

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

LIA MARA MOTERLE

ANÁLISE BIOMÉTRICA DA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE
SEMENTES DE MILHO

MARINGÁ
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO – 2010

LIA MARA MOTERLE

**ANÁLISE BIOMÉTRICA DA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE
SEMENTES DE MILHO**

Tese apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor.

Orientador: Alessandro de Lucca e Braccini

**MARINGÁ
PARANÁ – BRASIL
FEVEREIRO – 2010**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

M917a Moterle, Lia Mara
Análise biométrica da qualidade fisiológica de sementes de milho. / Lia Mara Moterle. -- Maringá, 2010.
xiv, 150 f. tabs.

Orientador : Prof. Dr. Alessandro de Lucca e Braccini.
Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2010.

1. Milho-pipoca (*Zea mays* L.) - Germinação. 2. Milho-pipoca (*Zea mays* L.) - Vigor. 3. Milho-pipoca (*Zea mays* L.) - Rendimento de grãos. 4. Milho-pipoca (*Zea mays* L.) - Capacidade de expansão. 5. Milho-pipoca (*Zea mays* L.) - Capacidade de combinação. 6. Milho (*Zea mays* L.) - Germinação. 7. Milho (*Zea mays* L.) - Vigor. 8. Milho (*Zea mays* L.) - Rendimento de grãos. 9. Milho (*Zea mays* L.) - Capacidade de combinação. 10. Milho-pipoca (*Zea mays* L.) - Análise dialética. I. Braccini, Alessandro de Lucca e, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDD 21.ed. 633.15

LIA MARA MOTERLE

**ANÁLISE BIOMÉTRICA DA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE
SEMENTES DE MILHO**

Tese apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor.

APROVADA em

Prof. Dr. Carlos Alberto Scapim

Prof. Dr. Ronald José Barth Pinto

Profa. Dra. Adriana Gonela

Prof. Dr. Antonio Teixeira do Amaral Junior

Prof. Dr. Alessandro de Lucca e Braccini
(Orientador)

“Tudo posso naquele que me fortalece.”

Evangelho de Filipenses, cap. 4, vers. 13, Bíblia Sagrada.

Ao meu marido,
Renato,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, direção, proteção e por tudo de primordial que Ele representa.

Ao Professor Doutor Alessandro de Lucca e Braccini, minha imensa gratidão pela oportunidade de ser sua orientanda, pela motivação, comprometimento e apoio durante todos esses anos. Agradeço por suas sugestões que foram sempre brilhantes e esclarecedoras.

Ao Professor Doutor Carlos Alberto Scapim, pelo estímulo, apoio, paciência nos momentos de mudança e pelos grandes ensinamentos transmitidos. Sinto-me honrada por ter sido sua aluna. Minha gratidão e o meu respeito pelo seu profissionalismo e sabedoria.

Aos Professores participantes da Banca, pelo comprometimento, participação, opinião e honrosa contribuição.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia da UEM, pelos ensinamentos transmitidos durante o curso.

Aos funcionários do Nupagri, FEI e PGA, pela colaboração.

Ao Renato, por fazer parte da minha vida; pelo carinho, compreensão, ajuda e incentivo em tudo o que faço.

À minha grande amiga, Josi, pela disposição, paciência e indispensável apoio nos momentos difíceis. Sou grata por me ajudar a enfrentar os desafios e por compartilhar comigo o entusiasmo das conquistas.

Às amigas, Leandra e Karol, pela amizade e companheirismo.

Ao Thiago, Fernando e Mariana pela ajuda na realização deste trabalho.

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da UEM, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de estudos.

À minha família que sempre me incentivou a fazer o melhor possível e nunca desanimar na busca dos meus ideais.

A todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente com esse processo, a todos com quem eu tive o privilégio de trocar experiências e que colaboraram de forma significativa ao meu aperfeiçoamento profissional.

BIOGRAFIA

Lia Mara Moterle, filha de Ivo Moterle e Gelci Beltrame Moterle, nasceu em Chopinzinho, Paraná, aos 27 dias de dezembro de 1979.

Realizou o ensino básico e médio no Colégio Estadual Nestor de Castro, em Sulina, PR.

Graduou-se em Agronomia pelo Centro Federal de Educação Tecnológica – Cefet, *campus* de Pato Branco, Estado Paraná, em 2003.

Em março de 2004, iniciou o Curso de Mestrado em Agronomia, na área de concentração em Produção Vegetal, pela Universidade Estadual de Maringá. Iniciou os trabalhos em Melhoramento e Tecnologia e Produção de Sementes em 2004, durante o primeiro semestre do curso de pós-graduação, obtendo o título de Mestre, quando da defesa de sua dissertação intitulada “Qualidade fisiológica das sementes de milho-pipoca sob influência do estresse hídrico”, apresentada à Universidade Estadual de Maringá em fevereiro de 2006, sob a orientação do Prof. Dr. Carlos Alberto Scapim.

Em março de 2006, iniciou o Curso de Doutorado em Agronomia, na Área de concentração em Produção Vegetal, pela Universidade Estadual de Maringá.

“O que nos desenvolve é a busca
e não a chegada.”
(Anônimo)

"Sucesso não significa vencer alguém,
é a paz de consciência que vem da
satisfação de saber que se
fez o melhor possível".
(John Wooden)

SUMÁRIO

RESUMO	XI
ABSTRACT	XIV
1 INTRODUÇÃO GERAL	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 PANORAMA MUNDIAL E NACIONAL DA CULTURA DO MILHO E DO MILHO-PIPOCA	4
2.2 ORIGEM DO MILHO E MILHO-PIPOCA	7
2.3 BIOSISTEMÁTICA E CARACTERÍSTICAS	8
2.3.1 <i>Constituintes das sementes</i>	10
2.4 CAPACIDADE DE EXPANSÃO	12
2.5 MANEJO CULTURAL	13
2.6 MELHORAMENTO GENÉTICO E AVALIAÇÃO DE CULTIVARES NO BRASIL	15
2.7 CRUZAMENTOS DIALÉLICOS	20
2.8 ENDOGAMIA E HETEROSE	24
2.9 QUALIDADE FISIOLÓGICA DAS SEMENTES	26
2.10 ANÁLISE DIALÉLICA X QUALIDADE FISIOLÓGICA	28
3 REFERÊNCIAS	31
CAPÍTULO 1	41
ANÁLISE DIALÉLICA DA QUALIDADE FISIOLÓGICA E DA PRODUTIVIDADE DE SEMENTES DE MILHO-PIPOCA	41
<i>DIALLEL ANALYSIS OF THE PHYSIOLOGICAL QUALITY AND YIELD OF POPCORN SEEDS</i>	43
1 INTRODUÇÃO	45
2 MATERIAL E MÉTODOS	48
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
3.1 QUALIDADE FISIOLÓGICA	57
3.2 CAPACIDADE DE EXPANSÃO E CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS	76
4 CONCLUSÕES	94
REFERÊNCIAS	95
CAPÍTULO 2	99
ANÁLISE DIALÉLICA DA QUALIDADE FISIOLÓGICA E DA PRODUTIVIDADE DE SEMENTES DE MILHO	99
<i>DIALLEL ANALYSIS OF THE PHYSIOLOGICAL QUALITY AND YIELD OF CORN SEEDS</i>	101
1 INTRODUÇÃO	103
2 MATERIAL E MÉTODOS	106
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	114

3.1 QUALIDADE FISIOLÓGICA	114
3.2 CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS	128
4 CONCLUSÕES.....	147
REFERÊNCIAS	148

RESUMO

MOTERLE, Lia Mara, D.S. Universidade Estadual de Maringá, fevereiro de 2010. **Análise biométrica da qualidade fisiológica de sementes de milho.** Orientador: Alessandro de Lucca e Braccini. Co-orientador: Carlos Alberto Scapim.

