG e de $0,72 \times 10^{-2}$ t/ha por ciclo (0,17%ns) para MIM + IG, respectivamente (Tabelas 28, 31 e 34). Entretanto, as respostas observadas foram superiores às corrigidas em 1 % para MIM e em 55,6% para IG. O inverso ocorreu para MIM + IG, ou seja, a resposta corrigida foi superior à observada em 2,3%.

As estimativas da resposta corrigida à seleção para PG encontradas neste estudo em ambientes contrastantes (SF + SA), são bastante inferiores às reportadas com a mesma população por Granados et al. (1998). Estes autores observaram progressos de 1,5% por ciclo após 14 ciclos de MIM e de 8,1 % por ciclo após dois ciclos de IG. Pandey et al. (1995) também observaram progressos de 0,75 % para MIM, de 9,3% para IG e de 1,2% para MIM + IG sob ambientes contrastantes. Outros autores reportaram progressos médios por ciclo superiores, avaliado em diferentes populações de milho sob condições de solos contrastantes (Aguiar, 1986; Resende, 1989).

Os valores dos coeficientes de determinação (R^2) apresentaram intervalo de variação de 86,77% a 96,00%. Estas magnitudes indicam que a maioria da variação entre tratamentos foi explicada pela variação dos parâmetros, embora houvesse significância dos desvios em relação ao modelo admitido.

Ressalta-se que o efeito da interação tratamentos x ambientes para PG, foi altamente significativo nesta pesquisa, comprovando que as condições ambientais limitaram ou reduziram a utilização de variação útil para o melhoramento da produção de grãos sob ambientes de SA, SF e SF + SA, respectivamente. Dessa maneira, as

magnitudes dos progressos obtidos nesta pesquisa, sugerem que a seleção no próprio ambiente ácido conduz a melhores progressos no mesmo. Estes resultados já foram evidenciados em pesquisas realizadas por outros autores, em diferentes populações e, em ambientes com estresse por alumínio (Aguiar, 1986; Granados et al., 1993; Resende et al., 1997).

4.2.2 Dias para florescimento feminino (FF)

As estimativas de quadrados mínimos dos efeitos aditivos (AOI) no ciclo 0 da população SA3 para os processos de meios irmãos modificado (MIM), irmãos germanos (IG) e considerando os dois processos (MIM + IG), foram positivas e significativas ($P \leq 0,01$) sob condições de solos ácidos (SA) para este caráter (Tabelas 8, 11 e 14). Entretanto, a contribuição dos efeitos de dominância (DOI) na população inicial foi negativa, significativa ($P \leq 0,01$) e de menor magnitude para os três processos, respectivamente. Esses resultados evidenciam preponderância de efeitos aditivos na população inicial para dias para florescimento feminino (FF). A proporção entre os efeitos aditivos e de dominância (AOI : 2DOI) na população inicial foi de 96,8% : 3,2% para MIM, 94,6% : 5,4% para IG e 95,1% : 4,9% para MIM + IG, respectivamente, indicando que principalmente os locos em homozigose contribuíram para a média da população inicial.

A contribuição dos efeitos de dominância devido à seleção (DLI) foi negativa e significativa ($P \leq 0,01$) para MIM. Para este mesmo processo, as estimativas dos efeitos aditivos (ALI) foram positivas e significativas ($P \leq 0,01$), porém de menor magnitude (Tabela 9). Esses resultados indicam alteração nos locos em heterozigose, no sentido de diminuir a expressão de FF na população SA3. Para o processo de IG (Tabela 12), as estimativas de ALI e DLI foram negativas e não

significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$), indicando maior contribuição dos efeitos de dominância para diminuir a expressão deste caráter. As estimativas para DLI foram negativas e significativas ($P \leq 0,01$) para o processo de MIM + IG neste tipo de ambiente, o que é um indicativo da alteração nos locos em heterozigose no sentido de diminuir a expressão deste caráter. As estimativas de ALI foram positivas e não significativas ($P \leq 0,10$), evidenciando uma tendência marcante de predominância dos efeitos de dominância para este caráter (Tabela 15). Vários autores (Duque-Vargas et al., 1994; Borrero et al., 1995) reportaram que os efeitos de dominância para FF foram preponderantes em diferentes populações de milho sob condições de SA.

O efeito da oscilação genética (DQI) na população SA3 em condições de SA foi positiva e significativa ($P \leq 0,01$) para MIM, negativa e significativa ($P \leq 0,10$) para IG e positiva e não significativa para MIM + IG (Tabelas 9, 12 e 15, respectivamente). Ressalta-se que no processo de IG a magnitude e direção de DQI evidencia que o efeito da oscilação genética atuou em sentido favorável aos objetivos da seleção, ou seja, diminuindo os dias para florescimento feminino.

Em relação à resposta corrigida à seleção $2(ALI + DLI)$ para FF nos três processos seletivos em ambientes com SA, os progressos foram de $-88,5\% \times 10^{-1}$ dias ($-0,13\%^{**}$); $-2,32 \times 10^{-1}$ dias ($-0,36\%^{*}$) e $-5,08 \times 10^{-2}$ dias ($-0,08\%^{**}$) para MIM, IG e MIM + IG, respectivamente (Tabelas 10, 13 e 16). As respostas corrigidas foram superiores às observadas em 7,8% e 2,5% para MIM e MIM + IG, respectivamente. O inverso ocorreu para IG, onde a resposta observada foi superior à corrigida em 24,2%. Este resultado evidencia que a oscilação genética (2DQI) atuou em sentido favorável aos objetivos da seleção. A estimativa do progresso para FF em ambientes de SA neste estudo, foi superior à reportada com a população SA3 neste tipo de ambiente por Granados et al. (1993), que observaram um melhoramento de $-0,001\%$ após 14

ciclos de MIM. Para o processo de IG após dois ciclos de seleção, esses autores reportaram progressos semelhantes em direção, mas não em magnitude (-0,36% vs -2,08%). As diferenças observadas entre as respostas obtidas neste estudo com as reportadas de outras pesquisas, podem ser atribuídas ao diferente nível de saturação de alumínio presente nos ambientes de avaliação e ou, às diferenças na metodologia utilizada para obter estas estimativas.

Em ambientes como solos férteis (SF), as estimativas da contribuição dos efeitos aditivos (AOI) na população inicial foram positivas e significativas ($P \leq 0,01$) para os processos de MIM, IG e MIM + IG, respectivamente. As estimativas dos efeitos de dominância (DOI) foram negativas e significativas ($P \leq 0,01$) para os três processos seletivos na população inicial (Tabelas 17, 20 e 23). A proporção entre os efeitos aditivos e de dominância (AOI : 2DOI) foram de 94,2% : 5,8% para MIM; 93,8% : 6,2% para IG e de 93,5% : 6,5% para MIM + IG, evidenciando uma forte preponderância dos locos com efeitos aditivos na população inicial.

As estimativas dos efeitos aditivos (ALI) e de dominância (DLI) devidos à seleção para o caráter FF foram não significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) para os processos seletivos de MIM e IG sob condições de SF, sendo positivas para ALI e negativas para DLI (Tabelas 18 e 21, respectivamente). Para o processo MIM + IG (Tabela 24), as estimativas de ALI e DLI foram negativas e não significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$). Estas estimativas indicam que para os três processos seletivos houve preponderância dos efeitos de dominância na população melhorada. Esses resultados já foram reportados por outros pesquisadores em avaliações realizadas em diferentes populações de milho em SF (Tanner & Smith, 1987; Keeratinijakal & Lamkey, 1993b; Stojšin & Kannenberg, 1994b).

As estimativas de perda de heterozigose devido à oscilação genética (DQI) na população SA3 para o caráter FF em ambientes de SF foram positivas e não significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) e de baixa magnitude para MIM e MIM + IG (Tabelas 18 e 24), ressaltando que os efeitos de DQI atuaram no sentido oposto aos objetivos da seleção, apresentando uma tendência em aumentar o FF. Esta tendência já foi observada por outros pesquisadores em estudos realizados com outras populações de milho em SF (Smith, 1983; Keeratinijakal & Lamkey, 1993b; Stojšin & Kannenberg, 1994b). Por outro lado, verificou-se que a estimativa do parâmetro DQI neste tipo de ambiente e para o processo de IG, foi negativa e significativa ($P \leq 0,10$) o que evidencia que a oscilação genética atuou em sentido favorável aos objetivos da seleção, ou seja, diminuindo FF na população SA3 em ambientes com SF (Tabela 21).

Quanto à resposta corrigida à seleção 2(ALI + DLI) nos três processos seletivos em ambientes com SF, os progressos foram de $-0,22 \times 10^{-1}$ dias ($-0,03\%$ ns), $-1,06 \times 10^{-1}$ dias ($-0,17\%$ ns) e de $-1,92 \times 10^{-2}$ dias ($-0,03\%$ ns) para MIM, IG e MIM + IG, respectivamente (Tabelas 19, 22 e 25). As respostas corrigidas foram superiores às observadas em 13,4% e 3,7%, respectivamente (Tabelas 19 e 25). O inverso ocorreu para IG, ou seja, a resposta observada foi superior à corrigida em 38,4% (Tabela 22), o que é um indicativo que a oscilação genética (2DQI) atuou na mesma direção que a seleção, produzindo um acréscimo em sua resposta. As estimativas do progresso por ciclo, para FF em ambientes com SF, neste estudo, são diferentes em magnitude e direção às reportadas na população SA3 por Granados et al. (1993), após 14 ciclos de MIM ($-0,03\%$ vs $+0,17\%$). Entretanto, após dois ciclos de IG, estes autores reportaram progressos semelhantes em direção, mas não em magnitude ($-0,17\%$ vs $-0,43\%$). Outros autores têm reportado semelhantes tendências em magnitude e direção, em estudos realizados com outras populações de milho, em ambientes de SF (Smith, 1983;

Keeratinijakal & Lamkey, 1993a; Stojšin & Kannenberg, 1994b; Schnicker & Lamkey, 1993).

Na média dos ambientes (SF + SA) as estimativas de AOI foram positivas e significativas ($P \leq 0,01$) para os três processos seletivos na população inicial. As estimativas de DOI para este caráter foram negativas e significativas ($P \leq 0,01$) para os três processos (Tabelas 26, 29 e 32). A proporção entre os efeitos aditivos e de dominância (AOI : 2DOI) na média dos ambientes foi de 95,8% : 4,2% para MIM; 94,3% : 5,7% para IG e 94,5% : 5,5% para MIM + IG, respectivamente. Esses resultados evidenciam uma marcante preponderância dos efeitos aditivos sobre os de dominância na população inicial.

Para o caráter FF na média dos ambientes (SF + SA), verificou-se uma contribuição significativa ($P \leq 0,01$) dos efeitos aditivos (ALI) e de dominância (DLI) devida à seleção para o processo MIM, sendo negativos para DLI e positivos para ALI, porém, com predominância dos efeitos de dominância sobre os aditivos na população SA3 (Tabela 27). As estimativas para os parâmetros ALI e DLI foram negativas e não significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) para o processo de IG na média dos ambientes, ocorrendo predominância dos efeitos de dominância sobre os aditivos (Tabela 30). Para o processo seletivo de MIM + IG as estimativas de DLI foram negativas e significativas ($P \leq 0,05$) enquanto que para ALI foram positivas e não significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$), porém, com marcante predominância dos efeitos de dominância (Tabela 33). Vários autores também têm reportado maiores efeitos de dominância em diferentes populações de milho avaliadas sob ambientes de solos contrastantes (Duque-Vargas et al., 1994; Pandey et al., 1994; Borrero et al., 1995).

Na média dos ambientes (SF + SA), as estimativas dos efeitos da oscilação genética (DQI) foram positivas e significativas ($P \leq 0,05$) para MIM; negativas e significativas ($P \leq 0,01$) para IG e positivas e não significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) para MIM + IG, respectivamente (Tabelas 27, 30 e 33). A magnitude dos efeitos da oscilação genética foi superior no processo IG, atuando em sentido favorável aos objetivos da seleção, portanto, contribuindo para o melhoramento deste caráter na população SA3.

Quanto as estimativas das respostas corrigidas à seleção para FF na média dos ambientes (SF + SA) para os três processos seletivos, os progressos foram $-0,64 \times 10^{-1}$ dias ($-0,09^{**}$), $-1,84 \times 10^{-1}$ dias ($-0,29^{*}$) e $-3,88 \times 10^{-2}$ dias ($-0,06^{**}$) para MIM, IG e MIM + IG, respectivamente (Tabelas 28, 31 e 34). As respostas corrigidas foram superiores às observadas em 8,5% e 2,6% para MIM e MIM + IG, respectivamente. O inverso ocorreu para IG, onde a resposta observada foi superior à corrigida em 28,1%, evidenciando que a oscilação genética (2DQI) atuou na mesma direção que a seleção, reduzindo FF e portanto, produzindo um acréscimo em sua resposta. As estimativas da resposta à seleção para FF em ambientes de solos contrastantes (SF + SA) encontradas neste estudo, foram semelhantes em magnitude e direção às encontradas por Granados et al. (1993) na população SA3 para MIM ($-0,09\%$ vs $-0,04\%$) e bastante inferiores em magnitude às obtidas por estes autores para IG ($-0,29\%$ vs $-1,48\%$). Estas discrepâncias nas estimativas para IG sugerem que a heterogeneidade ambiental, o número de ciclos de seleção avaliados e a diferente metodologia utilizada para obter estas estimativas, podem ser as causas que contribuíram para os diferentes resultados.

Em termos gerais, os resultados obtidos para este caráter indicam que o processo de seleção recorrente intrapopulacional foi eficiente para melhorar FF na

população SA3 através dos diferentes ambientes de avaliação. Ressalta-se que a maior resposta à seleção foi obtida em ambientes com SA e para o processo de IG, o que é um indicativo de que progênies de irmãos germanos provêm maior controle sobre a variância genética aditiva que progênies de meios irmãos, conseqüentemente, incrementam a herdabilidade deste caráter e o ganho por seleção. Por outro lado, considera-se que o progresso por ciclo para FF é esperado ser máximo, quando a seleção é feita para adaptação a um ambiente bem definido (Troyer & Brown, 1972; Byrne et al., 1995).

4.2.3. Altura da planta e da espiga (AP e AE)

As estimativas dos efeitos aditivos (AOI) e de dominância (DOI) para os caracteres altura da planta (AP) e altura da espiga (AE) para o ciclo 0 da população SA3 em ambientes com solos ácidos (SA) foram positivas e significativas ($P \leq 0,01$ e $P \leq 0,05$) para os processos de meios irmãos modificado (MIM), irmãos germanos (IG) e considerando os dois processos (MIM + IG). A proporção entre os efeitos aditivos e de dominância (AOI:2DOI) para AP foram de 83,5% : 16,5% para MIM; 88,2% : 11,8% para IG e de 82,5% : 17,5% para MIM + IG, respectivamente. Para AE foram de 87,5% : 12,5% para MIM; 84,2% : 15,8% para IG e 83,7% : 16,3% para MIM + IG, respectivamente (Tabelas 8, 11 e 14), evidenciando predominância dos efeitos aditivos sobre os dominantes para esses dois caracteres.

A contribuição dos efeitos aditivos (ALI) e dos dominância (DLI) devido à seleção para AP em ambientes com SA, para os três processos seletivos encontram-se nas Tabelas 9, 12 e 15, respectivamente. Verifica-se que as estimativas do parâmetro ALI foram positivas e não significativas ($P \leq 0,10$) para IG e positivas e significativas ($P \leq 0,10$) para MIM + IG. Entretanto, para AE foram negativas e não

significativas ($P \leq 0,10$) para MIM e IG e positivas e não significativas ($P \leq 0,10$) para MIM + IG. As estimativas do parâmetro DLI para AP neste tipo de ambiente, foram não significativas ($P \leq 0,10$) para os três processos seletivos, sendo negativas para MIM e MIM + IG e positivas para IG. Para AE foram positivas e não significativas ($P \leq 0,10$) para os três processos seletivos. Cabe salientar que as estimativas de ALI e DLI, obtidas neste estudo em condições de SA, apresentaram grande variação em magnitude e direção, refletindo a heterogeneidade ambiental (36% a 63% de saturação de alumínio) presente neste tipo de solo.

Em ambientes com SA, as estimativas da oscilação genética (DQI) para AP e AE foram positivas e não significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$), para MIM e MIM + IG (Tabelas 9 e 15), sendo negativas e significativas ($P \leq 0,10$) para AP e negativas e não significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) para AE no processo de IG (Tabela 12). A magnitude e direção das estimativas de DQI para IG evidenciam que os efeitos da oscilação genética apresentaram uma tendência em limitar o melhoramento da AP e AE na população SA3.

Quanto a resposta corrigida à seleção $2(ALI + DLI)$ para AP nos três processos seletivos em ambientes com SA, os progressos foram de $0,26\% \times 10^{-1}$ cm ($0,01\%ns$); $0,42 \times 10^{-1}$ cm ($0,02\%ns$) e $2,64 \times 10^{-2}$ cm ($0,01\%ns$) para MIM, IG e MIM + IG, respectivamente (Tabelas 10, 13 e 16). Verifica-se que as respostas observadas foram superiores às corrigidas em 41,4%; 90,6% e 1,9% para MIM, IG e MIM + IG, respectivamente. Por outro lado, as respostas corrigidas para AE neste tipo de ambiente para os três processos seletivos foram de $2,60\% \times 10^{-1}$ ($0,37\%**$); $4,02 \times 10^{-1}$ ($0,53\%ns$) e $10,14 \times 10^{-2}$ cm ($0,14\%**$) para MIM, IG e MIM + IG, respectivamente (Tabelas 10, 13 e 16). As respostas observadas foram superiores às corrigidas em 2,8% para MIM e 3,9% para MIM + IG, respectivamente; o inverso

ocorreu para IG, sendo a resposta corrigida superior à observada em 46,3%. Este resultado é um indicativo que a oscilação genética (2DQI) atuou em sentido oposto à resposta à seleção. As estimativas de progresso para AP neste estudo, são bastante inferiores às reportadas na população SA3, sob condições de SA, por Granados et al. (1993), que observaram uma resposta de 0,71% por ciclo para MIM e de 0,50% por ciclo para IG. As diferenças observadas entre as respostas à seleção em condições de SA neste estudo, com as respostas de outros estudos, podem ser atribuídas aos diferentes níveis de saturação de alumínio dos ambientes de avaliação e ou, a diferente metodologia utilizada para estimar as respostas à seleção.

Em ambientes de solos férteis (SF) para os caracteres altura da planta (AP) e altura da espiga (AE), houve contribuição positiva e significativa ($P \leq 0,01$) dos efeitos aditivos (AOI) e de dominância (DOI) para o ciclo 0 da população SA3 nos três processos seletivos, porém, com marcante predominância dos efeitos aditivos (Tabelas 17, 20 e 23). A proporção entre os efeitos aditivos e de dominância para AP foram de 82,2% : 17,8% para MIM; 82,6% : 17,4% para IG e 84,8% : 15,2% para MIM + IG, respectivamente. Entretanto, para AE foram de 81,7% : 18,3% para MIM; 76,3% : 23,7% para IG e 82,0% : 18,0% para MIM + IG, respectivamente. A mesma tendência tem sido verificada por vários pesquisadores em estudos realizados com diferentes populações de milho em ambientes com SF (Smith, 1983; Keeratinijakal & Lamkey, 1993b; Stojisin & Kannenberg, 1994b; Rezende, 1997).

As estimativas dos efeitos aditivos devido à seleção (ALI) para AP em ambientes de SF foram positivas e significativas ($P \leq 0,01$) para MIM; positivas e não significativas ($P \leq 0,10$) para IG e positivas e significativas ($P \leq 0,10$) para MIM + IG. As estimativas dos efeitos de dominância devida à seleção (DLI) foram negativas e significativas ($P \leq 0,01$) para MIM e negativas e significativas ($P \leq 0,10$) para IG

e MIM + IG, respectivamente (Tabelas 18, 21 e 24). As magnitudes dos parâmetros ALI e DLI para AP comprovam que os efeitos de dominância devido à seleção contribuíram principalmente para alterar a média por ciclo seletivo na população SA3, o qual já foi verificado por outros autores em pesquisas realizadas com outras populações de milho em ambientes com SF (Keeratinijakal & Lamkey, 1993b; Stojšin & Kannenberg, 1994b; Rezende, 1997). Para o caráter AE, as estimativas de ALI foram positivas para os três processos seletivos, sendo não significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) para MIM e significativas ($P \leq 0,01$) para IG e MIM + IG, respectivamente. Entretanto, as estimativas de DLI foram negativas para os três processos (Tabelas 18, 21 e 24), sendo não significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) para MIM, significativas ($P \leq 0,05$) para IG e significativas em nível de 10% de probabilidade para MIM + IG. As magnitudes das estimativas para AE indicam que efeitos de dominância foram mais importantes para o melhoramento da população SA3, no sentido de diminuir a expressão fenotípica desse caráter.

As estimativas do efeito da perda de heterozigose devido à oscilação genética (DQI) na população SA3 para os caracteres AP e AE nos três processos seletivos foram positivas e não significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$), com exceção da estimativa de AE para IG, que apresentou-se negativa. Esses resultados comprovam que os efeitos da oscilação genética não limitaram o melhoramento para ambos os caracteres na população SA3, embora apresentassem sinal oposto à resposta à seleção (Tabelas 18, 21 e 24).

As respostas à seleção corrigida pelos efeitos da oscilação genética $2(ALI + DLI)$ para AP nos três processos seletivos em ambientes com SF, foram $-1,02 \times 10^{-1}$ cm por ciclo (-0,09%ns); $-13,34 \times 10^{-1}$ cm por ciclo (-0,58%ns) e $-13,04 \times 10^{-2}$ cm por ciclo (-0,06%ns) para MIM, IG e MIM + IG, respectivamente (Tabelas 19, 22

e 25). As respostas corrigidas foram superiores às observadas em 5,8%, 9,9% e 10,3%, respectivamente. Esses resultados evidenciam que os efeitos da oscilação genética (2DQI) não limitaram o melhoramento da AP na população SA3, contudo, neste caso estes efeitos atuaram em sentido contrário aos objetivos da seleção, apresentando uma tendência em aumentar a altura da planta. Para AE em SF, as respostas corrigidas à seleção foram de $-1,02 \times 10^{-1}$ cm por ciclo (-0,08%ns); $-9,32 \times 10^{-1}$ cm por ciclo (-0,71%ns) e $-8,50 \times 10^{-1}$ cm por ciclo (-0,07%ns) para MIM, IG e MIM + IG, respectivamente (Tabelas 19, 22 e 25). As respostas corrigidas foram superiores às observadas em 17,1% e 4,7% para MIM e MIM + IG, respectivamente. O inverso ocorreu para IG, onde a resposta observada foi 29,9% superior à corrigida, evidenciando que os efeitos da oscilação genética (2DQI) foram importantes para este processo na população SA3, neste caso, atuando em sentido favorável aos objetivos da seleção, ou seja, no sentido de reduzir a altura da espiga.

As estimativas da resposta à seleção para AP nesta pesquisa, em condições de SF foram diferentes em magnitude e direção às reportadas para a população SA3 por Granados et al. (1993) para MIM (-0,04% vs +0,16%) e para IG (-0,58% vs -2,60%). Por outro lado, progressos médios de semelhantes magnitudes e direções para IG têm sido reportados por vários autores avaliando diferentes populações de milho em SF (Schnicker & Lamkey, 1993; Stojšin & Kannenberg, 1994b). Os progressos com seleção para AE obtidos nesta pesquisa, foram semelhantes em direção mas não em magnitude aos reportados por estes mesmos autores em estudos realizados com outras populações de milho.

Para os caracteres AP e AE na média dos ambientes (SF + SA) houve contribuição positiva e significativa ($P \leq 0,01$) dos efeitos aditivos (AOI) e de dominância (DOI) no ciclo 0 da população SA3 para os três processos seletivos (Tabelas

26, 29 e 32). A proporção entre os efeitos aditivos e de dominância (AOI : 2DOI) no ciclo inicial para AP apresentou as seguintes magnitudes: 82,9% : 17,1% para MIM; 85,7% : 14,3% para IG e 83,5% : 16,5% para MIM + IG, respectivamente. Para AE foram de 84,2% : 15,8% para MIM; 79,8% : 20,2% para IG e 82,7% : 17,3% para MIM + IG, respectivamente. Esses resultados evidenciam uma marcante preponderância dos efeitos aditivos sobre os dominantes na população inicial.

As estimativas dos efeitos aditivos e de dominância devido à seleção (ALI e DLI) na população SA3 na média dos ambientes para AP foram significativas ($P \leq 0,05$) para MIM e não significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) para IG, sendo positivas para ALI e negativas para DLI para ambos os processos. Para MIM + IG foram significativas ($P \leq 0,05$), sendo positivas para ALI e negativas para DLI (Tabelas 27, 30 e 33). Para o caráter AE na média dos ambientes, as estimativas dos efeitos aditivos devido à seleção (ALI) foram positivas e não significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) para os processos de MIM e IG, sendo positivas e significativas ($P \leq 0,10$) para o processo de MIM + IG, enquanto que os efeitos de dominância (DLI) foram negativos e não significativos ($P \leq 0,10$) para os três processos seletivos (Tabelas 27, 30 e 33). Esses resultados evidenciam que as estimativas dos efeitos aditivos e dominantes devido à seleção para ambos os caracteres em ambientes contrastantes, apresentaram grande variação como consequência das diferentes condições ambientais de avaliação.

Verificou-se também que as estimativas da oscilação genética (DQI) para AP e AE na média dos ambientes não foram significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) para os três processos seletivos, sendo positivas para MIM e MIM + IG e negativas para IG, respectivamente (Tabelas 27, 30 e 33). Essa tendência evidencia que os efeitos de DQI não limitaram o melhoramento de AP e AE na população SA3. Além disso, a

magnitude da estimativa de DQI para IG, sugere que métodos baseados em progênie de irmãos germanos acumulam maior oscilação genética que aqueles baseados em progênie de meios irmãos.

Quanto a resposta à seleção corrigida 2(ALI + DLI) para AP nos três processos seletivos em ambientes contrastantes (SF + SA), os progressos foram de $-0,22 \times 10^{-1}$ cm por ciclo (-0,01%ns); $-0,48 \times 10^{-2}$ cm por ciclo (-0,02%ns) e $-3,22 \times 10^{-2}$ cm por ciclo (-0,01%ns) para MIM, IG e MIM + IG, respectivamente (Tabelas 28, 31 e 34). As respostas corrigidas foram superiores às observadas em 61,8% e 2,5% para MIM e MIM + IG, respectivamente. O contrário ocorreu para IG, onde a resposta observada foi superior à corrigida em 85,1%, o que é um indicativo que os efeitos da oscilação genética foram importantes, atuando no sentido favorável aos objetivos da seleção, neste caso, reduzindo a altura da planta. As estimativas da resposta à seleção corrigida em ambientes contrastantes para AE foram de 1×10^{-1} cm por ciclo (0,11%ns); $-1,70 \times 10^{-1}$ cm por ciclo (-0,17%ns) e $2,18 \times 10^{-2}$ cm por ciclo (0,02%ns) para MIM, IG e MIM + IG, respectivamente (Tabelas 28, 31 e 34). As respostas observadas foram superiores às corrigidas em 10,1%; 62,0% e 15,6%, respectivamente. Esses resultados indicam que para o processo de IG, os efeitos da oscilação genética foram importantes para o processo de seleção, produzindo um acréscimo em sua resposta.

As magnitudes das estimativas da resposta à seleção para AP nesta pesquisa, sob ambientes contrastantes são bastante inferiores às reportadas por Granados et al. (1993) com a população SA3, que observaram progressos de 0,46% para MIM e de -0,92% para IG. Estas diferenças são um indicativo que o progresso com seleção é inversamente proporcional à magnitude da variação devida a fatores ambientais.

De maneira geral, as estimativas do progresso esperado com seleção para os caracteres AP e AE, evidenciam que o processo de seleção recorrente intrapopulacional apresentou baixa eficiência para o melhoramento destes caracteres na população SA3. Além disso, as magnitudes e direção das respostas apresentaram grande variação para os dois caracteres, o que sugere, que as condições ambientais foram importantes, influenciando o desempenho dos ciclos seletivos e afetando os caracteres que são associados com o porte da planta. No entanto, esses resultados não eram esperados em razão da alta herdabilidade que apresentam estes caracteres visto que este coeficiente dá uma idéia da proporção da variância genética que é usada na seleção. Por outro lado, valores elevados de herdabilidade são associados aos coeficientes de variação baixos e vice-versa (Souza Junior, 1983).

4.2.4 Posição relativa da espiga (PRE)

As estimativas dos efeitos aditivos (AOI) e de dominância (DOI) para a posição relativa da espiga na planta (PRE) no ciclo 0 da população SA3 para os três processos seletivos em SA, encontram-se nas Tabelas 8, 11 e 14, respectivamente. Observa-se que para este caráter, houve contribuição positiva e significativa ($P \leq 0,01$) de AOI para os três processos. Já a contribuição de DOI apresentou-se não significativa ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$), sendo negativa para MIM e MIM + IG e positiva para IG. A proporção entre os efeitos aditivos e de dominância (AOI:2DOI) foram de 94,2% : 5,8% para MIM; 96,0% : 4,0% para IG e 97,0% : 3,0% para MIM + IG, respectivamente, indicando marcante preponderância dos efeitos aditivos sobre os de dominância.

Em ambientes com SA, as estimativas dos efeitos de dominância (DLI) para PRE nos três processos seletivos, apresentaram-se positivas e significativas ($P \leq$

0,05) para MIM; negativas e não significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) para IG e positivas e significativas ($P \leq 0,10$) para MIM + IG, respectivamente (Tabelas 9, 12 e 15). Entretanto, para os efeitos aditivos (ALI) foram negativas e não significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) e de menor magnitude para os três processos seletivos. Esses resultados são um indicativo que houve preponderância dos efeitos de dominância para aumentar a expressão fenotípica deste caráter.

Em relação às estimativas da oscilação genética (DQI) para PRE em ambientes com SA, elas foram não significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) para os três processos seletivos, sendo positivas para MIM e MIM + IG e negativas para IG (Tabelas 9, 12 e 15), evidenciando que os efeitos de DQI não limitaram o melhoramento de PRE na população SA3.

Quanto as respostas à seleção corrigida $2(ALI + DLI)$ em ambientes com SA para PRE, os progressos foram de $0,014 \times 10^{-1}$ (0,38%**); $0,02 \times 10^{-1}$ (0,51% ns) e $0,04 \times 10^{-2}$ (0,10% ns) para MIM, IG e MIM + IG, respectivamente (Tabelas 21, 24 e 27). As respostas observadas foram superiores às corrigidas em 0,3% e 5,2% para MIM e MIM + IG, respectivamente. Para o processo de IG, a resposta corrigida foi superior em 1% à observada. Estas estimativas indicam, como a anterior, que os efeitos da oscilação genética não limitaram o melhoramento deste caráter na população SA3.

As estimativas dos efeitos aditivos (AOI) e de dominância (DOI) para PRE no ciclo 0 da população SA3 em condições de SF, foram positivas e significativas ($P \leq 0,01$) para AOI nos três processos seletivos. Já os efeitos de dominância, contribuíram positiva e não significativamente ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) para MIM e IG, respectivamente, e positiva e significativamente ($P \leq 0,05$) para MIM + IG (Tabelas 17, 20 e 23). A proporção entre os efeitos aditivos e de dominância (AOI : 2 DOI) foram

de 98,5% : 1,5% para MIM; 96,4% : 3,6% para IG e de 94,0% : 6,0% para MIM + IG, evidenciando uma forte preponderância dos efeitos aditivos na população inicial.

Nas Tabelas 18, 21 e 24 encontram-se as estimativas dos efeitos aditivos (ALI) e de dominância (DLI) para o caráter PRE em ambientes de SF. As estimativas de ALI foram positivas e não significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) para MIM e positivas e significativas ($P \leq 0,10$) para IG e MIM + IG, respectivamente. Para as estimativas de DLI, elas foram negativas e não significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) nos três processos seletivos. Esses resultados mostraram que para os processos seletivos IG e MIM + IG, os efeitos aditivos contribuíram para aumentar a média deste caráter na população SA3. Resultados semelhantes foram reportados em estudos realizados com outras populações de milho em ambientes de SF (Rezende, 1997).

O efeito da perda de heterozigose devido à oscilação genética (DQI) para este caráter em ambientes de SF, apresentou-se positivo e não significativo ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) para MIM; negativo e significativo ($P \leq 0,05$) para IG e positivo e não significativo ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) para MIM + IG, evidenciando que os efeitos da oscilação genética não limitaram o melhoramento para PRE na população SA3.