Apesar dos vários avanços no melhoramento de caracteres agronômicos das culturas do milho-pipoca e milho, os dados sobre o efeito heterótico na qualidade das sementes têm se mostrado inconsistentes. Desta forma, objetivou-se quantificar a capacidade de combinação de linhagens de milho-pipoca e milho para a qualidade de sementes e características agronômicas e avaliar o potencial dessas linhagens e seus híbridos. Para tanto, sementes de nove linhagens de milho-pipoca e mais nove de milho foram produzidas na área experimental da Universidade Estadual de Maringá (UEM), Estado do Paraná. Constituíram-se, portanto, dois dialelos completos, um de milho-pipoca e outro de milho, com 36 (F_1 's) e 72 (F_1 's e recíprocos) materiais, respectivamente. Na avaliação da qualidade fisiológica das sementes de milho-pipoca, utilizaram-se os testes de germinação (primeira contagem-PC e contagem final-GER), envelhecimento acelerado (ENV), frio modificado (FRIO), condutividade elétrica ("bulk system") (COE), emergência das plântulas em leito de areia (EA), velocidade de emergência em areia (fórmulas de velocidade de emergência-VE e índice da velocidade de emergência-IVE), comprimento de plântulas (parte aérea-CPA e raiz primária-CRP) e biomassa seca das plântulas (BS). Para o milho foram utilizados os mesmos testes, com exceção dos testes de ENV, COE, CPA, CRP e BS. As características agronômicas da cultura do milho-pipoca avaliadas, em látice triplo, foram: altura da planta (AP); altura de inserção da primeira espiga (AE); número de plantas acamadas (NPA); número de plantas quebradas (NPQ); estande final (SF); número de espigas (NE); número de espigas mal empalhadas (NEME); rendimento de grãos (RG); e capacidade de expansão. No milho, com exceção do número de espigas e da capacidade de expansão, as mesmas características foram avaliadas. Para a análise dos dialelos, utilizaram-se para as culturas do milho-

pipoca e milho, os métodos 4 e 3 de Griffing, respectivamente, ambos no modelo fixo. No trabalho com milho-pipoca, os resultados permitiram concluir que, na maioria dos caracteres avaliados, predominaram os efeitos da capacidade específica de combinação, evidenciando maior importância dos genes de efeitos não-aditivos no controle genético da qualidade fisiológica de sementes. As linhagens Zélia e CMS42 foram promissoras para a obtenção de híbridos, seja para sementes de qualidade fisiológica superior ou para capacidade de expansão, podendo ser utilizadas como testadores na avaliação da CEC de outros grupos de linhagens. As estimativas de CGC para as linhagens CMS42, IAC-112 e Zaeli confirmam seus potenciais na exploração da heterose para rendimento de grãos e capacidade de expansão. As combinações CMS42xIAC-112, ZéliaxIAC-112, ZéliaxZaeli e UEM-J1xZaeli foram as mais promissoras em relação à CEC para qualidade fisiológica de sementes. Os híbridos ZéliaxIAC-112, CMS43-1xIAC-112, UEM-M2-2xZaeli, ZéliaxUEM-M2-1, CMS42xUEM-M2-1 e UEM-M2-2xZaeli são promissores para as características RG e CE. A linhagem CMS42 aliou altas estimativas de CGC para qualidade fisiológica, capacidade de expansão e rendimento de grãos. Os híbridos ZéliaxIAC-112, CMS42xUEM-M2-1, CMS43-1xIAC-112 e UEM-M2-2xZaeli aliaram alta CEC para capacidade de expansão e rendimento elevado, destacando-se em, pelo menos, dois testes de avaliação da qualidade fisiológica das sementes. No trabalho com milho, houve maior importância dos genes de efeitos não-aditivos no controle genético da qualidade fisiológica de sementes. As linhagens Flash, Dekalb350, 30F80, 8330 e CD3121-1 são promissoras para a obtenção de híbridos com sementes de qualidade superior. As combinações CD3121-1x30F80 e 8330xCD3121-1 devem ser utilizadas na obtenção de segregantes superiores para germinação e vigor de sementes de milho. Nos testes de FRIO e EA, houve efeito recíproco para os híbridos CD3121-1xCD3121-2 e AG8080xSpeed, respectivamente. As linhagens Dekalb350 e AG8080 são de interesse para síntese de híbridos promissores para safra e safrinha na Região Noroeste do Paraná. Com base nas estimativas houve efeito recíproco nos híbridos FlashxStrike, 8330xSpeed para a característica altura de plantas. As linhagens Flash, Dekalb350 e 30F80 aliaram altas estimativas de CEC para qualidade fisiológica de sementes e rendimento de grãos. As combinações CD3121-1x30F80, SpeedxCD3121-2,

8330xAG8080, Dekalb350xCD3121-2 são as mais promissoras entre os híbridos avaliados, com estimativas elevadas de CEC para qualidade fisiológica e rendimento, na safra normal.

Palavras-chave: *Zea mays* L., capacidade de combinação, germinação e vigor, capacidade de expansão, rendimento de grãos.

ABSTRACT

MOTERLE, Lia Mara, D.S. State University of Maringá, February 2010.
Biometric analysis of the physiological quality of corn seeds. Adviser:
Alessandro de Lucca e Braccini. Co-adviser: Carlos Alberto Scapim.

In spite of the many advances in the field of agronomic trait improvement for popcorn and corn crops, data on the heterotic effect on seed quality if has shown inconsistent. Thus, the objective was to quantify the combining ability of inbred lines of popcorn and corn for seed quality and agronomic traits and, to evaluate the potential of these lines and their hybrids. Thus, seeds from nine popcorn lines and nine corn lines were produced in the experimental area of the State University of Maringá (UEM), state of Paraná, Brazil. Therefore, two complete diallels – one for popcorn and the other for corn – with 36 (F_1 's) and 72 (F_1 's and reciprocals) crosses, respectively. In the evaluation of the physiological quality of the popcorn seeds had used tests of germination (first count-PC, and final count-GER), accelerated aging (ENV), modified cold (FRIO), electrical conductivity (bulk system) (COE), seedling emergence in sand bed (EA), speed of emergence in sand (emergence speed formulas-VE, and emergence speed index-IVE), seedling length (shoot-CPA e root-CRP) (CPA and CRP) and seedling dry biomass (BS). The same tests were used for corn, with the exception of tests ENV, COE, CPA, CRP and BS. The agronomic traits of popcorn evaluated in triple lattice were: plant height (AP); first ear insertion height (AE); number of lodged plants (NPA); number of broken plants (NPQ); final stand (SF); number of ears (NE); number of poorly hulled ears (NEME); grain yield (RG) and popping expansion. For corn, the same traits were evaluated, with the exception of number of ears and popping expansion. For diallel analysis, Griffing's methods 4 and 3 were used for popcorn and corn, respectively, both in the fixed model. With popcorn, the results had allowed to conclude that, for most of the evaluated traits, the effects of the specific combining ability prevailed, evidencing the greater importance of non-additive gene effects for the genetic control of the physiological quality of popcorn