As estimativas da resposta à seleção corrigida $2(ALI + DLI)$ para PRE nos três processos seletivos em condições de SF foram de $-0,002 \times 10^{-1}$ (-0,03%ns); $-0,02 \times 10^{-1}$ (-0,36%ns) e $0,02 \times 10^{-1}$ (0,03%ns) para MIM, IG e MIM + IG, respectivamente (Tabelas 19, 22 e 25). A resposta corrigida para MIM foi 42,8% superior à observada. Entretanto, para IG e MIM + IG, as respostas observadas foram 7,4% e 47,4% superiores às corrigidas. Estas estimativas indicam que os efeitos da oscilação genética (2DQI) foram importantes para este caráter, embora apresentassem diferente magnitude e sinal através de ambientes com SF.

Na média dos dois ambientes (SF + SA) as estimativas de AOI foram positivas e significativas ($P \leq 0,01$) para os três processos seletivos. Para DOI, foram negativas e não significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) para MIM e positivas e não significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) para IG e MIM + IG (Tabelas 26, 29 e 32). A proporção entre os efeitos aditivos e de dominância (AOI : 2DOI) no ciclo 0 da população original SA3 apresentou as seguintes magnitudes: 97,8% : 2,2% para MIM; 95,7% : 4,3% para IG e 99,9% : 0,1% para MIM + IG. Esses resultados indicam que houve uma tendência marcante de predominância dos efeitos aditivos sobre os dominantes, na população original para esse caráter.

Para o caráter PRE na média dos ambientes (SF + SA) a contribuição dos efeitos aditivos e de dominância devido à seleção (ALI e DLI) foram não significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) para os três processos seletivos, sendo negativas para ALI e positivas para DLI para MIM, positivas para ALI e negativas para DLI para IG e positivas para ALI e DLI para MIM + IG (Tabelas 27, 30 e 33). As magnitudes destas estimativas indicam que locos em heterozigose e em homozigose, controlam a expressão deste caráter.

Verificou-se também, que as estimativas da oscilação genética (DQI) para PRE na média dos ambientes foram não significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) para os três processos seletivos, sendo positivas para MIM e MIM + IG e negativas para IG, respectivamente (Tabelas 27, 30 e 33). Estas estimativas são um indicativo que a oscilação genética atuou na mesma direção que a seleção, apresentando uma tendência em incrementar a sua resposta.

As respostas à seleção corrigida 2(ALI + DLI) em ambientes de SF + SA para PRE nos três processos seletivos apresentaram as seguintes magnitudes:

$0,006 \times 10^{-1}$ (0,14%***) para MIM; $0,008 \times 10^{-1}$ (0,17%ns) para IG e de $0,03 \times 10^{-2}$ (0,07%ns) para MIM + IG, respectivamente (Tabelas 28, 31 e 34). As respostas observadas foram superiores às corrigidas em 3,2% e 5,6% para os processos MIM e MIM + IG, respectivamente. Para IG, a resposta corrigida apresentou a mesma magnitude que a oscilação genética (2DQI), porém, com sinal oposto, evidenciando que para esse processo seletivo, os efeitos de 2DQI mostraram uma tendência em limitar o melhoramento deste caráter na população SA3.

Em termos gerais, as estimativas da resposta à seleção corrigida para o índice PRE que é uma relação entre AE/AP, apresentaram grande variação em magnitude e sinal para os três processos seletivos através dos diferentes ambientes de avaliação. A princípio, estes resultados não eram esperados, em razão das acentuadas diferenças entre médias para os dois caracteres através de ambientes e, além de que, relatos da literatura indicam que estes caracteres são altamente correlacionados (Hallauer & Miranda Filho, 1988). Conseqüentemente, os efeitos ambientais foram importantes na expressão fenotípica destes caracteres e na obtenção das estimativas de PRE.

Por outro lado, a posição relativa da espiga na planta nos ciclos avaliados e sob condição de SF foi em torno de 0,55, evidenciando que as espigas se situaram na parte média da planta, indicando uma condição desejável para este caráter. Esta mesma tendência tem sido reportada em outras pesquisas com outras populações de milho em SF (Buitrago, 1996; Pinto, 1996; Rezende, 1997). Da mesma maneira, a PRE avaliada em condições de SA e SF + SA foi em torno de 0,38 e 0,45 respectivamente, evidenciando que as espigas se situaram abaixo da parte média da planta. Esta é uma condição indesejável para este caráter, o que reflete a necessidade de se dar maior ênfase na seleção para este caráter nestes tipos de ambientes.

4.2.5 Número de espigas por planta (EP)

As estimativas de quadrados mínimos para EP, dos efeitos aditivos (AOI) e de dominância (DOI) para o ciclo 0 da população SA3 para os três processos seletivos em condições de SA, apresentaram-se positivas e significativas ($P \leq 0,01$), evidenciando uma forte preponderância dos locos com efeitos aditivos na população inicial (Tabelas 8, 11 e 14). A proporção entre os efeitos aditivos e de dominância nessa população foram de 61,3% : 38,7% para MIM; de 57,5% : 42,5% para IG e 64,3% : 35,7% para MIM + IG, respectivamente.

Em ambientes com SA, as estimativas para EP dos efeitos aditivos devido à seleção (ALI) foram positivas e não significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) para MIM e MIM + IG, respectivamente (Tabelas 9 e 15), sendo positiva e significativa para IG (Tabela 12). Entretanto, as estimativas dos efeitos de dominância (DLI) foram negativas e não significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) para os três processos seletivos. Esses resultados evidenciam preponderância dos efeitos aditivos sobre os de dominância na população melhorada, o que já foi reportado em outras pesquisas com diferentes populações de milho em ambientes com SA (Pandey et al., 1994; Duque-Vargas et al., 1994; Borrero et al., 1995).

Os efeitos da oscilação genética (DQI) para EP na população SA3 em SA para os três processos seletivos (Tabelas 9, 12 e 15), apresentaram-se positivos e não significativos ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) e de baixa magnitude, sugerindo que os efeitos de DQI não foram importantes para o melhoramento da população SA3 neste tipo de ambiente.

As estimativas das respostas à seleção corrigida 2(ALI + DLI) para EP em SA nos três processos seletivos (Tabelas 10, 13 e 16) foram de $0,018 \times 10^{-1}$

espigas (0,19%ns) para MIM; $0,18 \times 10^{-1}$ espigas (1,91%***) para IG e $0,16 \times 10^{-2}$ espigas (0,17%***) para MIM + IG, sendo as respostas observadas superiores às corrigidas em 1,7%; 3,2% e 2,4%. Esses resultados mostram que os efeitos da oscilação genética (2DQI) atuaram com o mesmo sinal que o processo seletivo, produzindo um acréscimo em sua resposta. Ressalta-se também, que o maior progresso com seleção foi obtido com IG, o que era esperado em razão de que nesse processo seletivo é utilizada $\frac{1}{2} \sigma^2 A$ e com meios irmãos, $\frac{1}{4} \sigma^2 A$. Assim, diminuiu-se a contribuição do progresso dentro e aumenta entre famílias para o total, conseqüentemente, a eficiência das progênes de irmãos germanos em relação à de meios irmãos aumenta (Ramalho 1977).

Em ambientes com SF para EP, as estimativas de AOI foram positivas e significativas ($P \leq 0,01$) para os três processos seletivos. As estimativas de DOI para este caráter foram positivas e significativas ($P \leq 0,01$) na população inicial (Tabelas 17, 20 e 23). A proporção entre os efeitos aditivos e de dominância na população inicial foi de 68,9% : 31,1% para MIM, 74,5% : 25,5% para IG e 74,6% : 25,4% para MIM + IG, respectivamente. Esses resultados indicam um alto nível de homozigossidade nos locos que controlam este caráter.

Verifica-se também, que estimativas de ALI para EP em SF foram negativas para os três processos seletivos, sendo não significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) para MIM e, significativas ($P \leq 0,05$) para IG e MIM + IG. Para DLI foram positivas nos três processos, sendo não significativos ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) para MIM e significativa ($P \leq 0,05$) para IG e MIM + IG (Tabelas 18, 21 e 24). As magnitudes desses dois parâmetros evidenciam preponderância de efeitos de dominância na população melhorada.

As estimativas da oscilação genética (DQI) na população SA3 para EP em ambientes com SF foram não significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) para os três processos seletivos, sendo negativa para MIM e IG e positiva para MIM + IG, respectivamente (Tabelas 18, 21 e 24). As magnitudes e a não significância deste parâmetro, indicam que a oscilação genética não limitou o melhoramento para este caráter na população SA3.

Quanto a resposta à seleção corrigida 2(ALI + DLI) para EP nos três processos seletivos em ambientes com SF, verifica-se que os progressos foram de $0,03 \times 10^{-1}$ espigas (0,29%*); $0,04 \times 10^{-1}$ espigas (0,36%ns) e $0,10 \times 10^{-2}$ espigas (0,10%ns) para MIM, IG e MIM + IG, respectivamente (Tabelas 19, 22 e 25). As respostas corrigidas na mesma ordem, foram superiores às observadas em 7,1%, 5,3% e 2,2%. Estas estimativas indicam que os efeitos da oscilação genética apresentaram baixas magnitudes, embora atuassem em sentido contrário aos objetivos da seleção, ou seja, mostrando uma tendência em diminuir EP na população SA3. Esses resultados já foram verificados em estudos realizados com outras populações de milho para este caráter em SF (Rezende, 1997).

Para o caráter EP na média dos ambientes (SF + SA), a contribuição dos efeitos aditivos (AOI) e de dominância (DOI), para o ciclo 0 da população SA3 foram positivas e significativas ($P \leq 0,01$) para os três processos seletivos (Tabelas 26, 29 e 32). A proporção entre os efeitos aditivos e de dominância no ciclo inicial (AOI : 2DOI) apresentou as seguintes magnitudes: 62,9% : 37,1% para MIM; 63,3% : 36,7% para IG e, 65,0% : 35,0% para MIM + IG, respectivamente, evidenciando uma maior contribuição dos locos em homozigose para o ciclo inicial da população SA3.

Os efeitos aditivos e dominantes devido à seleção (ALI + DLI) para ambos os tipos de ambientes e para EP na população SA3, foram não significativos ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) para os três processos seletivos, sendo positivos para ALI e DLI nos processos de MIM e MIM + IG, respectivamente e positivos para ALI e negativos para DLI para IG (Tabelas 27, 30 e 33). Esses resultados são um indicativo que efeitos aditivos foram mais importantes que os dominantes para o melhoramento deste caráter na população SA3. A mesma tendência foi comprovada em outros trabalhos com diferentes materiais genéticos de milho, na média dos ambientes (Duque-Vargas et al., 1994; Borrero et al., 1995).

Estas estimativas da oscilação genética (DQI) para EP na média dos ambientes foram não significativas ($P \leq 0,05$ e $P \leq 0,10$) para os três processos seletivos, sendo negativas para MIM e IG e positivas para MIM + IG, respectivamente (Tabelas 27, 30 e 33). As magnitudes dessas estimativas indicaram que os efeitos da oscilação genética não limitaram o melhoramento para este caráter na população SA3.

As respostas à seleção corrigida 2(ALI + DLI) para EP na média dos ambientes nos três processos seletivos foram de $0,022 \times 10^{-1}$ espigas (0,23%*); $0,14 \times 10^{-1}$ espigas (1,43%**) e de $0,14 \times 10^{-2}$ espigas (0,14%*) para MIM, IG e MIM + IG, respectivamente (Tabelas 28, 31 e 34). As respostas corrigidas foram superiores às observadas em 3,6% e 2,9% para MIM e IG, respectivamente. O contrário ocorreu para MIM + IG, onde a resposta observada foi superior à corrigida em 2,8%. Esses resultados indicam que a oscilação genética atuou em sentido oposto à seleção apresentando uma tendência em diminuir o número de espigas por planta nos processos seletivos de MIM e IG na população SA3.

De maneira geral, os resultados obtidos para este caráter indicam que o processo de seleção recorrente intrapopulacional foi eficiente para melhorar EP na população SA3 através dos diferentes ambientes de avaliação. Cabe salientar que os maiores progressos com seleção foram obtidos em ambientes com SA e para o processo seletivo de IG, evidenciando que a seleção com base em dados de um ambiente é a mais efetiva para melhorar a prolificidade e a produção de grãos nesse ambiente (Arboleda & Comptom 1974; Crossa & Gardner 1989). Esses resultados também refletem o fato que progênies de irmãos germanos, provêm um maior controle sobre a variância genética aditiva que progênies de meios irmãos, conseqüentemente, aumentam a herdabilidade do caráter e o ganho com seleção.

4.3 Considerações Finais

Na população SA3 o caráter produção de grãos (PG) avaliado em ambientes com solos ácidos (SA) mostrou uma acentuada redução (42,5%) em sua média em relação à obtida sob condições de solos férteis (SF). A magnitude da interação tratamentos x ambientes para este caráter apresentou-se bastante superior em relação à magnitude do erro experimental em ambientes com SA e SF, evidenciando que as condições ambientais reduziram a utilização da variação útil para o melhoramento da produção de grãos em ambos os tipos de ambientes.

Do mesmo modo, para os caracteres altura da planta (AP), altura da espiga (AE), posição relativa da espiga (PRE) e número de espigas por planta (EP), houve também redução significativa em suas médias em ambientes com SA. Entretanto, para dias para florescimento feminino (FF), as médias apresentaram acentuado acréscimo nesse tipo de ambiente. As magnitudes da interação tratamento x ambientes para os caracteres AP e AE foram superiores em relação às magnitudes do erro

experimental. Para AE, PRE e FF essas magnitudes foram semelhantes. Esses resultados indicam que os ambientes sob os quais foram avaliados os tratamentos (ciclos seletivos) apresentaram influência significativa na expressão fenotípica desses caracteres.

Em termos gerais, os resultados obtidos para o caráter PG comprovaram uma relativa baixa eficiência no processo de seleção recorrente intrapopulacional na população SA3. As respostas à seleção corrigida 2($ALI + DLI$) foram superiores em SA quando comparadas àquelas obtidas em SF, evidenciando que a seleção em solos ácidos não acarretou o melhoramento desta população em solos férteis. Segundo Roselli & Hamblim (1981), a seleção praticada no ambiente com estresse geralmente reduz a média de produção de grãos no ambiente sem estresse e na média dos dois ambientes e consideram que a seleção praticada no ambiente com estresse só conduz a progressos no ambiente sem estresse quando a variabilidade genética do material no ambiente com estresse for superior à verificada no ambiente sem estresse e também, se a correlação genética para PG nos dois ambientes foi positiva e alta. Vários autores têm reportado baixa, porém positiva, correlação entre médias de progênes de milho nos dois tipos de ambientes para diferentes caracteres (Duque-Vargas et al., 1994; Borrero et al., 1995; Resende et al., 1997), evidenciando que a seleção baseada em informações de um determinado ambiente foi mais efetiva em melhorar PG nesse ambiente e que, existe uma grande influência do ambiente e da interação genótipo-ambiente em determinar as relações entre os diferentes caracteres.

Cabe ressaltar que a interação genótipo-ambiente é composta de duas partes. Uma devida a diferenças na variabilidade genética do material entre ambientes, denominada de interação simples, que não acarreta dificuldades na seleção. A outra, é advinda da falta de correlação entre o material de um ambiente para outro, sendo denominada de interação complexa. Esta causa dificuldade na seleção, uma vez que o

desempenho das progênies pode se alterar nos diferentes ambientes (Vencovsky 1987). A presença desta interação complexa pode ter contribuído para a baixa estimativa da resposta à seleção na população SA3 nos diferentes ambientes de avaliação; também é conhecido que, na presença de uma grande interação genótipo-nível de estresse, o progresso com seleção sobre dados combinados pode ser limitado.

A aparente falta de resposta à seleção na população SA3 pode, também, ser devido ao fato de os tratamentos avaliados incluírem materiais não endógamos e endógamos. Conseqüentemente, efeitos devido a diferenças de vigor dos materiais e a maior sensibilidade que apresentam os genótipos endógamos às variações ambientais (Falconer, 1989) podem ter contribuído para esses resultados. Além disso, considera-se que a depressão por endogamia devido a autofecundação apresenta variação dentro das populações, já que genótipos em uma população têm diferentes valores médios fenotípicos sob endogamia (Souza Junior & Fernandez 1997), refletindo esse fato no desempenho das populações.