seeds. The Zélia and CMS42 inbred lines show promise for obtaining hybrids, either for seeds with superior physiological quality or popping expansion, and they can be used as testers to evaluate the SCA of other lineage groups. GCA estimates for the CMS42, IAC-112 and Zaeli inbred lines confirm their potential in the exploration of heterosis for grain yield and popping expansion. The combinations CMS42xIAC-112, ZéliaxIAC-112, ZéliaxZaeli and UEM-J1xZaeli were the most promising with regards to SCA for physiological quality of seeds, and can be recommended in breeding programs. The hybrids ZéliaxIAC-112, CMS43-1xIAC-112, UEM-M2-2xZaeli, ZéliaxUEM-M2-1, CMS42xUEM-M2-1 and UEM-M2-2xZaeli are promising for traits RG and CE. The inbred line CMS42 combined high GCA physiological quality, popping expansion and grain yield. The hybrids ZéliaxIAC-112, CMS42xUEM-M2-1, CMS43-1xIAC-112 and UEM-M2-2xZaeli combined high popping expansion and yield, by standing out in at least two tests of evaluation of the physiological quality of the seeds. With corn, there was a greater importance of non-additive gene effects for the genetic control of the physiological quality of popcorn seeds. The inbred lines Flash, Dekalb350, 30F80, 8330 and CD3121-1 show promise for obtaining hybrids with superior seed quality. The combinations CD3121-1x30F80 and 8330xCD3121-1 they must be used to obtain superior segregates for germination and vigor of corn seeds. In the FRIO and EA tests, there was a reciprocal effect for hybrids CD3121-1xCD3121-2 and AG8080xSpeed, respectively. The inbred lines Dekalb350 and AG8080 are useful for the synthesis of promising hybrids for the regular and winter season harvests in northwestern Paraná. On the basis of the estimates, there was a reciprocal effect in hybrids FlashxStrike, 8330xSpeed for the plant height trait. The inbred lines Flash, Dekalb350 and 30F80 combined high SCA physiological quality seeds and grain yield. The combinations CD3121-1x30F80, SpeedxCD3121-2, 8330xAG8080, Dekalb350xCD3121-2 are the most promising among the evaluated hybrids, with high SCA estimates for physiological quality and yield during the regular season harvest.

Key Words: *Zea mays* L., combining ability, germination and vigour, popping expansion, grain yield.

1 INTRODUÇÃO GERAL

O milho (*Zea mays* L.), a mais importante cultura comercial com origem nas Américas, ocupa, na atualidade, o terceiro lugar em área semeada e o primeiro lugar em produção e produtividade no mundo entre as principais culturas produtoras de grãos. Sua importância econômica vai desde a alimentação até a indústria de alta tecnologia. Na realidade, do total produzido no mundo, 66% são utilizados na ração animal, 25% se destinam à alimentação humana e em processos industriais, e o restante é utilizado como sementes ou perdido (FORNASIERI FILHO, 2007).

No Brasil, o milho é cultivado em duas safras, o que tem contribuído para a estabilização do mercado para este produto. A produção brasileira no ano agrícola de 2008/09 foi de aproximadamente 33,6 milhões de toneladas, em uma área cultivada de 9,24 milhões de hectares (CONAB, 2009). O Brasil se destaca como o terceiro maior produtor mundial, ficando atrás apenas dos Estados Unidos da América e da China.

Os dados sobre o cultivo de milho demonstram a dinâmica dos programas de melhoramento, a confiança do setor na evolução da cultura e a importância do uso de sementes de qualidade no aumento da produtividade (CRUZ; PEREIRA FILHO, 2009).

Atualmente, existem no mercado mais de 325 tipos de milho, graças aos avanços alcançados por meio do melhoramento genético. Destes, em torno de 4% representam os milhos especiais, entre os quais está incluído o milho-pipoca (CRUZ; PEREIRA FILHO, 2009), obtidos, em sua grande maioria, por meio da exploração da heterose, especialmente em programas de milho híbrido.

O milho-pipoca é muito apreciado como guloseima e seu consumo tem se tornado crescente entre os brasileiros (FACHIN et al., 1993). Este tipo de milho se caracteriza por possuir sementes pequenas e duras, que têm a capacidade de estourar quando aquecidas em altas temperaturas, diferenciando-se, desse modo, do milho pertencente à mesma espécie botânica, ou seja, *Zea mays* (SAWAZAKI, 2001).

O líder mundial em produção e consumo de milho-pipoca são os Estados Unidos. O Brasil se destaca como o segundo maior produtor, com produção anual de 80 mil toneladas (JORNAL DA TERRA, 2008). Esse fator tem favorecido a autossuficiência no abastecimento do consumo interno.

Enquanto o milho comum tem sido extensivamente estudado por melhoristas, as pesquisas relacionadas ao milho-pipoca ainda são consideradas incipientes, muito embora avanços significativos, como a obtenção de cultivares nacionais, mais produtivas e adaptadas às diferentes regiões (Zélia, Jade, IAC 112, IAC 125), tenham sido alcançados nos últimos anos.

Para se ter sucesso em programas de melhoramento, são necessárias plantas com alta variabilidade (PINTO, 2009; RAMALHO et al., 2008). Portanto, dentre as opções de identificação de genitores para a constituição de população com ampla variabilidade a ser explorada em sucessivos ciclos de seleção, as metodologias de análises dialélicas podem ser alternativas bastante viáveis.

Os cruzamentos dialélicos são amplamente utilizados em quase todas as espécies cultivadas, em razão do grande número de informações genéticas que podem oferecer, como inferências sobre os híbridos e sobre a capacidade combinatória de seus genitores (CRUZ, 1990; CRUZ, et al., 2004a).

Diversas características relacionadas à produtividade e qualidade fisiológica das sementes podem ser avaliadas por meio de análises dialélicas. No entanto, a maioria dos trabalhos trata apenas de componentes de produtividade (SCAPIM et al., 1995; LOCATELLI et al., 2002; SCAPIM et al., 2002; AGUIAR et al., 2004; KVITSCHAL et al., 2004; SEIFERT et al., 2006; PINTO et al., 2007a; PINTO et al., 2007b; PATERNIANI et al., 2008), havendo pouca informação a respeito da herança para qualidade fisiológica (GOMES et al., 2000; ANTUNA et al., 2003; CERVANTES-ORTIZ et al., 2007).

Segundo Delouche (1985), a utilização de caracteres relacionados com a qualidade das sementes, em programas de melhoramento genético, deveria merecer posição de destaque visto que incrementaria a resistência à deterioração no campo, a longevidade durante o armazenamento, bem como a capacidade de germinação e emergência em condições não-favoráveis.

O potencial máximo de qualidade fisiológica de sementes é controlado geneticamente (PRETE; GUERRA, 1999). A complexidade deste caráter deve-se ao seu controle multifatorial e poligênico. Assim, segundo Gomes et al. (2000), programas que visem à manifestação da heterose nos híbridos para características relacionadas à qualidade fisiológica de sementes buscam a viabilidade da obtenção de cultivares híbridas com sementes de alta qualidade. Segundo esses autores, o estudo da capacidade combinatória possibilita ao melhorista identificar as melhores combinações híbridas, tanto para aproveitamento imediato, na forma de híbridos F₁ comerciais, como para a escolha de linhagens com maior potencial para a geração de híbridos com sementes de melhor qualidade.

Além da escassa literatura disponível sobre a herança da qualidade fisiológica, existem divergências nos trabalhos que tratam desse assunto (BARLA-SZABO et al., 1989; GOMES et al., 2000; ANTUNA et al., 2003; CERVANTES-ORTIZ et al., 2007; SILVA et al., 2008). Há, portanto, a necessidade de novos estudos voltados à seleção de novos genótipos que, além de produtivos, apresentem bom desempenho das sementes.

Um grupo de pesquisadores ligados à Universidade Estadual de Maringá vem desenvolvendo linhagens endogâmicas de milho-pipoca e milho, com o intuito de obter híbridos com elevada qualidade de sementes que sejam adaptados à Região Noroeste do Paraná. Assim, o presente trabalho teve como objetivos: 1) testar, por meio de cruzamentos dialélicos, a capacidade combinatória de nove linhagens de milho-pipoca e nove de milho para a qualidade fisiológica de sementes e características agronômicas; e 2) avaliar o potencial dessas linhagens e seus híbridos em duas safras agrícolas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Panorama mundial e nacional da cultura do milho e do milho-pipoca

A cultura do milho ocupa, na atualidade, o terceiro lugar em área semeada e o primeiro lugar em produção e produtividade no mundo entre as principais culturas produtoras de grãos (FORNASIERI FILHO, 2007).

A produção mundial do milho no ano de 2007 foi estimada em cerca de 791,8 milhões de toneladas cultivadas em uma área de aproximadamente 158 milhões de hectares, resultando em uma produtividade média de 5.010 kg ha⁻¹ (FAO, 2009).

Os maiores produtores mundiais são os Estados Unidos, a China e o Brasil, os quais, em 2007, foram responsáveis por 49,5% da produção mundial de milho, com os Estados Unidos constituindo-se no principal exportador e apresentando o maior índice de produtividade (FORNASIERI FILHO, 2007). O Brasil foi responsável por 8,7% da produção mundial de milho, ou seja, 52 milhões de toneladas em 13,8 milhões de hectares, com uma produtividade de 3.785,1 kg ha⁻¹, destacando-se como o terceiro maior produtor mundial dessa cultura (FAO, 2009).

A produção nacional de milho na safra 2008/2009 alcançou a cifra de 33.644,7 mil toneladas. Desse total, a Região Sul contribuiu com 42,0%, a Sudeste, com 29,1%, a Centro-oeste, com 13,3%, a Nordeste, com 12,4% e a Norte, com 3,2%. O Estado do Paraná destacou-se como o maior produtor nacional de milho na safra normal (período chuvoso), atingindo uma produção de 6.522,1 mil toneladas em uma área plantada de 1.268,9 mil hectares, resultando em uma produtividade de 5.140 kg ha⁻¹ (CONAB, 2009). Na safrinha, a produção estimada foi de 16.465,9 mil toneladas com produtividade média de 3.364 kg ha⁻¹. Desse total, a Região Centro-oeste destacou-se por contribuir com aproximadamente 62% da produção (CONAB, 2009).

O milho safrinha, por ser semeado após a soja precoce e ser cultivado em reduzido nível tecnológico, apresenta menor rendimento que o milho de

primeira safra. No entanto, o aumento na área cultivada com esse sistema serviu como fator de estabilização no mercado (DUARTE et al., 2008).

O país tem sua produção de milho ajustada ao consumo, exportando, eventualmente, quantidades pouco significativas, apresentando elevado potencial para ocupar posição de destaque no cenário internacional.

No âmbito nacional, a cultura do milho é considerada de grande importância, tanto no aspecto econômico como no social. No aspecto econômico, destaca-se por ocupar a segunda maior área cultivada e ser responsável pela segunda maior produção de grãos no País (FORNASIERI FILHO, 2007).

A importância social do milho respalda-se por ser componente básico da dieta da população, produto típico do pequeno produtor rural e o principal componente da ração animal (FANCELLI; DOURADO NETO, 2007; FORNASIERI FILHO, 2007).

Outro destaque atualmente importante para o milho vem do setor de energia, que o usa para produção de etanol, o que pode incrementar o consumo interno desse cereal e reduzir as quantidades disponíveis para exportação (DUARTE, et al., 2008), além de contribuir para a valorização nas cotações (FANCELLI; DOURADO NETO, 2007).

O milho também é utilizado na rotação de culturas, principalmente em sistemas agrícolas nos quais a soja é a principal cultura (FORNASIERI FILHO, 2007).

A produção de milho, no Brasil, caracteriza-se pela divisão da produção em duas épocas de semeadura, safra e safrinha. As semeaduras da primeira safra são realizadas na época tradicional, durante o período chuvoso. A “safrinha” se refere ao milho de sequeiro (ou segunda safra), cultivado de janeiro a abril, em sucessão a uma cultura de verão, quase sempre depois da soja precoce (FORNASIERI FILHO, 2007). Nos últimos anos, houve aumento na área do milho “safrinha”, principalmente pela diminuição do cultivo na primeira safra. O aumento foi em torno de 100% (2,47 milhões de toneladas), comparando-se os dados da safra 2000/01 aos da atual (CONAB, 2009).

Em relação à cultura do milho-pipoca, não existem dados oficiais sobre produção, área plantada e quantidade importada (VENDRUSCOLO et al., 2001; CARPENTIERI-PÍPOLO et al., 2002). Porém, é reconhecido que o milho-

pipoca tem contribuído nas safras mundial e brasileira de cereais, leguminosas e oleaginosas.

De acordo com informações de empresas empacotadoras, o maior produtor e consumidor mundial de milho-pipoca são os Estados Unidos, com produção anual de 500 mil toneladas e movimento de US\$ 1,8 bilhão. Nesse país, são consumidos cerca de 16 milhões de metros cúbicos de pipoca no mesmo intervalo de tempo, a maioria vendida em supermercados, para consumo residencial. O segmento microondas absorve 68% da produção (JORNAL DA TERRA, 2008).

O Brasil se destaca como o segundo maior produtor mundial com produção anual de 80 mil toneladas, da qual 13% se destinam ao segmento microondas. A movimentação nacional gira em torno de US\$ 130 milhões (JORNAL DA TERRA, 2008).

Nos últimos anos, há crescente tendência à autossuficiência no abastecimento do consumo interno de milho-pipoca. Na década de 1990, 75% da demanda era importada (GALVÃO et al., 2000). Em 2003, as importações corresponderam a apenas 30% (GRUPO MEGAAGRO, 2004, apud VILELA, 2004). No ano agrícola de 2004/2005, houve nova redução na importação de grãos, em cerca de 20 mil toneladas, em virtude do uso em larga escala do híbrido simples modificado IAC-112 (SAWAZAKI, 2001; SANTOS et al., 2007).

A utilização de sementes importadas de híbridos norte-americanos no país, principalmente pela Yoki Alimentos S.A., também contribui efetivamente para a redução da importação de grãos (SAWAZAKI et al., 2003). A Yoki é a terceira no *ranking* mundial de milho para pipoca e o Estado do Rio Grande do Sul, o maior produtor do Brasil, com produção em 40 municípios. Tal empresa estabelece acesso restrito de uso das sementes importadas com os produtores parceiros da empresa.