Observaram-se estimativas diferentes em magnitude e sinal para oscilação genética (DQI) nos diferentes caracteres e processos seletivos, sendo significativas estatisticamente apenas para florescimento feminino nos dois tipos de ambientes. A magnitude e sinal dessas estimativas são um indicativo que os efeitos de DQI não limitaram o melhoramento dos diferentes caracteres na população avaliada. Esse resultado era esperado em decorrência do tamanho efetivo populacional utilizado para os processos seletivos de meios irmãos ($N_e = 144$) e irmãos germanos ($N_e = 50$).

O modelo genético utilizado mostrou-se adequado para a obtenção dos diferentes parâmetros genéticos e efeitos associados à seleção e oscilação genética para

a maioria dos caracteres avaliados na população SA3, permitindo que a maioria da variação dos tratamentos seja explicada pela variação devida aos parâmetros do modelo.

Em seu conjunto, os resultados obtidos nesta pesquisa, revelaram que para PG, o processo de seleção recorrente intrapopulacional apresentou relativamente baixa eficiência para adaptar e melhorar a população SA3 sob ambientes de SA. Não foi efetivo para melhorar os caracteres AP, AE e PRE e apresentou eficiência para melhorar os caracteres FF e EP. Cabe ressaltar que a seleção e adaptação às condições de alta acidez do solo para caracteres complexos como PG, pode ser incrementada se a seleção é baseada somente em informação de ambientes com diferentes tipos e níveis de solos ácidos e utilizando técnicas experimentais adequadas, visando diminuir as variações ambientais e, conseqüentemente, aumentar a herdabilidade do caráter e conseguir maiores progressos com seleção. Por outro lado, a população SA3 apresentou um bom padrão de produtividade em condições de SA, o que é um indicativo que pode ser usada como fonte de germoplasma básico para desenvolver cultivares melhoradas, tanto em programas de seleção recorrente intra e interpopulacional como em programas que visam a desenvolver híbridos de linhagens endogâmicas.

5. CONCLUSÕES

a - A avaliação da população SA3, como resultado de vinte ciclos de seleção recorrente intrapopulacional, mostrou que o processo seletivo não foi efetivo em melhorar a média da produção de grãos (PG), altura da planta (AP), altura da espiga (AE) e posição relativa da espiga na planta (PRE), mas foi efetivo em melhorar dias para florescimento feminino (FF) e número de espigas por planta (EP).

b - De maneira geral, os efeitos da seleção se constituíram por modificações na contribuição dos efeitos de dominância (DLI) para os caracteres produção de grãos (PG), altura da planta (AP), altura da espiga (AE) e posição relativa da espiga na planta (PRE) e por modificações na contribuição dos efeitos aditivos (ALI) para os caracteres dias para florescimento feminino (FF) e número de espigas por planta.

c - Os efeitos da oscilação genética (DQI) não limitaram o melhoramento dos diferentes caracteres na população SA3.

d - Para o caráter produção de grãos (PG) as respostas à seleção corrigida $2(ALI + DLI)$ foram sempre positivas e não foram aparentemente afetadas pela oscilação genética, dependendo apenas dos efeitos da seleção ocorridos na população SA3.

e - Recomenda-se para melhorar a eficiência das estimativas da avaliação da resposta à seleção, a utilização dos esquemas de experimentos em faixa visando diminuir os efeitos devidos às diferenças de vigor dos materiais e o emprego das testemunhas intercalares (sensíveis e tolerantes), visando melhorar a precisão experimental nas avaliações sob condições de solos ácidos.

TABELA 2 - Quadrados médios das análises conjuntas de variância de produção de grãos (PG), florescimento feminino (FF) e altura da planta (AP) na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos ácidos. 1995 - 1997.

F.V.	G. L.	Produção de grãos (t/ha)	Florescimento feminino (dias)	Altura da planta (cm)
Ambientes (A)	4	95,593**	7.941,680**	899.155,817**
Repetições/A	10	1,668**	21,635**	947,626**
Blocos (Repetições/A) Aj	135	0,739**	7,704**	320,262**
Tratamentos (T) Aj.	99	8,727**	26,581**	744,140**
T x A	396	0,852**	4,537n.s	230,089**
Erro	855	0,502	4,025	188,959
Média		2,762	65,185	164,529
C. V. (%)		25,665	3,078	8,354

** p < 0,01; * p < 0,05; n.s. > 0,05

TABELA 3 - Quadrados médios das análises conjuntas de variância de altura da espiga (AE), número de espigas por planta (EP) e posição relativa da espiga (PRE) na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos ácidos 1995-1997.

F.V.	G.L	Altura da espiga (cm)	Número de espigas por planta ^{1) e 2)}	Posição relativa da espiga (cm) ¹⁾
Ambientes (A)	3	43.770,323**	45.731,939**	2.279,816**
Repetições/A	8	513,733**	1.531,475**	80,556**
Blocos (Repetições/A) Aj	108	168,194**	318,716n.s	36,168**
Tratamentos (T)Aj	99	276,734**	1.288,406**	37,566**
T x A	297	108,172n.s.	355,211*	27,003n.s.
Erro	683	109,627	301,395	26,146
Média		71,914	0,917	0,388
C.V. (%)		14,559	18,918	13,159

** P< 0,01; * P<0,05; ns P>0,05.

¹⁾ QM (10⁴)

²⁾ Graus de liberdade do erro =855

TABELA 4 - Quadrados médios das análises conjuntas de variância de produção de grãos (PG), florescimento feminino (FF) e altura da planta (AP) na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis. 1995 - 1997.

F.V.	G. L.	Produção de grãos (t/ha)	Florescimento feminino (dias)	Altura da planta (cm)
Ambientes (A)	2	721,251**	1.750,684**	203.030,441**
Repetições/A	6	2,911**	4,901*	1.288,473**
Blocos (Repetições/A) Aj.	81	0,643**	2,891*	210,21 In.s
Tratamentos (T) Aj.	99	16,459**	14,798**	538,893**
T x A	198	1,038**	2,152 n.s.	214,482n.s
Erro	513	0,369	2,155	197,820
Média		4,803	63,112	223,504
C. V. (%)		12,660	2,326	6,292

** p < 0,01; * p < 0,05; n.s. > 0,05

TABELA 5 - Quadrados médios das análises conjuntas de variância de altura da espiga (AE), número de espigas por planta (EP) e posição relativa da espiga (PRE) na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis 1995-1997.

F.V.	G.L	Altura da espiga (cm)	Número de espigas por planta ^{1) e 2)}	Posição relativa da espiga (cm) ¹⁾
Ambientes (A)	2	75.418,613**	58.091,443**	1.313,873**
Repetições/A	6	636,765**	1.060,651**	16,013n.s
Blocos (Repetições/A) Aj	81	199,783n.s	217,613n.s	17,491n.s
Tratamentos (T)Aj	99	290,324**	665,611**	23,640n.s
T x A	198	190,323n.s	207,749*	19,343n.s
Erro	513	167,554	160,034	19,811
Média		122,833	1,011	0,548
C.V. (%)		10,538	12,502	8,113

** P< 0,01; * P<0,05; ns P>0,05.

¹⁾ QM (10⁻⁴)

²⁾ Grau de liberdade do erro = 342

TABELA 6 - Quadros médios das análises conjuntas de variância de produção de grãos (PG), florescimento feminino (FF) e altura da planta (AP) na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis e ácidos 1995-1997.

F.V.	G. L.	Produção de grãos (t/ha)	Florescimento feminino (dias)	Altura da planta (cm)
Ambientes (A)	7	643,700**	5.385,752**	850.342,226**
Repetições/A	16	2,177**	15,359**	1.052,944**
Blocos (Repetições/A) Aj	216	0,703**	5,899**	278,993**
Tratamentos (T) Aj.	99	22,368**	38,481**	1.036,911**
T x A	693	1,203**	3,614ns	225,338**
Erro	1368	0,455	3,323	192,285
Média		3,526	64,407	186,654
C. V. (%)		19,133	2,830	7,429

** p < 0,01; * p < 0,05; n.s. > 0,05

TABELA 7 - Quadrados médios das análises conjuntas de variância de altura da espiga (AE), número de espigas por planta (EP) e posição relativa da espiga (PRE) na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis e ácidos 1995-1997.

F.V.	G.L	Altura da espiga (cm)	Número de espigas por planta ¹⁾	Posição relativa da espiga (cm) ¹⁾
Ambientes (A)	6	269,285,209**	46,510,498**	23,534,308**
Repetições/A	14	566,462**	1,396,954**	52,895**
Blocos (Repetições/A) Aj	189	181,732**	289,829ns	28,164*
Tratamentos (T)Aj	99	407,773**	1,741,254**	30,353**
T x A	594	145,764ns	305,083*	25,542n.s.
Erro	1196	134,474	261,006	23,429
Média		93,747	0,944	0,457
C.V. (%)		12,369	17,103	10,587

** P< 0,01; * P<0,05; ns P>0,05.

¹⁾ QM (10⁴)

TABELA 8 - Estimativas dos efeitos aditivos (AOI) e de dominância (DOI) no ciclo 0 considerando dezesseis ciclos de seleção de meios irmãos modificado (MIM) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos ácidos 1995-1997.

CARACTERES	PARÂMETROS		
	AOI	DOI	AOI:2DOI (%)
Produção de grãos (PG) t/ha	0,34 ns±0,21	1,28**±0,13	11,7:88,3
Florescimento feminino (FF) dias	67,78**±0,60	-1,11**±0,36	96,8:3,2
Altura da planta (AP) cm	139,69**±5,41	13,83**±3,27	83,5:16,5
Altura da espiga (AE) cm	60,63**±3,12	4,32*±1,89	87,5:12,5
Posição relativa da espiga (PRE) cm	0,39**±0,01	-0,012 ns±0,009	94,2:5,8
Número de espigas por planta (EP) n°	0,57**±0,05	0,18**±0,03	61,3:38,7

** p < 0,01 ; * p < 0,05 ; *** p < 0,10; n.s. p > 0,10

TABELA 9 - Estimativas dos efeitos aditivos (ALI) e de dominância (DLI), da resposta à seleção, e da oscilação genética (DQI) considerando dezesseis ciclos de seleção de meios irmãos modificado (MIM) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos ácidos 1995-1997.

CARACTERES	PARÂMETROS			
	ALI ¹	DLI ²	DQI ³	R(%)
Produção de grãos (PG) t/ha	-0,11*** ± 0,06	0,22** ± 0,07	0,04 ns ± 0,03	90,90
Florescimento feminino (FF) dias	0,48** ± 0,17	-0,92** ± 0,21	0,32** ± 0,08	74,69
Altura da planta (AP) cm	0,97 ns ± 1,53	-0,84 ns ± 1,90	0,92 ns ± 0,73	68,92
Altura da espiga (AE) cm	-0,25 ns ± 0,88	1,55 ns ± 1,09	0,38 ns ± 0,42	60,12
Posição relativa da espiga (PRE) cm	-0,004 ns ± 0,004	0,011* ± 0,005	0,0002 ns ± 0,0021	21,25
Número de espigas por planta (EP) n°	0,01 ns ± 0,01	-0,0008 ns ± 0,0200	0,0016 ns ± 0,0070	80,21

** p < 0,01; * p < 0,05 ; *** p < 0,10 ; n.s p > 0,10

¹ALI (10⁻¹)

²DLI (10⁻¹)

³DQI (10⁻²)

TABELA 10 - Estimativas de parâmetros genéticos no ciclo 0 (AOI+2DOI), da resposta à seleção (2ALI+2DLI) e da oscilação genética (2DQI) considerando dezesseis ciclos de seleção de meios irmãos modificado (MIM) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos ácidos 1995-1997.

CARACTERES	PARÂMETROS		
	AOI+2DOI	2ALI+2DLI ¹	2DQI ²
Produção de grãos (PG) t/ha	2,90** ± 0,08	0,22** ± 0,06	0,08 ns ± 0,06
Florescimento feminino (FF) dias	65,56** ± 0,24	-0,88** ± 0,17	0,64** ± 0,16
Altura da planta (AP) cm	167,35** ± 2,14	0,26 ns ± 1,52	1,84 ns ± 1,46
Altura da espiga (AE) cm	69,27** ± 1,23	2,60** ± 0,88	0,76 ns ± 0,84
Posição relativa da espiga (PRE) cm	0,37** ± 0,006	0,014** ± 0,004	0,0004 ns ± 0,0041
Número de espigas por planta (EP) n°	0,93** ± 0,02	0,018 ns ± 0,014	0,0032 ns ± 0,014

** p < 0,01 ; * p < 0,05 ; *** p < 0,10 ; n.s. p > 0,10

¹ 2ALI+2DLI (10⁻¹)

² 2DQI(10⁻²)

TABELA 11 - Estimativas dos efeitos aditivos (AOI) e de dominância (DOI) no ciclo 0 considerando quatro ciclos de seleção de irmãos germanos (IG) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos ácidos 1995-1997.

CARACTERES	PARÂMETROS		
	AOI	DOI	AOI:2DOI (%)
Produção de grãos (PG) t/ha	0,25 ns±0,30	1,50**±0,19	7,7:92,3
Florescimento feminino (FF) dias	69,14**±0,86	-1,99**±0,52	94,6:5,4
Altura da planta (AP) cm	150,68**±5,90	10,08*±3,61	88,2:11,8
Altura da espiga (AE) cm	63,78**±4,49	5,98***±2,75	84,2:15,8
Posição relativa da espiga (PRE) cm	0,38**±0,02	0,008 ns±0,013	96,0:4,0
Número de espigas por planta (EP) n°	0,54**±0,07	0,20**±0,04	57,5:42,5

** p < 0,01 ; * p < 0,05 ; *** p < 0,10; n.s p > 0,10

TABELA 12 - Estimativas dos efeitos aditivos (ALI) e de dominância (DLI), da resposta à seleção e da oscilação genética (DQI) considerando quatro ciclos de seleção de irmãos germanos (IG) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos ácidos 1995-1997.

CARACTERES	PARÂMETROS			
	ALI ¹	DLI ²	DQI ³	R(%)
Produção de grãos (PG) t/ha	-0,05 ns±0,42	0,19 ns±0,51	0,08 ns±0,06	93,93
Florescimento feminino (FF) dias	-0,52 ns±1,19	-0,64 ns±1,45	-0,37***±0,17	78,42
Altura da planta (AP) cm	-6,16 ns±8,19	6,37 ns±9,96	-2,24***±1,19	82,29
Altura da espiga (AE) cm	-5,33 ns±6,24	7,34 ns±7,59	-0,93 ns±0,91	63,09
Posição relativa da espiga (PRE) cm	-0,009 ns±0,030	0,019 ns±0,040	-0,0001 ns±0,0044	30,20
Número de espigas por planta (EP) n°	0,21***±0,10	-0,12 ns±0,12	0,003 ns±0,015	74,22

** p < 0,01; * p < 0,05 ; *** p < 0,10 ; n.s. p > 0,10

¹ ALI(10⁻¹)

² DLI(10⁻¹)

³ DQI(10⁻¹)

TABELA 13 - Estimativas de parâmetros genéticos no ciclo 0 (AOI+2DOI), da resposta à seleção (2ALI+2DLI) e da oscilação genética (2DQI) considerando quatro ciclos de seleção de irmãos germanos (IG) de seis caracteres agrônômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos ácidos 1995-1997.

CARACTERES	PARÂMETROS		
	AOI+2DOI	2ALI+2DLI ¹	2DQI ²
Produção de grãos (PG) t/ha	3,25**±0,12	0,28 n.s±0,37	0,16 n.s±0,12
Florescimento feminino (FF) dias	65,16**±0,35	-2,32*±1,05	-0,74***±0,35
Altura da planta (AP) cm	170,84**±2,41	0,42 n.s±7,22	-4,48***±2,39
Altura da espiga (AE) cm	75,74**±1,84	4,02 n.s±5,50	-1,86 n.s±1,82
Posição relativa da espiga (PRE) cm	0,39**±0,009	0,02 n.s±0,03	-0,0002n.s±0,0090
Número de espigas por planta (EP) n°	0,94**±0,03	0,18***±0,09	0,006 n.s±0,0300

** p < 0,01 ; * p < 0,05 ; *** p < 0,001; ns p > 0,10

¹ 2ALI+2DLI(10⁻¹)

² 2DQI(10⁻¹)

TABELA 14 - Estimativas dos efeitos aditivos (AOI) e de dominância (DOI) no ciclo 0 considerando vinte ciclos de seleção combinada de meios irmãos modificado e irmãos germanos (MIM + IG) de seis caracteres agronômicos na população SA3 avaliada em ambientes de solos ácidos 1995-1997.