Segundo Santos et al. (2007), o uso de sistema integrado entre empresas empacotadoras e produtores para o cultivo do milho-pipoca tem crescido no país. A garantia de produtividade e redução nos custos de produção é favorecida pelas empacotadoras, as quais selecionam a região nas quais querem produzir, fornecem as sementes e a tecnologia necessária ao cultivo.

Sabe-se que, na safra de 2003, os melhores produtores colheram em média 50 a 60 sacas por hectare, as quais foram repassadas às empresas empacotadoras no valor em torno de R\$ 45,00 por saca. O custo de produção variou de R\$ 800,00 a R\$ 1.200,00/hectare, conforme a tecnologia utilizada (SILVA, 2009).

Em crescente desenvolvimento e expansão, a cultura do milho-pipoca, no ano agrícola de 2008, atingiu o preço médio de R\$ 43,00 por saca de 30 kg. Supondo uma produção média de 2.500 quilos por hectare, obtém-se uma renda bruta de aproximadamente R\$ 3.583,00 por hectare, vendendo-se a saca a R\$ 43,00. Desse modo, a renda líquida situa-se em torno de R\$ 2.583,00 por hectare ao se descontar o custo médio de produção de aproximadamente R\$ 1.000,00 por hectare (SILVA, 2009). Por conseguinte, há possibilidade de excelentes lucros com a cultura, considerando-se um ciclo de quatro meses por ano, ou ainda, se o produtor utilizar irrigação, pode obter até duas safras por ano.

Outra questão se refere à comercialização da pipoca estourada vendida diretamente ao consumidor, o que poderia permitir ao produtor lucros ainda maiores.

Desta forma, o cultivo do milho-pipoca pode ser incentivado nas Regiões Norte e Noroeste do Paraná, como alternativa à diversificação das atividades agrícolas, em virtude do elevado valor econômico por área e a possibilidade de se agregar valor ao produto final.

2.2 Origem do Milho e Milho-pipoca

O milho é um cereal essencialmente americano, mais especificamente, originário do México. A mais antiga espiga de milho, datada de 7000 a.C, foi encontrada no vale do Tehucan, localizado no México (LERAYER, 2006).

Das várias hipóteses aventadas quanto à origem genética do milho, três são relevantes (GALINAT, 1977): a) o teosinto atual é o ancestral silvestre do milho; b) um teosinto primitivo é o ancestral silvestre, tanto do milho quanto do teosinto atual (*Zea mexicana*); e c) uma forma extinta de milho tunicado foi o ancestral do milho, sendo o teosinto uma forma mutante do tipo tunicado.

De acordo com Goodman e Smith (1987), existem evidências genéticas e citológicas de que o milho e teosinto são aparentados. Tais evidências concretizam-se pelo fato de o milho e o teosinto possuírem o mesmo número de cromossomos, além da facilidade com que se inter cruzam, originando descendentes geralmente férteis.

Por outro lado, o primeiro relato sobre o milho-pipoca, segundo Mangelsdorf e Smith Jr. (1949), remonta a 2500 a.C, a partir de um exemplar encontrado no sítio arqueológico de 'Bat Cave', Novo México. Mangelsdorf (1974), analisando descobertas arqueológicas de 12 sítios, localizados no México e no Sudoeste dos Estados Unidos da América, identificou os milhos mais antigos como precursores das raças mexicanas de milho-pipoca *Chapalote* ou *Nal-tel*, não havendo indícios de que o teosinto seja o genitor silvestre do milho. Mangelsdorf (1974) afirma que o teosinto é mais especializado que o milho em alguns aspectos: adaptação a menor número de ambientes; redução da espiga polística para dística; redução de grãos pareados a únicos e endurecimento das glumas e ráquis. Isso posto, hipotetizou-se que o milho é o ancestral e não o descendente do teosinto.

Segundo Erwin (1949), o milho-pipoca surgiu de uma mutação do milho, tipo 'flint', sendo então cultivado e consumido pelo homem. Esta hipótese é pouco provável, pois, segundo evidências arqueológicas, há indícios de que a evolução deve ter ocorrido em sentido contrário, uma vez que o milho-pipoca está entre os tipos mais antigos de milho encontrados. Além disso, segundo Zinsly e Machado (1987), a característica de expansão é condicionada por vários genes. Embora essas hipóteses não permitam uma conclusão concreta quanto à origem de *Zea mays* L., é incontestável que o milho-pipoca teve participação marcante na formação dessa espécie (ZINSLY; MACHADO, 1987).

2.3 Bio sistemática e Características

O milho (*Zea mays* L.) pertence à família Poaceae, subfamília Panicoideae, tribo Maydeae, gênero *Zea* e espécie *Zea mays* L. (PATERNIANI; CAMPOS, 2005). É uma planta herbácea anual, com ciclo completo entre

quatro a cinco meses. As folhas são alternadas e presas à bainha superposta que envolve o colmo e a inflorescência. O sistema radicular é fasciculado, podendo chegar a 1,5 m de profundidade, dependendo do ambiente; entretanto, é comum a presença de um sistema radicular superficial, ao redor de 30 cm (GOODMAN; SMITH, 1987). O milho é uma planta monoica díclina, isto é, apresenta flores unissexuadas no mesmo indivíduo. As flores masculinas são dispostas em panículas apicais e as flores femininas, em espigas laterais, característica denominada diclinia, a qual favorece a fecundação cruzada (GOODMAN; SMITH, 1987). O milho é, portanto, uma planta alógama com praticamente 100% de reprodução cruzada (PATERNIANI; CAMPOS, 2005).

Existem no mercado mais de 400 tipos de milho. De acordo com o método de melhoramento genético, encontram-se hoje no mercado variedades de polinização livre, híbridos duplos, híbridos triplos e híbridos simples, sendo que os híbridos triplos e simples podem ser dos tipos modificados ou não (CRUZ; PEREIRA FILHO, 2009).

Os milhos comuns podem apresentar grãos com as texturas dentado ou mole ("dent"), duro ou cristalino ("flint"), semiduros e semidentados. Entretanto, verifica-se no mercado uma predominância de grãos semiduros (56,64%) e duros (28,3%). Materiais dentados são minoria (5,7%) e geralmente são utilizados para a produção de milho verde ou produção de silagem (CRUZ; PEREIRA FILHO, 2009).

Com relação à cor do grão, verifica-se que há predomínio da cor alaranjada (40%), com variações de laranja ou laranja-avermelhada, avermelhados, amarelo/alaranjado, amarelo/laranja e amarelo, podendo ser encontradas, no mercado, cultivares de grãos brancos (CRUZ; PEREIRA FILHO, 2009).

Quando comparado ao milho, o milho-pipoca apresenta grãos menores, maior prolificidade, menor vigor, maior susceptibilidade a doenças, plantas mais suscetíveis ao acamamento e quebramento do colmo e, conseqüentemente, menor produtividade. A capacidade de se expandir é a principal diferença entre os tipos pipoca e comum.

A expansão ocorre quando os grãos pequenos e duros são submetidos a temperaturas superiores a 180°C (SAWAZAKI, 2001). Esta característica de

expansão faz com que o milho-pipoca seja amplamente apreciado e consumido como guloseima (FACHIN et al., 1993).

O milho-pipoca varia quanto ao tamanho (de 0,5 a 1,0 cm), formato (redondo, chato ou pontiagudo) e coloração (rosa, creme, vermelha, roxa, preta ou azul), sendo as cores branca e amarela as mais comuns (ZINSKY; MACHADO, 1978). Os tipos de maior aceitação comercial são os de grãos redondos, tipo pérola, e com endosperma alaranjado (ZIEGLER; ASHMAN, 1994).

O empalhamento da espiga e o pedúnculo desenvolvido são características importantes para o milho-pipoca. As espigas bem empalhadas oferecem maior proteção contra ataque de carunchos e traças no período de maturação até a colheita; a palha também protege os grãos da radiação solar, evitando que sejam submetidos às altas temperaturas das horas mais quentes do dia, causando secamento rápido e trincamento do endosperma. Após a maturação dos grãos, uma boa decumbência da espiga (capacidade da espiga em virar o ápice para baixo) impede a entrada de água, proporciona maior proteção contra ataque de pragas, fungos e bactérias nos grãos, evitando, desta forma, a influência do ambiente na capacidade de expansão do cultivar (ZINSKY; MACHADO, 1978).

Fatores como mecanização e preços não-controlados pelo governo são favoráveis ao aumento do cultivo de milho-pipoca no Brasil (RUFFATO et al., 2000). Além disso, seu preço tem sido no mínimo três vezes superior ao do milho (INFORMATIVO COOPERCITRUS, 1993). Em virtude disso, a qualidade do milho-pipoca tem melhorado gradualmente nos últimos anos, embora não existam padrões oficiais de qualidade para este produto no país (RUFFATO et al., 2000).

2.3.1 Constituintes das sementes

A semente do milho é um fruto denominado cariopse. A extremidade do grão, chamada de pedúnculo, é parte remanescente do tecido que conecta a semente ao sabugo, o que permite rápida absorção de umidade (FELKER;

SHANNON, 1980). No interior da semente estão os produtos da fertilização, isto é, o embrião e o endosperma.

Juntamente com a formação do embrião e do endosperma, se dá o crescimento das paredes do ovário que revestirão a semente (pericarpo), e este corresponde à cerca de 5% da massa final da semente.

O pericarpo se origina da parede do ovário e, portanto, é tecido materno, independendo da fertilização. As funções da cobertura externa são: manter unidas as partes internas da semente, proteger as partes internas contra choques e abrasões, servir como barreira à entrada de microrganismos, regular a velocidade de reidratação da semente, evitar ou diminuir possíveis danos causados pelas pressões desenvolvidas durante a embebição, regular a velocidade das trocas gasosas (oxigênio e gás carbônico) e a germinação. A camada de aleurona é considerada parte viva e integrante do endosperma sendo capaz, quando na presença de ácido giberélico, de diferenciar-se em um tecido digestivo especializado na secreção das enzimas mobilizadoras de reservas do endosperma durante a fase de germinação (MARCOS FILHO, 2005).

O tecido do endosperma é triploide ($3n$), com duas partes maternas e uma paterna, e tem a função de fornecer proteção e suporte nutritivo para o desenvolvimento do embrião ou para a germinação, de modo que sua composição é compatível com as necessidades embrionárias (MARCOS FILHO, 2005). As reservas armazenadas no endosperma das sementes maduras são utilizadas durante a germinação e no desenvolvimento inicial das plântulas, até que a planta se torne capaz de conduzir a fotossíntese e assuma vida autotrófica.

O embrião corresponde, em média, a 10% da massa total do grão e é proveniente do crescimento e diferenciação do zigoto. No embrião, encontram-se as estruturas que originarão uma nova planta, as quais serão ativadas no momento em que a semente for colocada sob condições favoráveis à sua germinação, para, em seguida, emergir à superfície do solo.

O embrião das monocotiledôneas é constituído, essencialmente, por um eixo embrionário e pelo cotilédone (escutelo). O eixo embrionário contém as seguintes estruturas: na extremidade superior, encontra-se a plúmula ou o epicótilo, que originarão as primeiras folhas, estando a plúmula envolta por

uma bainha protetora chamada de coleóptilo; na extremidade inferior, encontra-se a radícula, da qual serão originadas as raízes. A radícula é envolta por uma bainha chamada de coleorriza (PESKE et al., 2006).

A composição química da semente de milho varia de acordo com a cultivar e com as condições ambientais. O amido representa mais de 70% do total dos componentes químicos, concentrando-se, principalmente, no endosperma, enquanto a proteína é o segundo constituinte, com mais de 10%, estando a maior parte concentrada no embrião. Os lipídios representam menos de 5% da massa total e os açúcares, cerca de 2% (COELHO, 1997).

2.4 Capacidade de expansão

A capacidade de expansão consiste no estouro da pipoca quando o grão é aquecido em temperaturas superiores a 180°C. Nestas temperaturas, a pressão interna do grão atinge 930,8 kPa (SILVA et al., 1993). Esse fenômeno pode ser descrito como uma explosão provocada pela expansão, sob pressão, da umidade contida nos grânulos de amido, ocorrendo hidrólise da maioria do amido, perda de umidade e extinção de toda a estrutura celular do endosperma, sendo que o pericarpo atua apenas no confinamento da pressão (WEATHERWAX, 1922 apud RANGEL, 2006). Segundo Tissot et al. (2001), a capacidade do milho-pipoca em se expandir sob o aquecimento é explicada pela resistência do pericarpo, associada à presença de óleo e de umidade no grão. Desta forma, nesse milho, quando aquecido em temperatura apropriada, o óleo e a umidade exercem pressão sobre o pericarpo, cujo rompimento expõe o endosperma.

A característica de pipocamento é que torna o milho-pipoca diferente dos demais tipos de milho e esta diferença, por sua vez, confere maciez e sabor bastante apreciáveis (ZINSKY; MACHADO, 1978). Os autores comentam que a avaliação da qualidade do milho-pipoca é realizada por meio da análise da capacidade de expansão (CE). A CE corresponde à relação entre o volume de pipoca e o volume ou o peso de grãos e, quanto maior for esta relação, maior também será o valor comercial do produto. Assim, materiais com valores

de CE acima de 30 mL g⁻¹ são considerados promissores em programas de melhoramento (SCAPIM et al., 2006).

A capacidade de expansão é afetada por várias propriedades físicas dos grãos, entre as quais se destacam o grau de umidade, a massa dos grãos, as injúrias mecânicas, a secagem rápida dos grãos e a temperatura do pipocador (GREEN; HARRIS (1960); ZINSLY; MACHADO 1987; SAWAZAKI, 1995). Os graus de umidade situados entre 13 e 14% são os mais adequados para obtenção do índice máximo de capacidade de expansão.

Aliada ao grau de umidade das sementes, a capacidade de estourar adequadamente depende também do genótipo, ou seja, é um atributo da cultivar (LUZ et al., 2005). Ao avaliarem três genótipos nacionais de milho-pipoca, Luz et al. (2005) verificaram que o índice máximo de CE foi obtido com o grau de umidade de 12,7% para Zélia, 12,8% para BRS-Angela e 13,1% para IAC-112. Perante os resultados obtidos os autores concluíram que 13%, que coincide com o teor de água com que o milho é comercializado, é a melhor umidade para se embalar sementes de milho-pipoca.