CARACTERES	PARÂMETROS		
	AOI	DOI	AOI:2DOI (%)
Produção de grãos (PG) t/ha	-0,04 ns±0,17	1,60**±0,10	1,2:98,8
Florescimento feminino (FF) dias	68,79**±0,48	-1,76**±0,29	95,1:4,9
Altura da planta (AP) cm	138,82**±3,26	14,75**±1,97	82,5:17,5
Altura da espiga (AE) cm	59,60**±2,48	5,80**±1,50	83,7:16,3
Posição relativa da espiga (PRE) cm	0,39**±0,01	-0,006 ns±0,007	97,0:3,0
Número de espigas por planta (EP) n°	0,59**±0,04	0,17**±0,02	64,3:35,7

** p < 0,01 ; * p < 0,05 ; *** p < 0,10; n.s. p > 0,05

TABELA 15 - Estimativas dos efeitos aditivos (ALI) e de dominância (DLI) da resposta à seleção e da oscilação genética (DQI) considerando vinte ciclos de seleção combinada de meios irmãos modificado e irmãos germanos (MIM + IG) de seis caracteres agrônômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos ácidos 1995-1997.

CARACTERES	PARÂMETROS			
	ALI ¹	DLI ²	DQI ³	R(%)
Produção de grãos (PG) t/ha	0,26 ns±0,37	0,10 ns±0,46	0,11 ns±0,15	86,77
Florescimento feminino (FF) dias	0,52 ns±1,04	-3,06 *±1,31	0,61 ns±0,43	68,16
Altura da planta (AP) cm	13,39***±7,13	-12,07 ns±8,98	0,26 ns±2,97	63,67
Altura da espiga (AE) cm	1,26 ns±5,43	3,81 ns±6,84	2,10 ns±2,26	47,26
Posição relativa da espiga (PRE) cm	-0,03 ns±0,03	0,05***±0,03	0,011 ns±0,011	11,01
Número de espigas por planta (EP) n°	0,09 ns±0,09	-0,008 ns±0,11	0,020 ns±0,037	75,28

** p < 0,01; * p < 0,05 ; *** p < 0,01 ; n.s. p > 0,10

¹ALI(10⁻²)

²DLI(10⁻²)

³DQI(10⁻³)

TABELA 16 - Estimativas de parâmetros genéticos no ciclo 0 (AOI+2DOI), da resposta à seleção (2ALI+2DLI) e da oscilação genética (2DQI) considerando vinte ciclos de seleção combinada de meios irmãos modificado e irmãos germanos (MIM + IG) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos ácidos 1995-1997.

CARACTERES	PARÂMETROS		
	AOI+2DOI	2ALI+2DLI ¹	2DQI ²
Produção de grãos (PG) t/ha	3,16**±0,07	0,72***±0,39	0,22 ns±0,30
Florescimento feminino (FF) dias	65,27**±0,19	-5,08**±1,11	1,22 ns±0,88
Altura da planta (AP) cm	168,32**±1,29	2,64 ns±7,60	0,52 ns±5,94
Altura da espiga (AE) cm	71,20**±0,98	10,14***±5,79	4,20 ns±4,52
Posição relativa da espiga (PRE) cm	0,38**±0,005	0,04 ns±0,03	0,022 ns±0,021
Número de espigas por planta (EP) n°	0,93**±0,02	0,16***±0,09	0,040 ns±0,063

** p < 0,01 ; * p < 0,05 ; *** p < 0,10; n.s. p > 0,10

¹ 2ALI+2DLI(10⁻²)

² 2DQI(10⁻³)

TABELA 17 - Estimativas dos efeitos aditivos (AOI) e de dominância (DOI) no ciclo 0 considerando dezesseis ciclos de seleção de meios irmãos modificado (MIM) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis 1995-1997.

CARACTERES	PARÂMETROS		
	AOI	DOI	AOI:2DOI (%)
Produção de grãos (PG) t/ha	-0,01ns $\pm$ 0,23	2,81** $\pm$ 0,14	0,2:99,8
Florescimento feminino (FF) dias	66,65** $\pm$ 0,56	-2,06** $\pm$ 0,34	94,2:5,8
Altura da planta (AP) cm	189,61** $\pm$ 4,09	20,51** $\pm$ 2,47	82,2:17,8
Altura da espiga (AE) cm	103,39** $\pm$ 4,98	11,58** $\pm$ 3,01	81,7:18,3
Posição relativa da espiga (PRE) cm	0,54** $\pm$ 0,01	0,004 ns $\pm$ 0,01	98,5:1,5
Número de espigas por planta (EP) n°	0,71** $\pm$ 0,05	0,16** $\pm$ 0,03	68,9:31,1

** p< 0,01; * p< 0,05; n.s. p> 0,05

TABELA 18 - Estimativas dos efeitos aditivos (ALI) e de dominância (DLI), da resposta à seleção e da oscilação genética (DQI) considerando dezesseis ciclos de seleção de meios irmãos modificado (MIM) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis 1995-1997.

CARACTERES	PARÂMETROS		
	ALI ¹	DLI ²	DQI ³
Produção de grãos (PG) t/ha	-0,09 ns±0,07	0,19*±0,08	-0,037 ns±0,032
Florescimento feminino (FF) dias	0,19 ns±0,16	-0,30 ns±0,20	0,13 ns±0,08
Altura da planta (AP) cm	4,13**±1,15	-4,64**±1,44	0,28 ns±0,55
Altura da espiga (AE) cm	2,33 ns±1,40	-2,87 ns±1,75	0,79 ns±0,67
Posição relativa da espiga (PRE) cm	0,002 ns±0,005	-0,003 ns±0,006	0,0032 ns±0,0023
Número de espigas por planta (EP) n°	-0,005 ns±0,014	0,020 ns±0,017	-0,010 ns±0,006

** p < 0,01; * p < 0,05; *** p < 0,10; n.s. p > 0,10

¹ALI(10⁻¹)

²DLI(10⁻¹)

³DQI(10⁻²)

TABELA 19 - Estimativas de parâmetros genéticos no ciclo 0 (AOI+2DOI), da resposta à seleção (2ALI+2DLI) e da oscilação genética (2DQI) considerando dezesseis ciclos de seleção de meios irmãos modificado (MIM) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis 1995-1997.

CARACTERES	PARÂMETROS		
	AOI+2DOI	2ALI+2DLI ¹	2DQI ²
Produção de grãos (PG) t/ha	5,61**±0,11	0,20*±0,06	-0,07 ns±0,06
Florescimento feminino (FF) dias	62,53**±0,22	-0,22 ns±0,16	0,26 ns±0,15
Altura da planta (AP) cm	230,63**±1,61	-1,02 ns±1,15	0,56 ns±1,10
Altura da espiga (AE) cm	126,55**±1,97	-1,08 ns±1,40	1,58 ns±1,35
Posição relativa da espiga (PRE) cm	0,55**±0,007	-0,002 ns±0,005	0,006*±0,003
Número de espigas por planta (EP) n°	1,03**±0,019	0,030*±0,014	-0,020 ns±0,013

** p < 0,01 ; * p < 0,05 ; *** p < 0,10; n.s p > 0,10

¹ 2ALI+2DLI(10⁻¹)

² 2DQI(10⁻²)

TABELA 20 - Estimativas dos efeitos aditivos (AOI) e de dominância (DOI) no ciclo 0 considerando quatro ciclos de seleção de irmãos germanos (IG) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis 1995-1997.

CARACTERES	PARÂMETROS		
	AOI	DOI	AOI:2DOI (%)
Produção de grãos (PG) t/ha	0,67**±0,34	2,49**±0,21	11,9:88,1
Florescimento feminino (FF) dias	67,15**±0,81	-2,21**±0,50	93,8:6,2
Altura da planta (AP) cm	190,88**±7,79	20,14**±4,77	82,6:17,4
Altura da espiga (AE) cm	99,55**±7,17	15,43**±4,39	76,3:23,7
Posição relativa da espiga (PRE) cm	0,53**±0,02	0,01ns±0,01	96,4:3,6
Número de espigas por planta (EP) n°	0,82**±0,07	0,14**±0,04	74,5:25,5

** p < 0,01 ; * p < 0,05 ; *** p < 0,10 ; n.s p > 0,10

TABELA 21 - Estimativas dos efeitos aditivos (ALI) e de dominância (DLI) da resposta à seleção e da oscilação genética (DQI) considerando quatro ciclos de seleção de irmãos germanos (IG) de seis caracteres agrônômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis 1995-1997.

CARACTERES	PARÂMETROS		
	ALI ¹	DLI ²	DQI ³
Produção de grãos (PG) t/ha	-0,44 ns±0,47	0,46 ns±0,57	0,002 ns±0,07
Florescimento feminino (FF) dias	0,06 ns±1,13	-0,59 ns±1,37	-0,33***±0,16
Altura da planta (AP) cm	17,53 ns±10,82	-24,20 ***±13,16	0,06 ns±1,57
Altura da espiga (AE) cm	25,98 *±9,96	-30,64 *±12,11	-1,99 ns±1,45
Posição relativa da espiga (PRE) cm	0,06***±0,03	-0,07 ns±0,04	-0,009 *±0,004
Número de espigas por planta (EP) n°	-0,26 *±0,09	0,28 *±0,11	-0,001 ns±0,014

** p < 0,01; * p < 0,05 ; *** p < 0,10 ; n.s. p > 0,10

¹ ALI(10⁻¹)

² DLI(10⁻¹)

³ DQI(10⁻¹)

TABELA 22 - Estimativas de parâmetros genéticos no ciclo 0 (AOI+2DOI) da resposta à seleção (2ALI+2DLI) e da oscilação genética (2DQI) considerando quatro ciclos de seleção de irmãos germanos (IG) de seis caracteres agrônômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis 1995-1997.

CARACTERES	PARÂMETROS		
	AOI+2DOI	2ALI+2DLI ¹	2DQI ²
Produção de grãos (PG) t/ha	5,65**±0,14	0,04 ns±0,41	0,004 ns±0,14
Florescimento feminino(FF) dias	62,73**±0,33	-1,06 ns±0,99	-0,66***±0,33
Altura da planta (AP) cm	231,16**±3,19	-13,34 ns±9,54	0,12 ns±3,16
Altura da espiga (AE) cm	130,41**±2,93	-9,32 ns±8,78	-3,98 ns±2,90
Posição relativa da espiga (PRE) cm	0,55**±0,01	-0,02 ns±0,03	-0,018***±0,009
Número de espigas por planta (EP) n°	1,10**±0,03	0,04 ns±0,08	-0,002 ns±0,03

** p < 0,01 ; * p < 0,05 ; *** p < 0,10; n.s .p > 0,10

¹ 2ALI+2DLI(10⁻¹)

² 2DQI(10⁻¹)

TABELA 23 - Estimativas dos efeitos aditivos (AOI) e de dominância (DOI) no ciclo 0 considerando vinte ciclos de seleção combinada de meios irmãos modificado e irmãos germanos (MIM + IG) de seis caracteres agrônômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis 1995-1997.

CARACTERES	PARÂMETROS		
	AOI	DOI	AOI:2DOI (%)
Produção de grãos (PG) t/ha	-0,27 n.s ± 0,18	3,05 ** ± 0,11	4,2:95,8
Florescimento feminino (FF) dias	67,20 ** ± 0,44	-2,32 ** ± 0,27	93,5:6,5
Altura da planta (AP) cm	195,74 ** ± 4,31	17,51 ** ± 2,60	84,8:15,2
Altura da espiga (AE) cm	103,88 ** ± 3,96	11,42 ** ± 2,39	82,0:18,0
Posição relativa da espiga (PRE) cm	0,53 ** ± 0,01	0,017 * ± 0,008	94,0:6,0
Número de espigas por planta (EP) n°	0,76 ** ± 0,04	0,14 ** ± 0,02	74,6:25,4

** p < 0,01 ; * p < 0,05 ; n.s. p > 0,05

TABELA 24 - Estimativas dos efeitos aditivos (ALI) e de dominância (DLI), da resposta à seleção e da oscilação genética (DQI) considerando vinte ciclos de seleção combinada de meios irmãos modificado e irmãos germanos (MIM + IG) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis 1995-1997.

CARACTERES	PARÂMETROS			
	ALI ¹	DLI ²	DQI ³	R(%)
Produção de grãos (PG) t/ha	0,19 ns ± 0,40	0,18 ns ± 0,51	-0,37* ± 0,17	95,30
Florescimento feminino (FF) dias	-0,09 ns ± 0,98	-0,87 ns ± 1,24	0,34ns ± 0,40	76,86
Altura da planta (AP) cm	16,24*** ± 9,42	-22,76*** ± 11,86	0,61ns ± 0,39	57,37
Altura da espiga (AE) cm	17,33* ± 8,67	-21,58*** ± 10,92	1,92ns ± 3,61	34,69
Posição relativa da espiga (PRE) cm	0,05*** ± 0,03	-0,04 ns ± 0,03	-0,008 ns ± 0,012	5,17
Número de espigas por planta (EP) n°	-0,16* ± 0,08	0,21* ± 0,10	0,011ns ± 0,035	70,86

** p < 0,01; * p < 0,05 ; *** p < 0,01 ; n.s. p > 0,10

¹ALI(10⁻²)

²DLI(10⁻²)

³DQI(10⁻³)

TABELA 25 - Estimativas de parâmetros genéticos no ciclo 0 (AOI+2DOI), da resposta à seleção (2ALI+2DLI) e da oscilação genética (2DQI) considerando vinte ciclos de seleção combinada de meios irmãos modificado e irmãos germanos (MIM + IG) de seis caracteres agrônômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis 1995-1997.

CARACTERES	PARÂMETROS		
	AOI+2DOI	2ALI+2DLI ¹	2DQI ²
Produção de grãos (PG) t/ha	5,83** ±0,07	0,74 ns±0,47	-0,74*±0,34
Florescimento feminino (FF) dias	62,56**±0,18	-1,92***±1,04	0,68 ns±0,82
Altura da planta (AP) cm	230,76**±1,71	-13,04 ns±10,03	1,22 ns±7,85
Altura da espiga (AE) cm	126,72**±1,57	-8,50 ns±9,23	3,84 ns±7,22
Posição relativa da espiga (PRE) cm	0,56**±0,005	0,02 ns±0,03	0,016 ns±0,024
Número de espigas por planta (EP) n°	1,04**±0,015	0,10 ns±0,09	- 0,022 ns ±0,063

** p < 0,01 ; * p < 0,05 ; *** p < 0,10 ; n.s. p > 0,10

¹ 2ALI+2DLI(10⁻²)

² 2DQI(10⁻³)

TABELA 26 - Estimativas dos efeitos aditivos (AOI) e de dominância (DOI) no ciclo 0 considerando dezesseis ciclos de seleção de meios irmãos modificado (MIM) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis e ácidos 1995-1997.

CARACTERES	PARÂMETROS		
	AOI	DOI	AOI:2DOI (%)
Produção de grãos (PG) t/ha	0,20 ns±0,16	1,86**±0,09	5,1:94,9
Florescimento feminino (FF) dias	67,35**±0,43	-1,47**±0,26	95,8:4,2
Altura da planta (AP) cm	158,42**±3,27	16,34**±1,98	82,9:17,1
Altura da espiga (AE) cm	78,95**±2,73	7,43**±1,65	84,2:15,8
Posição relativa da espiga (PRE) cm	0,45**±0,01	-0,005 ns±0,007	97,8:2,2
Número de espigas por planta (EP) n°	0,61**±0,04	0,18**±0,02	62,9:37,1

** p < 0,01 ; * p < 0,05 ; *** p < 0,10; n.s. p > 0,10

TABELA 27 - Estimativas dos efeitos aditivos (ALI) e de dominância (DLI), da resposta à seleção, e da oscilação genética (DQI), considerando dezesseis ciclos de seleção de meios irmãos modificado (MIM) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis e ácidos 1995-1997.

CARACTERES	PARÂMETROS			
	ALI ¹	DLI ²	DQI ³	R(%)
Produção de grãos (PG) t/ha	-0,10*±0,04	0,21**±0,05	0,01 ns±0,02	95,30
Florescimento feminino (FF) dias	0,37**±0,12	-0,69**±0,15	0,25**±0,06	81,33
Altura da planta (AP) cm	2,16*±0,92	-2,27***±1,15	0,68 ns ±0,44	77,16
Altura da espiga (AE) cm	0,85 ns±0,77	-0,35 ns±0,96	0,56 ns±0,37	68,09
Posição relativa da espiga (PRE) cm	-0,002 ns±0,003	0,005 ns±0,004	0,001 ns±0,001	24,73
Número de espigas por planta (EP) n°	0,006 ns±0,010	0,005 ns±0,013	-0,004 ns±0,005	84,73

** p < 0,01; * p < 0,05; *** p < 0,10; ns p > 0,10

¹ALI(10⁻¹)

²DLI(10⁻¹)

³DQI(10⁻²)

TABELA 28 - Estimativas de parâmetros genéticos no ciclo 0 (AOI+2DOI), da resposta à seleção (2ALI+2DLI) e da oscilação genética (2DQI) considerando dezesseis ciclos de seleção de meios irmãos modificado (MIM) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis e ácidos 1995-1997.

CARACTERES	PARÂMETROS		
	AOI+2DOI	2ALI+2DLI ¹	2DQI ²
Produção de grãos (PG) t/ha	3,92**±0,06	0,22**±0,04	0,02 ns±0,04
Florescimento feminino (FF) dias	64,41**±0,17	-0,64**±0,12	0,50**±0,12
Altura da planta (AP) cm	191,10**±1,29	-0,22 ns±0,92	1,36 ns±0,88
Altura da espiga (AE) cm	93,81**±1,08	1,00 ns±0,77	1,12 ns±0,74
Posição relativa da espiga (PRE) cm	0,44**±0,004	0,006***±0,003	0,002 ns±0,003
Número de espigas por planta (EP) n°	0,97**±0,01	0,022*±0,010	-0,008 ns±0,010

** p < 0,01 ; * p < 0,05 ; *** p < 0,10; n.s p > 0,10

¹ 2ALI+2DLI(10⁻¹)

² 2DQI(10⁻²)

TABELA 29 - Estimativa dos efeitos aditivos (AOI) e de dominância (DOI) no ciclo 0 considerando quatro ciclos de seleção de irmãos germanos (IG) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis e ácidos 1995-1997.

CARACTERES	PARÂMETROS		
	AOI	DOI	AOI:2DOI (%)
Produção de grãos (PG) t/ha	0,36 ns±0,22	1,90**±0,14	8,7:91,3
Florescimento feminino (FF) dias	68,39**±0,62	-2,07**±0,38	94,3:5,7
Altura da planta (AP) cm	165,76**±4,70	13,85**±2,88	85,7:14,3
Altura da espiga (AE) cm	79,11**±3,93	10,03**±2,41	79,8:20,2
Posição relativa da espiga (PRE) cm	0,44**±0,01	0,01 ns±0,01	95,7:4,3
Número de espigas por planta (EP) n°	0,62**±0,05	0,18**±0,03	63,3:36,7

** p < 0,01 ; * p < 0,05 ; *** p < 0,10; n.s. p > 0,10

TABELA 30 - Estimativas dos efeitos aditivos (ALI) e de dominância (DLI), da resposta à seleção e da oscilação genética (DQI) considerando quatro ciclos de seleção de irmãos germanos (IG) de seis caracteres agronômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis e ácidos 1995-1997.

CARACTERES	PARÂMETROS			
	ALI ¹	DLI ²	DQI ³	R(%)
Produção de grãos (PG) t/ha	-0,13 ns±0,32	0,17 ns±0,39	0,05 ns±0,05	94,02
Florescimento feminino (FF) dias	-0,30 ns±0,86	-0,62 ns±1,04	-0,36*±0,12	86,46
Altura da planta (AP) cm	0,27 ns±6,53	-0,51 ns±7,95	-1,37 ns±0,95	88,79
Altura da espiga (AE) cm	8,08 ns±5,46	-8,93 ns±6,64	-1,39 ns±0,79	57,03
Posição relativa da espiga (PRE) cm	0,024 ns±0,022	-0,020 ns±0,028	-0,004 ns±0,003	15,70
Número de espigas por planta (EP) n°	0,073 ns±0,076	-0,001 ns±0,09	-0,002 ns±0,011	77,89

** p < 0,01; * p < 0,05; *** p < 0,10; n.s p > 0,10

¹ALI(10⁻¹)

²DLI(10⁻¹)

³DQI(10⁻¹)

TABELA 31 - Estimativas de parâmetros genéticos no ciclo 0 (AOI+2DOI), da resposta à seleção (2ALI+2DLI) e da oscilação genética (2DQI) considerando quatro ciclos de seleção de irmãos germanos (IG) de seis caracteres agrônômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis e ácidos 1995-1997.

CARACTERES	PARÂMETROS		
	AOI+2DOI	2ALI+2DLI ¹	2DQI ²
Produção de grãos (PG) t/ha	4,16** ± 0,09	0,08 ns ± 0,28	0,10ns ± 0,09
Florescimento feminino (FF) dias	64,25** ± 0,25	-1,84* ± 0,76	-0,72* ± 0,25
Altura da planta (AP) cm	193,46** ± 1,92	-0,48 ns ± 5,76	-2,74 ns ± 1,90
Altura da espiga (AE) cm	99,17** ± 1,61	-1,70 ns ± 4,82	-2,78 ns ± 1,59
Posição relativa da espiga (PRE) cm	0,46** ± 0,006	0,008 ns ± 0,020	-0,008 ns ± 0,007
Número de espigas por planta (EP) n°	0,98** ± 0,02	0,14*** ± 0,07	- 0,004 ns ± 0,022

** p < 0,01 ; * p < 0,05 ; *** p < 0,01 ; n.s .p > 0,10

¹ 2ALI+2DLI (10⁻¹)

² 2DQI (10⁻¹)

TABELA 32 - Estimativas dos efeitos aditivos (AOI) e de dominância (DOI) no ciclo 0 considerando vinte ciclos de seleção combinada de meios irmãos modificado e irmãos germanos (MIM + IG) de seis caracteres agrônômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis e ácidos 1995-1997.

CARACTERES	PARÂMETROS		
	AOI	DOI	AOI:DOI (%)
Produção de grãos (PG) t/ha	-0,13 ns±0,13	2,15**±0,07	2,9:97,1
Florescimento feminino (FF) dias	68,20**±0,34	-1,97**±0,21	94,5:5,5
Altura da planta (AP) cm	160,17**±2,60	15,79**±1,57	83,5:16,5
Altura da espiga (AE) cm	78,80**±2,18	8,21**±1,31	82,7:17,3
Posição relativa da espiga (PRE) cm	0,45**±0,009	0,0002 n.s±0,005	99,9:0,1
Número de espigas por planta (EP) n°	0,63**±0,03	0,17**±0,02	65,0:35,0

** p < 0,01 ; * p < 0,05 ; *** p < 0,10; n.s. p > 0,10

TABELA 33 - Estimativas dos efeitos aditivos (ALI) e de dominância (DLI), da resposta à seleção e da oscilação genética (DQI) considerando vinte ciclos de seleção combinada de meios irmãos modificado e irmãos germanos (MIM + IG) de seis caracteres agrônômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis e ácidos 1995-1997.

CARACTERES	PARÂMETROS		
	ALI ¹	DLI ²	DQI ³
Produção de grãos (PG) t/ha	0,25 ns±0,28	0,11 ns±0,35	-0,08 ns±0,11
Florescimento feminino (FF) dias	0,29 ns±0,75	-2,23*±0,94	0,51 ns±0,31
Altura da planta (AP) cm	14,46*±5,69	-16,07*±7,16	0,39 ns±2,37
Altura da espiga (AE) cm	8,15***±4,76	-7,06 ns±5,99	2,02 ns±1,98
Posição relativa da espiga (PRE) cm	0,003 ns±0,02	0,012 ns ±0,025	0,009 ns±0,008
Número de espigas por planta (EP) n°	0,04 ns±0,06	0,03 ns±0,08	0,02 ns±0,03

** p < 0,01; * p < 0,05; *** p < 0,01; n.s p > 0,10

¹ALI(10⁻²)

²DLI(10⁻²)

³DQI(10⁻³)

TABELA 34 - Estimativas de parâmetros genéticos no ciclo 0 (AOI+2DOI), da resposta à seleção (2ALI+2DLI) e da oscilação genética (2DQI) considerando vinte ciclos de seleção combinada de meios irmãos modificado e irmãos germanos (MIM + IG) de seis caracteres agrônômicos na população de milho SA3 avaliada em ambientes de solos férteis e ácidos 1995-1997.

CARACTERES	PARÂMETROS		
	AOI+2DOI	2ALI+2DLI ¹	2DQI ²
Produção de grãos (PG) t/ha	4,17**±0,05	0,72*±0,37	-0,16 ns±0,23
Florescimento feminino (FF) dias	64,26**±0,13	-3,88**±0,80	1,02 ns±0,62
Altura da planta (AP) cm	191,75**±1,03	-3,22 ns±6,06	0,78 ns±4,73
Altura da espiga (AE) cm	95,22**±0,86	2,18 ns±5,07	4,04 ns±3,96
Posição relativa da espiga (PRE) cm	0,45**±0,002	0,030 ns±0,022	0,018 ns±0,016
Número de espigas por planta (EP) n°	0,97**±0,01	0,14*±0,07	0,04 ns±0,05

** p < 0,01 ; * p < 0,05 ; *** p < 0,10; n.s. p > 0,10

¹ 2ALI+2DLI(10⁻²)

² 2DQI(10⁻³)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, P.A. Avaliação de progênies de meios irmãos da população de milho CMS-39 em diferentes condições de ambiente. Lavras, 1986. 69p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura de Lavras.
- ALDRICH, S.R.; SCOTT, W.O.; LENG, E.R. **Modern corn production**. 2.ed. Champaign: A & L. Publications, 1975. 378p.
- ARBOLEDA-RIVERA, F.; COMPTON, W.A. Differential response of maize (*Zea mays* L.) to mass selection in diverse selection environments, **Theoretical and Applied Genetics**, v.44, p.77-84, Jan. 1974.
- BAHIA FILHO, A.F.C.; FRANÇA, G.E.; PITTA, G.V.E.; MAGNAVACA, R.; MENDES, J.F.; BAHIA, F.G.F.T.C.; PEREIRA, P. Avaliação de linhagens e populações de milho em condições de elevada acidez. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 11., Piracicaba, 1978. **Anais**. Piracicaba: Depto. de Genética-ESALQ/USP, 1978. p.51-58.
- BAHIA FILHO, A.F.C.; MAGNAVACA, R.; VASCONCELOS, C.A.; BAHIA, F.G.F.T.C.; PITTA, G.V.E.; NASPOLINI FILHO, V. Caracterização da curva de resposta de híbridos à calagem e a fósforo em um solo de elevada acidez. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 12., Goiania, 1979. **Anais**. Goiânia: EMBRAPA, 1979. p.86.

- BELTRAN, F.J.; HALLAUER, A. Hybrid improvement after reciprocal recurrent selection in BSSS and BSCB1 maize populations. **Maydica**, v.41, p.25-33, Jan/Mar. 1996.
- BERNARDI, J.; GERALDI, I.O.; MIRANDA FILHO, J.B. Avaliação de progênes de irmãos germanos ($S_0 \times S_0$) quanto a tolerância do alumínio. **Relatório Científico do Instituto de Genética**, n.5, p.20-28, 1981.
- BYRNE, P.F.; BOLAÑOS, J.; EDMÉADES, G.O.; EATON, D.L. Gains from selection under drought versus multilocation testing in related tropical maize populations. **Crop Science**, v.35, p.63-69, Jan/Feb. 1995.
- BORRERO, J.C.; PANDEY, S.; CEBALLOS, H.; MAGNAVACA, R.; BAHIA FILHO, A.F.C. Genetic variances for tolerance to soil acidity in a tropical maize population. **Maydica**, v.40, p.283-288, Abr/Jun. 1995.
- BUITRAGO, I.C. Comparação de três processos seletivos para a identificação de linhagens S_1 superiores em milho (*Zea mays* L.). Piracicaba, 1996. 137p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- BURGESS, J.C.; WEST, D.R. Selection for grain yield following selection for ear height in maize. **Crop Science**, v.33, p.679-682, Jul/Aug. 1993.
- CELIS, J. Maíz de trópico del Peru: avances y resultados. In: REUNIÓN DE COORDINADORES SURAMERICANOS DE PROGRAMAS DE MAÍZ, 5., Cali, 1996. **Memórias**. Cali: CIMMYT - Programa Suramericano de Maíz, 1996. p.142-166.

- CLARCK, R.B.; BROWN, J.C. Differential phosphorus uptake by phosphorus-stressed corn inbreds. **Crop Science**, v.14, p.505-508, Jul/Aug. 1974.
- CLARCK, R.B. Effect of aluminum on growth and mineral elements of al-tolerant and al-intolerant corn. **Plant and Soil**, v.47, p.653-662, Aug. 1977.
- CLAURE, T. Investigación y avances del programa de maíz del IBTA-Bolivia. In: IV REUNIÓN DE COORDINADORES SURAMERICANOS DE PROGRAMAS DE MAIZ, 4., Cali, 1996. **Memórias**. Cali: CIMMYT - Programa Suramericano de Maíz, 1996. p.18-32.
- COCHRAN, G.W.; COX, M.G. **Experimental designs**. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, 1957. 611p.
- COMSTOCK, R.E.; ROBINSON, H.F.; HARVEY, P.H. A breeding procedure designed to make maximum use of both general and specific combining ability. **Journal of the America Society Agronomy**, v.41, p.360-367, Feb. 1949.
- CROSSA, J.; GARDNER, C.O. Predicted and realized grain yield responses to full-sib family selection in CIMMYT maize (*Zea mays* L.) populations. **Theoretical and Applied Genetics**, v.77, p.33-38, Jan. 1989.
- DHILLON, B.S. Alternate recurrent selection of S_1 and half-sib families for intrapopulation improvement. **Maydica**, v.36, p.45-48, Jan/Mar. 1991.
- DHILLON, B.S.; KHEHRA, A.S. Modified S_1 recurrent selection in maize improvement. **Crop Science**, v.29, p.226-228, Jan/Feb. 1989.

- DUQUE-VARGAS, V.J.; PANDEY, S.; GRANADOS, G.; CEBALLOS, H.; KNAPP, R. Inheritance of tolerant to soil acidity in tropical maize. **Crop Science**, v.34, p.50-54, Jan/Fev. 1994.
- EBERHART, A.S.; SALHUANA, W.; SEVILHA, R.; TABA, S. Principles for tropical maize breeding. **Maydica**, v.40, p.339-355, Oct/Dec. 1995.
- ELEUTÉRIO, A.; GAMA, E.E.G.; DE MORAIS, R.A. Capacidade de combinação e heterose em híbridos intervarietais de milho adaptados a solos ácidos. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 16., Maceió, 1984. **Anais**. Maceió: EMBRAPA, 1984. p.169.
- FALCONER, D.S. **Introduction to quantitative genetics**. 3.ed. New York: Longman Scientific & Technical, 1989. 438p.
- FEHR, W.R. **Principles of cultivar development**. New York: Macmillan, 1987. 536p.
- FIGUEIREDO, O.A.R.; ALMEIDA, J.A. Quantificação das formas trocáveis de alumínio em solos ácidos do Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.151-156. Maio/Ago. 1991.
- FOY, C.D.; BROWN, J.C. Toxic factors in acid soils: II Differential aluminum tolerance of plant species. **Proceedings Soil Science Society American**, v.28, p.27-32, Jan/Feb, 1964.
- FURLANI, P.R.; HANNA, L.G. Avaliação da tolerância de plantas de arroz e milho ao alumínio em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.8, p.205-208, Maio/Ago. 1984.

- FURLANI, P.R.; LIMA, M.; MIRANDA, L.T.; MIRANDA L.F.C.; SAWASAKI, E.; MAGNAVACA, R. Avaliação de linhagens, materiais comerciais e duas populações de milho para tolerância a alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.21, n.6, p.655-660, Jun. 1986.
- GAMA, E.E.G.; MAGNAVACA, R.; MORAIS, A.R.; OLIVEIRA, A.C. Comportamiento de cinco poblaciones de maíz y de sus respectivos híbridos interpoblaciones en suelos fértiles y ácidos. In: REUNIÓN DE MAICEROS DE LA ZONA ANDINA, 12., Quito, 1986. **Memórias**. Quito: INIAP-CIMMYT, 1986. p.77-96.
- GARDNER, C.O.; EBERHART, S.A. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. **Biometrics**, v.22, p.439-451, Sept. 1966.
- GRANADOS, G.; PANDEY, S.; CEBALLOS, H. Response to selection for tolerance to acid soils in a tropical maize population. **Crop Science**, v.33, p.936-940, Sep/Oct. 1993.
- GRANADOS, G.; PANDEY, S.; CEBALLOS, H.; DUQUE, J.; LEON, L.; VARGAS, J.; TORRES, G.; NAVAS, A. ICA-SIKUANI V-110 primera variedad de maíz en Colombia tolerante a suelos ácidos. In: REUNION LATINOAMERICANA, 3.: REUNION DE LA ZONA ANDINA DE INVESTIGADORES EN MAIZ, 16., Cochabamba, 1995. **Memórias**. Cochabamba: CFP, 1995. p.195-218.
- GRANADOS, G.; PANDEY, S.; CEBALLOS, H. Registration of acid soil tolerant maize population SA-3 and SA-8. **Crop Science**, V.35, p.1236, July/Aug. 1995.