2.5 Manejo cultural

Basicamente, as considerações em relação à época de semeadura, profundidade, densidade, espaçamento, controle de pragas e plantas daninhas, adubação de semeadura e cobertura e colheita seguem o mesmo procedimento para ambos os tipos de milho, ou seja, pipoca e comum.

A época de semeadura deve coincidir com o período chuvoso. No Sul do Brasil, podem ser realizadas semeaduras mais cedo, nos meses de julho e agosto. Na Região Norte, Minas Gerais e Goiás, a semeadura raramente é realizada antes do mês de outubro; na Região Nordeste e sub-regiões do Norte, de março a abril (FORNASIERI FILHO, 2007). Em algumas regiões nas quais se utiliza irrigação, especialmente no Brasil Central, tem sido comum a semeadura em diferentes épocas. Normalmente, a época de semeadura é estabelecida pelo período chuvoso e o produtor deverá assegurar-se de que, durante o período reprodutivo (em torno do pendoamento e embonecamento), a lavoura não sofra *déficit* hídrico (CRUZ et al., 2004b).

Em relação à profundidade, a semeadura não deve exceder a 5 cm, em solos mais leves ou arenosos, ou 3 cm, em solos pesados ou em regiões de clima mais frio (PEREIRA FILHO; CRUZ, 2000; CRUZ et al., 2004b).

Em relação à cultura do milho, a densidade de semeadura está diretamente relacionada com o rendimento de grãos. O aumento na densidade pode afetar, além da produtividade, outras características da planta. Dentre estas, merecem destaque a redução no índice e tamanho de espigas. Também o diâmetro de colmo é reduzido e, conseqüentemente, há maior suscetibilidade ao acamamento e quebramento. Além disso, pode haver maior ocorrência de doenças, especialmente as podridões de colmo (PEREIRA FILHO; CRUZ, 2000).

Segundo Sawazaki (2001), devem ser utilizados espaçamentos que propiciem maior produtividade, aliados a uma qualidade dos grãos que atenda à preferência do mercado. De acordo com o autor, para semeaduras antecipadas, podem ser utilizadas maiores populações de plantas. Para as semeaduras de sequeiro, a população de plantas deve ser em torno de 50 a 55 mil plantas ha^{-1} e o espaçamento de 80 a 90 cm entre linhas. A baixa densidade de plantas favorece o perfilhamento das plantas, característica presente na maioria dos cultivares de milho-pipoca.

O aumento na densidade de plantas promove redução no tamanho médio da espiga, na massa de 1.000 grãos e no índice de espigas, e aumenta a percentagem de quebramento e de acamamento (MEDEIROS et al., 1980; FORNASIERI FILHO et al., 1988; CRUZ et al., 1994), mas aparentemente não tem grande efeito na capacidade de expansão da pipoca (FORNASIERI FILHO et al., 1988; MERLO et al., 1988).

Segundo dados da Conab (2009), a produtividade brasileira do milho, na safra 2008/2009, girou em torno de 3.657 e 3.621 kg ha^{-1} , na primeira e na segunda época de cultivo, respectivamente.

A produtividade do milho-pipoca gira em torno de 1 a 4 t ha^{-1} de grãos dependendo da região de cultivo (CARPENTIERI-PÍPOLO et al., 2002; SAWAZAKI, 2003a; FREITAS JUNIOR et al., 2006; PINTO et al., 2007a; PINTO et al., 2007b).

De acordo com Scapim et al. (2006), no que se refere às características mais importantes para o melhoramento do milho-pipoca,

capacidade de expansão (CE) e rendimento de grãos (RG), híbridos promissores são aqueles que reúnem CE acima de 30 mL g⁻¹ e RG superior a 3.000 kg ha⁻¹.

Segundo Mantovani (2007), o milho está pronto para ser colhido a partir da maturação fisiológica do grão, que acontece no momento em que 50% das sementes na espiga apresentam uma pequena mancha preta no ponto de inserção das mesmas com o sabugo. Todavia, se não houver a necessidade de antecipação da colheita, esta deve ser iniciada quando o grau de umidade estiver na faixa entre 18-20%.

Quando a colheita coincidir com o período chuvoso, deverá ser realizada o mais rapidamente possível, evitando, no caso da pipoca, que as espigas fiquem sujeitas a ciclos de umedecimento e secagem, que afetarão sua capacidade de expansão (CRUZ et al., 2004b). A colheita deve ser realizada quando os grãos apresentarem grau de umidade em torno de 17% (SAWAZAKI, 2001). No entanto, a umidade dos grãos ideal para comercialização deve estar em torno de 13 a 13,5% (método universal), o que proporciona alta capacidade de expansão (GREEN; HARRIS, 1960; SAWAZAKI, 1995; LUZ et al., 2005).

2.6 Melhoramento genético e avaliação de cultivares no Brasil

Atualmente, a cultura do milho alcança altos níveis de produtividade, quando em ambiente apropriado e com técnicas de cultivo adequadas. Essa evolução se deve à crescente pesquisa realizada em diversas áreas e, sobretudo, ao melhoramento genético. Neste contexto, a heterose tem sido bastante explorada, especialmente em programas de milho híbrido (GORGULHO; MIRANDA FILHO, 2001; SILVA; MIRANDA FILHO, 2003).

Segundo Paterniani e Campos (2005), a importância do método de hibridação no melhoramento do milho transcende a própria cultura.

Um detalhado e pessoal relato dos primeiros tempos do milho híbrido é dado por Hayes (1963) e Zirkle (1952) *apud* Paterniani e Campos (2005).

Em 1908, o botânico e geneticista norte-americano, George Harrison Shull, criou o primeiro esquema para a produção de sementes híbridas de

milho. Ele delineou o procedimento genérico para obtenção de milho híbrido que, em essência, é usado até hoje: autofecundar o maior número possível de plantas para se obter linhagens; cruzá-las para se obter o maior número possível de híbridos e experimentá-los para se determinar o par de linhagens com melhor comportamento (PATERNIANI; CAMPOS, 2005). Shull indicou que, ao se realizar a autofecundação, eram produzidos descendentes menos vigorosos. Repetindo o processo nas seis ou oito gerações seguintes, os descendentes fixavam características agrônômicas e econômicas importantes. Por meio da seleção, esses descendentes tornavam-se semelhantes. As plantas que geravam filhos geneticamente semelhantes, e também iguais às mães, passaram a ser chamadas de linhas puras. Shull notou que duas linhas puras diferentes, ao serem cruzadas entre si, produziam descendentes com grande vigor, chamado de vigor híbrido ou heterose, dando origem ao milho híbrido (LERAYER, 2006).

Desta forma, confirmando a dinâmica dos programas de melhoramento e a confiança do setor na evolução da cultura, atualmente estão disponibilizadas para comercialização 325 cultivares convencionais de milho, das quais 49 novas cultivares (2 variedades, 3 híbridos duplos, 8 híbridos triplos e 13 híbridos simples) substituíram 26 cultivares (5 híbridos duplos, 8 híbridos triplos e 13 híbridos simples), que deixaram de ser comercializadas na safra anterior. Além das cultivares convencionais, as transgênicas passaram de 19 na safra anterior para 104 na safra 2009, demonstrando grande incremento. Como uma mesma cultivar convencional pode ser comercializada com mais de uma versão transgênica, 76 cultivares normais (19 híbridos triplos e 57 híbridos simples) também são comercializadas na forma transgênica, havendo caso de uma mesma cultivar convencional apresentar até três versões transgênicas diferentes (CRUZ; PEREIRA FILHO, 2009).