- HALLAUER, A.R. Reciprocal full-sib selection in maize. **Crop Science**, v.24, p.755-757, July/Aug. 1984.
- HALLAUER, A.R. Methods used in developing maize inbreds. **Maydica**, v.35, p.1-16, Jan/Mar. 1990.
- HALLAUER, A.R.; MIRANDA FILHO, J.B. **Quantitative genetics in maize breeding**. Iowa: State University Press, 1988. 468p.
- HAMMOND, J.J.; GARDNER, C.O. Modification of the variety cross diallel. Model for evaluating cycles of selection. **Crop Science**, v.14, p.6-8, Jan/Feb. 1974.
- HARLAND, S.C. A new method of maize improvement. **Tropical Agriculture**, v.23, p.114, 1946.
- HELMS, T.C.; HALLAUER, A.R.; SMITH, O.S. Genetic drift and selection evaluated from recurrent selection programs in maize. **Crop Science**, v.29, p.602-607, May/Jun. 1989a.
- HELMS, T.C.; HALLAUER, A.R.; SMITH, O.S. Genetic variability estimates in improved and nonimproved "Iowa Stiff Stalk Synthetic" maize populations. **Crop Science**, v.29, p.959-962, July/Aug. 1989b.
- HOLTHAUS, J.F.; LAMKEY, K.R. Response to selection and changes in genetic parameters for 13 plant and ear traits in two maize recurrent selection programs. **Maydica**, v.40, p.357-370, Oct/Dec. 1995.

- HULL, F.H. Recurrent selection and specific combining ability in corn. **Journal of the America Society Agronomy**, v.37, p.134-145, Feb. 1945.
- IGLESIAS, C.A.; HALLAUER, A.R. S₂ recurrent selection in maize populations with exotic germoplasm. **Maydica**, v.34, p.133-140, Jan/Mar. 1989.
- INTERNATIONAL MAIZE AND WHEAT IMPROVEMENT CENTER CIMMYT. South American Regional Maize Program (SARMP). Cali: CIAT, 1996. 116p. Final Review.
- JOHNSON, E.C.; FISCHER, G.O.; EDMEADES, G.O.; PALMER, A.F.F. Recurrent selection for reduced plant height in fowland tropical maize. **Crop Science**, v.26, p.253-260, Mar/Apr. 1986.
- KEERATINIJAKAL, V.; LAMKEY, R.K. Responses to reciprocal recurrent selection in BSSS and BSCB1 maize populations. **Crop Science**, v.33, p.73-77, Jan/Feb. 1993a.
- KEERATINIJAKAL, V.; LAMKEY, R.K. Genetic effects associated with reciprocal recurrent selection in BSSS and BSCB1 maize populations. **Crop Science**, v.33, p.78-82, Jan/Feb. 1993b.
- LAMKEY, K.R.; HALLAUER, A.R. Heritability estimated from recurrent selection experiments in maize. **Maydica**, v.32, p.61-78, Jan/Mar. 1987.
- LAMKEY, K.R.; SMITH, O.S. Performance and inbreeding depression of populations representing seven eras of maize breeding. **Crop Science**, v.27, p.695-699, Jul/Aug. 1987.

- LANDI, P.; FRASCAROLI, E. Responses to four cycles of full-sib family recurrent selection in an F_2 maize population. **Maydica**, v.38, p.31-37, Jan/Mar. 1993.
- LIMA, M.; FURLANI, P.R. Cruzamentos dialélicos entre linhagens de milho tolerante e sensíveis a alumínio. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 17., Piracicaba, 1988. **Resumos**. Piracicaba: Depto. Genética-ESALQ/USP, 1988. p.95.
- LIMA, M.; FURLANI, P.; GALLO, P.B.; VILLELA, O.V. Seleção divergente na população de milho IAC-Taiuba para tolerância a alumínio. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 17., Piracicaba, 1988. **Resumos**. Piracicaba: Depto. Genética-ESALQ/USP, 1988. p.96.
- LIMA, M.; FURLANI P.R.; MIRANDA FILHO, J.B. Divergent selection for aluminum tolerance in maize (*Zea mays* L.) population. **Maydica**, v.37, p.123-132, Jan/Mar. 1992.
- LIMA, M. Análise de cruzamentos intervarietais de milho (*Zea mays* L.) no esquema dialélico parcial. Piracicaba, 1982. 95p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- LIMA, M.; MIRANDA FILHO, J.B.; FURLANI P.R. Diallel cross among inbred lines of maize differing in aluminum tolerance. **Revista Brasileira de Genética**, v.18, n.9, p.579-584, Dez. 1995.
- LONNQUIST, J.H. A modification of the ear-to-row procedure for the improvement of maize population. **Crop Science**, v.4, p.227-228, May/June 1964.

LOPES, M.A.; MAGNAVACA, R.; BAHIA FILHO, A.F.C.; GAMA, E.E.G.
Avaliação de populações de milho e seus cruzamentos para tolerância a toxidez de alumínio em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.22, n.3, p.257-263, Mar. 1987.

LUTZ JUNIOR, J.A.; HAWKINS, G.W.; GENTER, C.F. Differential response of corn inbreds and single crosses to certain properties of an acid soil. **Agronomy Journal**, v.63, p.803-805, Sep/Oct. 1971.

MAGNAVACA, R. Genetic variability and the Inheritance of aluminum tolerance in maize (*Zea mays* L.) Lincoln, 1982. 135p. Tese (PhD), University of Nebraska.

MAGNAVACA, R.; GAMA, E.E.G.; BAHIA FILHO, A.F.C.; FERNANDEZ, F.T.
Obtenção de híbridos duplos de milho para tolerância à toxidez de alumínio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, n.9, p.971-977, Set. 1988.

MAGNAVACA, R. Conferencia: 25 anos de melhoramento de milho no Brasil - experiências e realizações. In: REUNION LATINOAMERICANA, 3.: REUNION DE LA ZONA ANDINA DE INVESTIGADORES EN MAIZ, 16., Cochabamba, 1995. **Memórias**. Cochabamba: CFP, 1995. p.547-556.

MAGALHÃES, A.C.; SILVA, J.W. Determinantes genético: fisiológicos da produtividade do milho. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G.P., (Ed.) **Melhoramento e produção de milho**. 2.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v.2, p.435-436.

- MALAVOLTA, E.; DANTAS PIRES, J. Nutrição e adubação do milho. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G.P., (Ed.) **Melhoramento e produção de milho**. 2.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v.2, p.582-584.
- MARQUEZ-SANCHEZ, F. A proposed modification to the Paterniani-Vencovsky Method of reciprocal recurrent selection. **Maydica**, v.32, p.341-343, Oct/Dec. 1987.
- MIRANDA, L.T.; FURLANI, P.R.; MIRANDA, L.E.C.; SAWAZAKI, E. Genetics of enviromental resistance and super-genes: latente aluminum tolerance. **Maize Genetics Coorporation News Letter**, v.58, p.46-48, Apr. 1984.
- MIRANDA FILHO, J.B.; VENCOVSKY, R. Analysis of diallel crosses among open-pollinated varieties of maize (*Zea mays* L.) **Maydica**, v.29, p.217-234, July/Sep. 1984.
- MISEVIC, D. Genetic analysis of crosses among maize populations representing different heterotic patterns. **Crop Science**, v.30, p.997-1001, Sep/Oct. 1990.
- MOLL, R.H.; SMITH, O.S. Genetic variances and selection responses in an advanced generation of a hybrid of widely divergent populations of maize. **Crop Science**, v.21, p.387-391, May/July 1981.
- MOLL, R.H. Sixteen cycles of recurrent full-sib family selection for grain weight in two maize populations. **Crop Science**, v.31, p.959-964, July/Aug. 1991.

- MOLL, R.H.; JACKSON, W.A.; NIKKELSEN, R.L. Recurrent selection for maize grain yield: dry matter and nitrogen accumulation and partitioning changes. **Crop Science**, v.34, p.874-881, Jul/Aug. 1994.
- NARRO, L.; PANDEY, S.; PÉREZ, J.C.; SALAZAR, F. Compendio de mejoramiento para suelos ácidos realizado por el CIMMYT. In: REUNION LATINOAMERICANA, 3.: REUNION DE LA ZONA ANDINA DE INVESTIGADORES EN MAIZ, 16., Cochabamba, 1995. **Memórias**. Cochabamba: CFP, 1995. p.47-65.
- OLIVEIRA, E.L. de; MUZILLI, O.; GERGE, A.C.; CATANEO, A. Tolerância a acidez do solo e eficiência de reposta a calagem por cultivares de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 14., Florianópolis, 1982. **Resumos**. Florianópolis: EMPASC, 1982. p.158.
- PANDEY, S.; GARDNER, C.O. Recurrent selection for population, variety, and hybrid improvement in tropical maize. **Advance in Agronomy**, v.48, p.1-87, Nov. 1992.
- PANDEY, S.; CEBALLOS, H.; MAGNAVACA, R.; BAHIA FILHO, A.F.C.; DUQUE-VARGAS, J.; VINASCO, L.E. Genetics of tolerance to soil acidity in tropical maize. **Crop Science**, v.34, p.1411-1514, Nov/Dec. 1994.
- PANDEY, S.; CEBALLOS, H.; KNAPP, E.B.; VARGAS, J.C. Genetic variability in maize for adaptation to acid soil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ESTRESSE AMBIENTAL. Sete Lagoas, 1992. **Anais**. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS-CIMMYT/UNDP, 1995. p.295-319.

- PARENTONI, S.N.; BAHIA FILHO, A.F.C.; GAMA, E.E.G.; LOPES, M.A.; GUIMARÃES, P.E.O.; SANTOS, M.X. Capacidade combinatória de linhagens elite de milho em solos ácido e fértil. In: REUNION LATINOAMERICANA, 3.; REUNION DE LA ZONA ANDINA DE INVESTIGADORES EN MAIZ, 16., Cochabamba, 1995. **Memórias**. Cochabamba: CFP, 1995. p.35-46.
- PARENTONI, S.N.; FRANÇA, G.E.C.; GAMA, E.E.G.; GUIMARÃES, P.E.O.; LOPES, M.A.; SANTOS, M.X. Avaliação de estresses múltiplos (toxidez de alumínio em solução nutritiva, produtividade em solo ácido e eficiência na utilização de fósforo) em linhagens de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 21., Londrina, 1996b. **Resumos**. Londrina: ABMS/IAPAR, 1996. p.162.
- PARENTONI, S.N.; GAMA, E.E.G.; LOPES, M.A.; SANTOS, M.X.; OLIVEIRA, P.E.; ELEUTÉRIO, A.; BAHIA FILHO, A.F.C.; VERA, M.C.A.; FRANÇA, G.E.C.; COELHO, A.M.; CORREA, L.A.; PAIVA, E.; VASCONCELOS, M.J.V. Avanços no programa de adaptação de milho a solos ácidos do CNPMS/EMBRAPA, 1994-1996. In: REUNIÓN DE COORDINADORES SURAMERICANOS DE PROGRAMAS DE MAIZ, 4., Cali, 1996. **Memórias**. Cali: CIMMYT - Programa Suramericano de Maíz, 1996a. p.74-103.
- PATERNIANI, E.; VENCovsky, R. Reciprocal recurrent selection based on half-sib progenies and prolific plants in maize (*Zea mays* L.). **Maydica**, v.23, p.209-219, Oct/Dec. 1978.
- PAVAN, A.M. Alumínio em solos ácidos do Paraná: relação entre o alumínio não trocável, trocável e solúvel, com o pH, CTC, porcentagem de saturação de Al e matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, p.39-46, Jan/Abr. 1983.

- PEREZ-VELASQUEZ, J.C.; CEBALLOS, H.; PANDEY, S.; DIAZ-AMARIS, C.
Analysis of diallel crosses among Colombian Landraces and improved populations of Maize. **Crop Science**, v.35, p.572-578, Mar/Apr. 1995.
- PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. Experimentos em látice: planejamento e análise por meio de "pacotes" estatísticos. Piracicaba: IPEF-ESALQ/USP, 1991. 69p.
- PINTO, R.M.C. Tamanho da amostra para seleção recorrente com progênies S_1 em milho. Piracicaba, 1996. 92p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- PINTRO, J.; BARLOY, J.; FALLAVIER, P. Efeito do alumínio sobre o crescimento mineral de plântulas de milho cultivadas em solução nutritiva de baixa atividade de Al^{+3} . In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 21., Londrina, 1996. **Resumos**. Londrina: ABMS/IAPAR, 1996. p.131.
- RAMALHO, M.A.P. Eficiência relativa de alguns processos de seleção interpopulacional no milho baseados em famílias não endógamas. Piracicaba, 1977. 122p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- REZENDE, G.D.S.P. Heterose, depressão por endogamia e variabilidade genética associadas à seleção e oscilação genética nas populações de milho BR-105 e BR-106. Piracicaba, 1997. 112p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

- RESENDE, M.D.V. Seleção de de genótipos de milho (*Zea mays* L.) em solos contrastantes. Piracicaba, 1989. 212p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- RESENDE, M.D.V.; SOUZA JUNIOR, C.L.; GAMA, E.E.G.; MAGNAVACA, R. Análise quantitativa da seleção envolvendo progênies de milho (*Zea mays* L.) em solos sob cerrado e fértil. I. Progressos genéticos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, n.5, p.495-507, maio 1997.
- REYES, T.S. Informe del Programa Nacional de Maíz, INIAP - Ecuador. In: REUNIÓN DE COORDINADORES SURAMERICANOS DE PROGRAMAS DE MAIZ, 4., Cali, 1996. **Memórias**. Cali: CIMMYT - Programa Suramericano de Maíz, 1996. p.104-134.
- RODRIGUEZ, O.A.; HALLAUER, A.R. Effects of recurrent selection in corn populations. **Crop Science**, v.28, p.796-800, Sep/Oct. 1988.
- ROSIELLE, A.A.; HAMBLIN, J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. **Crop Science**, v.21, p.943-946, Nov/Dec. 1981.
- RHUE, D.R.; GROGAN, C.O. Screening corn for al tolerance using different Ca and Mg concentrations. **Agronomy Journal**, v.69, p.755-760, Sep/Oct. 1977.
- RHUE, D.R.; GROGAN, C.O.; STOCKMEYER, E.W.; EVERETT, H.L. Genetic control of aluminum tolerance in corn. **Crop Science**, v.18, p.1063-1067, Nov/Dec. 1978.

SALAZAR, S.F.; PANDEY, S.; NARRO, L.; PEREZ, J.C.; CEBALLOS, H.
Herencia de la tolerância a suelos ácidos en ocho poblaciones de maiz tropicales del CIMMYT. In: REUNION LATINOAMERICANA, 3.; REUNION DE LA ZONA ANDINA DE INVESTIGADORES EN MAIZ, 16., Cochabamba, 1995. **Memórias**. Cochabamba: CFP, 1995. p.173-194.

SALAZAR, S.F.; PANDEY, S.; NARRO, L.; PEREZ, J.C.; CEBALLOS, H.; PARENTONI, S.N.; BAHIA FILHO, A.F.C. Diallel analysis of acid-soil tolerant and intolerant tropical maize populations. **Crop Science**, v.37, p.1457-1462, Sep/Oct. 1997.

SAS INSTITUTE INC. **SAS User's Guide: Statistic**, version 5 Edition. Cary: SAS Institute Inc, 1988. 956p.

SAWAZAKI, E.; FURLANI, P.R. Genética da tolerância ao alumínio em milho cateto. **Bragantia**, v.46, n.2, p.269-278, 1987.

SFAKIANAKIS, J.; FOTIADIS, N.; EVGENIDIS, G.; KATRANIS, N. Genetic analysis of maize variety diallel crosses and related populations. **Maydica**, v.41, p.113-117, Jan/Mar. 1996.

SMITH, O.S. Comparison of effects of reciprocal recurrent selection in the BSCB1(R) and BS6 populations. **Maydica**, v.29, p.1-8, Jan/Mar. 1984.

SILVA, J.W. Seleção de milho tolerante e alumínio. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE GENÉTICA REGIONAL DE SÃO PAULO, 13., Jaboticabal, 1979. **Anais**. Jaboticabal: UNESP, 1979. p.107-113.

- SCHNICKER, B.J.; LAMKEY, K.R. Interpopulation genetic variance after reciprocal recurrent selection in BSSS and BSCB1 maize populations. **Crop Science**, v.33, p.90-95, Sep/Oct. 1993.
- SMITH, O.S. A model for evaluating progress from recurrent selection. **Crop Science**, v.19, p.223-226, Mar/Apr. 1979a.
- SMITH, O.S. Application of a modified diallel analysis to evaluated recurrent selection for grain yield in maize. **Crop Science**, v.19, p.819-822, Nov/Dec. 1979b.
- SMITH, O.S. Evaluation of recurrent selection in BSSS, BSCB1, and BS 13 maize populations. **Crop Science**, v.23, p.35-39, Jan/Feb. 1983.
- SOUZA JUNIOR, C.L. de. Análise de cruzamentos dialélicos e predição de compostos de milho (*Zea mays* L.) braquítico. Piracicaba, 1981. 102p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- SOUZA JUNIOR, C.L. de. Variabilidade genética em milho (*Zea mays* L.) e relações com a seleção recorrente intra e interpopulacional. Piracicaba, 1983. 151p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- SOUZA JUNIOR, C.L. de. Reciprocal recurrent selection with half-sib progenies obtained alternately from non-inbred (So) and inbred (S₁) plants in maize (*Zea mays* L.). **Maydica**, v.32, p.19-31, Jan/Mar. 1987.

SOUZA JUNIOR, C.L. de. Comparisons of intra-, interpopulation, and modified recurrent selection methods. **Revista Brasileira de Genética**, v.16, n.1, p.91-105, jan. 1993.

SOUZA JUNIOR, C.L. de. Componentes de variância genética e suas implicações no melhoramento vegetal. Piracicaba: FEALQ, 1989. 139p.

SOUZA JUNIOR, C.L. de.; DOS SANTOS, M.X.; MAGNAVACA, R.; GAMA, E.E.G. Estimativa de parâmetros genéticos na interpopulação de milho BR-105 x BR-106 e suas implicações no melhoramento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, n.4, p.473-479, Abr. 1993.

SOUZA JUNIOR, C.L. de. Manutenção de coleções de bancos de germoplasmas. Piracicaba: Depto. de Genética-ESALQ/USP, 1995. 25p.

SOUZA JUNIOR, C.L. de; FERNANDES, J.S.C. Predicting the range of inbreeding depression of inbred lines in cross-pollinated populations. **Revista Brasileira de Genética**, v.20, n.1, p.35-39, jan. 1997.

SOUZA, J.R. de; SILVA, A.E. da; PACHECO, C.A.; PARENTONI, S.N.; SANTOS, M.X dos.; GUIMARÃES, P.E.O.; LOPES, M.A. Avaliação em solução nutritiva de seis ciclos de seleção para tolerância a alta saturação de alumínio na população de milho CMS-04C. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 21., Londrina, 1996. **Resumos**. Londrina: ABMS/IAPAR, 1996a. p.5.

- SOUZA, J.R. de; SILVA, A.E. da; PACHECO, C.A.; PARENTONI, S.N.; SANTOS, M.X dos.; GUIMARÃES, P.E.O.; LOPES, M.A. Avaliação em condições de campo de seis ciclos de seleção para tolerância à acidez na população de milho CMS-04C. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 21., Londrina, 1996. **Resumos**. Londrina: ABMS/IAPAR, 1996b. p.6.
- SOUZA, J.R. de; GUIMARÃES, M.F.; ABI SAAB, O.J.G.; RALISCH, R.; MEDINA, C.C. Diferenciação de dois materiais genéticos de milho (*Zea mays* L.) à acidez do solo e a eficiência de resposta à calagem. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 21., Londrina, 1996. **Resumos**. Londrina: ABMS/IAPAR, 1996. p.136.
- SPANER, D.; BRATHWAITE, R.A.I.; MATHER, D.E. Comparison of open-pollinated stress-tolerant and landrace maize for production under stress conditions in Trinidad. **Maydica**, v.40, p.331-337, Oct/Dec. 1995.
- SPANER, D.; BRATHWAITE, R.A.I.; MATHER, D.E. Diallel study of open-pollinated varieties in Trinidad. **Euphytica**, v.90, p.65-72, 1996.
- STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. **Principles and procedures of statistics**. New York: McGraw-Hill, 1960. 481p.
- STOCKMEYER, W.E.; EVERETT, L.H.; RHUE, D.R. Aluminum tolerance in maize seedlings as measured by primary root length in nutrient solutions maize. **Maize Genetic Cooperation News Letter**, v.52, p.15-16, Mar. 1978.

STOJSIN, D.; KANNENBERG, L.W. Genetic changes associated with different methods of recurrent selection in five maize populations: I. Directly selected traits. **Crop Science**, v.34, p.1466-1472, Nov/Dec. 1994a.

STOJSIN, D.; KANNENBERG, L.W. Genetic changes associated with different methods of recurrent selection in five maize populations: II. Indirectly selected traits. **Crop Science**, v.34, p.1473-1479, Nov/Dec. 1994b.

STROMBERG, L.D.; COMPTON, W.A. Ten cycles of full-sib selection in maize. **Crop Science**, v.29, p.1170-1172, Sep/Oct. 1989.

TANNER, A.H.; SMITH, O.S. Comparison of half-sib and S_1 recurrent selection in the Krug Yellow Dent maize populations. **Crop Science**, v.27, p.509-513, May/June 1987.

TORRES, A.L.G. Comportamiento de la variedad de maiz Sikuaní ICAV-110 en suelos ácidos del piedemonte llanero. In: REUNION LATINOAMERICANA, 4.; REUNION DE LA ZONA ANDINA DE INVESTIGADORES EN MAIZ, 17., Monteria, 1997. **Resumos**. Monteiro: CORPOICA-CIMMYT, 1997. p.87.

TRAGESSE, S.L.; YOUNEQUIST, W.C.; SMITH, O.S.; COMPTON, W.A. Drift vs. selection effects from five recurrent selection programs in maize. **Maydica**, v.34, p.23-32, Jan/Mar. 1989.

TROYER, A.F.; BROWN, W.L. Selection for early flowering in corn. **Crop Science**, v.12, p.301-304, May/June 1972.

- VASAL, S.K.; DHILLON, B.S.; SRINIVASAN, G.; ZHANG, S.H.; McLEAN, S.D.
Recurrent selection for inbreeding-stress tolerance in four intermedite-maturity maize populations. **Maydica**, v.40, p.159-164, Apr/Jun. 1995.
- VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G.P., (Ed.) **Melhoramento e produção de milho**. 2.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987, v.1, p.137-209.
- WALTERS, S.P.; RUSSELL, W.A.; LAMKEY, K.R. Performance and genetic variance among S_1 lines and testerosses of "Iowa Stiff Stalk Synthesis" maize. **Crop Science**, v.31, p.76-80, Jan/Feb. 1991.

APÊNDICES

Apêndice 1 - Matriz de coeficientes (X) utilizada para estimar os parâmetros genéticos do modelo de Smith (1983), relativos aos ciclos seletivos da população SA3, *per-se*, autofecundados e em cruzamentos dialélicos.

AOI	DOI	ALI	DLI	DQI
1	2	4	4	8
1	2	10	10	50
1	2	16	16	128
1	2	22	22	242
1	2	28	28	392
1	2	32	32	512
1	2	36	36	648
1	2	40	40	800
1	1	4	2	4
1	1	10	5	25
1	1	16	8	64
1	1	22	11	121
1	1	28	14	196
1	1	32	16	256
1	1	36	18	324
1	1	40	20	400
1	2	14	14	20
1	2	20	20	32
1	2	26	26	44
1	2	32	32	56
1	2	36	36	64
1	2	40	40	72
1	2	44	44	80
1	2	26	26	80

Apêndice 1 - Matriz de coeficientes (X) utilizada para estimar os parâmetros genéticos do modelo de Smith (1983), relativos aos ciclos seletivos da população SA3, *per-se*, autofecundados e em cruzamentos dialélicos.

1	2	32	32	110
1	2	38	38	140
1	2	42	42	160
1	2	46	46	180
1	2	50	50	200
1	2	38	38	176
1	2	44	44	224
1	2	48	48	256
1	2	52	52	288
1	2	56	56	320
1	2	50	50	308
1	2	54	54	352
1	2	58	58	396
1	2	62	62	440
1	2	60	60	448
1	2	64	64	504
1	2	68	68	560
1	2	68	68	576
1	2	72	72	640
1	2	76	76	720
1	2	14	14	20
1	2	20	20	32
1	2	26	26	44
1	2	32	32	56
1	2	36	36	64
1	2	40	40	72
1	2	44	44	80
1	2	26	26	80
1	2	32	32	110
1	2	38	38	140
1	2	42	42	160
1	2	46	46	180
1	2	50	50	200
1	2	38	38	176
1	2	44	44	224
1	2	48	48	256
1	2	52	52	288
1	2	56	56	320
1	2	50	50	308

Apêndice 1 - Matriz de coeficientes (X) utilizada para estimar os parâmetros genéticos do modelo de Smith (1983), relativos aos ciclos seletivos da população SA3, *per-se*, autofecundados e em cruzamentos dialélicos.

1	2	54	54	352
1	2	58	58	396
1	2	62	62	440
1	2	60	60	448
1	2	64	64	504
1	2	68	68	560
1	2	68	68	576
1	2	72	72	640
1	2	76	76	720
1	1	14	7	10
1	1	20	10	16
1	1	26	13	22
1	1	32	16	28
1	1	36	18	32
1	1	40	20	36
1	1	44	22	40
1	1	26	13	40
1	1	32	16	55
1	1	38	19	70
1	1	42	21	80
1	1	46	23	90
1	1	50	25	100
1	1	38	19	88
1	1	44	22	112
1	1	48	24	128
1	1	52	26	144
1	1	56	28	160
1	1	50	25	154
1	1	54	27	176
1	1	58	29	198
1	1	62	31	220
1	1	60	30	224
1	1	64	32	252
1	1	68	34	280
1	1	68	34	288
1	1	72	36	320
1	1	76	38	360

Apêndice 2 - Programa do SAS utilizado para estimar os parâmetros genéticos do modelo de Smith (1983).

I - SOLUÇÃO MATRICIAL

```

PROC IML;
  X { _____,
      _____,
      _____,
      _____};

  Y { _____,
      _____,
      _____};

  XtX = X'* X; print XtX;
  XtY = X'* Y; print XtY;
  i = inv(X'* X); print i;
  beta = inv(XtX) * XtY; print beta
   $\mu m$  = { 1,
            _____,
            _____,
            _____};

  Yme =  $\mu m'$  * Y/20; print Yme;
  sqReg = beta' * X' * Y - 20 * Yme * Yme; print sqReg;
  sqRes = Y'* Y - beta * X' * Y; print sqRes;
  sqtotal = Y'* Y - 20 * Yme * Yme; print sqtotal;
  S2 = sqres/15; print S2
  covbeta = inv(X' * X) * S2; print covbeta;

```

Apêndice 3 – Médias ajustadas de tratamentos para o caráter produção de grãos (Toneladas por hectare) na população SA3, avaliada em ambientes de solos férteis. 1995-1997.

Tratamentos	Médias	Tratamentos	Médias	Tratamentos	Médias
1	5,133	35	6,441	68	5,942
2	5,579	36	6,171	69	5,771
3	6,064	37	6,170	70	6,050
4	5,893	38	6,126	71	6,106
5	6,106	39	5,965	72	6,012
6	5,283	40	6,125	73	2,845
7	6,174	41	5,240	74	2,859
8	5,636	42	5,258	75	2,417
9	2,560	43	5,462	76	2,442
10	2,997	44	5,090	77	3,670
11	2,947	45	5,801	78	2,943
12	2,534	46	5,904	79	3,378
13	2,734	47	5,872	80	2,573
14	3,131	48	5,925	81	2,507
15	3,267	49	5,539	82	3,289
16	3,122	50	5,964	83	2,919
17	5,746	51	6,302	84	2,768
18	6,144	52	5,920	85	2,885
19	6,451	53	5,646	86	2,537
20	5,685	54	5,865	87	2,970
21	6,586	55	5,721	88	2,763
22	6,386	56	6,075	89	2,876
23	6,294	57	5,730	90	2,852
24	6,115	58	5,599	91	2,611
25	5,877	59	5,723	92	2,368
26	5,346	60	5,631	93	2,852
27	5,748	61	6,187	94	2,708
28	5,426	62	6,045	95	2,699
29	4,994	63	6,224	96	2,875
30	6,363	64	6,280	97	2,972
31	6,166	65	6,179	98	2,868
32	6,141	66	5,834	99	3,053
33	6,127	67	6,062	100	2,813
34	6,310				

Apêndice 4 – Médias ajustadas de tratamentos para o caráter produção de grãos (Toneladas por hectare) na população SA3, avaliada em ambientes de solos ácidos 1995-1997.

Tratamentos	Médias	Tratamentos	Médias	Tratamentos	Médias
1	2,468	35	3,590	68	3,983
2	3,212	36	4,019	69	3,149
3	3,595	37	3,491	70	3,548
4	3,411	38	3,432	71	3,542
5	3,403	39	3,466	72	3,932
6	3,254	40	3,083	73	1,567
7	3,534	41	2,520	74	1,492
8	3,490	42	2,966	75	1,597
9	1,665	43	3,044	76	1,534
10	1,643	44	3,250	77	2,290
11	1,859	45	3,180	78	1,886
12	1,378	46	3,095	79	1,819
13	1,843	47	3,637	80	1,349
14	1,790	48	2,906	81	1,854
15	1,717	49	2,872	82	1,479
16	1,939	50	3,468	83	1,625
17	2,756	51	3,776	84	1,375
18	3,276	52	3,448	85	1,549
19	3,296	53	3,215	86	1,602
20	3,486	54	3,347	87	1,535
21	3,527	55	3,749	88	1,555
22	3,950	56	3,003	89	1,688
23	3,659	57	3,020	90	2,015
24	2,669	58	3,464	91	1,647
25	3,357	59	3,405	92	1,616
26	3,033	60	3,631	93	1,688
27	2,708	61	3,682	94	1,945
28	2,661	62	3,249	95	1,774
29	2,760	63	3,694	96	1,589
30	3,807	64	3,773	97	2,233
31	3,947	65	3,555	98	1,734
32	3,479	66	3,794	99	1,806
33	3,336	67	3,475	100	1,843
34	3,239				

Apêndice 5 - Médias ajustadas de tratamentos para o caráter produção de grãos (Toneladas por hectare) na população SA3, avaliada em ambientes de solos férteis e ácidos 1995-1997.

Tratamentos	Médias	Tratamentos	Médias	Tratamentos	Médias
1	3,467	35	4,658	68	4,715
2	4,101	36	4,825	69	4,131
3	4,517	37	4,504	70	4,484
4	4,347	38	4,447	71	4,507
5	4,418	39	4,405	72	4,718
6	4,025	40	4,224	73	2,041
7	4,520	41	3,534	74	2,001
8	4,293	42	3,832	75	1,905
9	2,002	43	3,939	76	1,878
10	2,158	44	3,835	77	2,811
11	2,274	45	4,167	78	2,280
12	1,810	46	4,154	79	2,401
13	2,176	47	4,484	80	1,799
14	2,288	48	4,036	81	2,093
15	2,264	49	3,878	82	2,162
16	2,385	50	4,404	83	2,111
17	3,878	51	4,720	84	1,902
18	4,353	52	4,374	85	2,046
19	4,474	53	4,128	86	1,961
20	4,316	54	4,293	87	2,077
21	4,679	55	4,491	88	2,008
22	4,859	56	4,156	89	2,134
23	4,651	57	4,035	90	2,327
24	3,965	58	4,264	91	2,003
25	4,309	59	4,273	92	1,897
26	3,881	60	4,377	93	2,118
27	3,859	61	4,630	94	2,237
28	3,695	62	4,299	95	2,119
29	3,587	63	4,642	96	2,058
30	4,776	64	4,714	97	2,505
31	4,780	65	4,540	98	2,158
32	4,473	66	4,562	99	2,272
33	4,384	67	4,442	100	2,207
34	4,383				