Em relação ao milho-pipoca, a utilização do método de hibridação no melhoramento de plantas no país é considerado recente. O primeiro ensaio nacional de milho-pipoca foi conduzido na década de 1990 (VENDRUSCOLO et al., 2001), o que denota a necessidade de implementação de trabalhos inerentes para a consolidação da cultura no Brasil.

Linhares (1987) qualifica como raros os programas de melhoramento para o milho-pipoca, resultando, como consequência, em poucos materiais melhorados, dos quais a maioria são variedades de polinização aberta.

Coelho et al. (1980) *apud* Daros (2003) citaram projetos que visavam obter cultivares com alta produtividade, boa capacidade de expansão, resistência a doenças e expressão de boas características agronômicas, sendo desenvolvidos por melhoristas em São Paulo (ESALQ), Rio Grande do Sul (UFRS) e Minas Gerais (UFV). Nos dias atuais, a Universidade Estadual de Maringá (UEM), o Instituto Agrônomo de Campinas, o Centro Nacional de Milho e Sorgo da Embrapa e a Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro também fazem parte desse grupo (RANGEL, 2006).

O melhoramento genético do milho possui duas vertentes, as quais podem ser implementadas de forma conjunta: a obtenção de híbridos F_1 e a obtenção de populações melhoradas. Em se tratando da obtenção de populações melhoradas, a adequação de métodos de seleção possibilita o aumento gradativo da frequência de genes favoráveis na população, além de permitir a obtenção de linhagens endogâmicas que, quando em combinações adequadas, produzirão híbridos superiores às populações de origem (PATERNIANI; MIRANDA FILHO, 1978).

Todo e qualquer produto final melhorado deve atender ao consumidor e ao produtor. Assim, no que diz respeito ao milho-pipoca, torna-se fundamental compreender o momento de se aproveitar os efeitos da aditividade e os de dominância, pois a melhoria da capacidade de expansão, cuja herança é basicamente aditiva (DOFING et al., 1991; PACHECO et al., 1998; PEREIRA; AMARAL JÚNIOR, 2001;), deve estar vinculada à melhoria da produção, que possui influência da dominância (PEREIRA; AMARAL JÚNIOR, 2001; SCAPIM et al., 2002). Além disso, de acordo com Hallauer e Miranda Filho (1981), a escolha de germoplasma é a base de qualquer programa de melhoramento. Para os autores, as características do germoplasma determinarão o potencial máximo de melhoramento que será permitido e os métodos de melhoramento o farão quanto ao potencial máximo que poderá ser alcançado.

No Brasil, o atraso no incentivo e implementação de programas de melhoramento para o milho-pipoca teve reflexo marcante na criação e estabelecimento de novas variedades e híbridos. No primeiro Ensaio Nacional

de milho-pipoca, conduzido no ano agrícola 1991/92, a CE média foi de 17,5 mL mL⁻¹, e a média da melhor cultivar foi de 20,8 mL mL⁻¹ (VENDRUSCOLO et al., 2001). Todavia, na década de 1940 a Capacidade de Expansão de híbridos e variedades comerciais nos Estados Unidos já variava de 23,2 a 32,7 mL g⁻¹.

Em trabalhos realizados em São Paulo e na Zona da Mata de Minas Gerais, Sawazaki et al. (2000) e Galvão et al. (2000) obtiveram resultados interessantes de produtividade e capacidade de expansão. A capacidade de expansão variou de 32 a 36 mL g⁻¹ e a produtividade média de grãos ficou acima de 4.000 kg ha⁻¹. Os híbridos utilizados foram obtidos de linhagens extraídas das populações Guarani e IAC-64 que apresentaram boa adaptação à região.

Na safra de 2002/03, estavam disponíveis no mercado 206 cultivares de milho. Desse total, apenas duas eram de milho-pipoca, respectivamente designadas RS 20 e Zélia. A primeira trata-se de uma variedade de polinização aberta, que representava 13,43% do mercado nacional e a outra é um híbrido triplo que representava 31,8% do mercado. Todavia, há que se destacar que os híbridos simples e triplos representavam 66,16% do mercado, indicando nova tendência na agricultura brasileira. Essa porcentagem se refere ao número de cultivares disponíveis no mercado (não necessariamente à área plantada ou à quantidade das sementes vendidas) (FREITAS JUNIOR, 2005).

Até 2002/03, Zélia era o único híbrido comercializado no Brasil e que estava acessível a qualquer produtor. Já em 1997, tal híbrido era recomendado para as condições de clima e solo do Brasil, sendo, no mesmo ano, comercializadas pela 'Pionner' 180 toneladas de sementes do híbrido. Outros híbridos como P608, P608 HT, P618, P621 e P625 são registrados pela Yoki Alimentos, de uso restrito aos parceiros da empresa (SAWAZAKI, 2001). Para a safra 2005/2006, o híbrido triplo Jade, comercializado pela empresa 'Pioneer', apresentou-se como mais uma opção no mercado de sementes do Brasil (CRUZ; PEREIRA FILHO, 2005). Aproximadamente na mesma época, outra variedade, UFVM2 - Barão Viçosa, foi também disponibilizada nesse mercado (CRUZ; PEREIRA FILHO, 2005).

Em relação aos materiais criados pelo setor de pesquisa nacional, das 25 cultivares de milho oferecidas pela Embrapa, apenas uma é de milho-pipoca, a BRS-Angela. Tal variedade foi melhorada a partir de composto, BRS-

Angela, de grãos brancos, oriundo de ciclos de seleção recorrente no composto CMS-43, do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, com boa produtividade e expansão (PACHECO et al., 2001). Vale lembrar que a Embrapa detém apenas 5% do mercado de sementes de milho, o que torna a situação ainda mais crítica (BISON; RAMALHO, 2000).

Com o aumento gradativo da demanda pelos produtores e consumidores, houve a necessidade da aplicação de recursos públicos na pesquisa e de lançamento de novas cultivares, destacando-se neste contexto as híbridas. A partir daí, com o lançamento, em 2003, do híbrido simples IAC 112, adaptado a estados das Regiões Sudeste, Sul e Centro-oeste do país, foi possível se aumentar a capacidade de expansão da pipoca, a produtividade, a uniformidade de plantas e grãos, a sanidade das espigas, a resistência às principais doenças e a qualidade das sementes. Desde então, sementes básicas dos parentais desse híbrido estão sendo colocadas à disposição das empresas de sementes interessadas em sua produção comercial (SAWAZAKI, 2003). Outro híbrido, adaptado à Região Centro-oeste brasileira, é o IAC 125, disponibilizado para comercialização (CRUZ; PEREIRA FILHO, 2009).

Na safra agrícola de 2009/10, foram disponibilizadas para comercialização 325 cultivares não-transgênicas de milho, sendo 14 de milhos especiais (5 cultivares de milho-pipoca, 3 de milho doce, 1 de milho ceroso e 5 de milho branco). As cinco cultivares de milho-pipoca são: Zélia (híbrido triplo), IAC 112 (híbrido simples modificado), IAC 125 (híbrido triplo – *top cross*), RS-20 (variedade de polinização aberta) e UFVM2-Barão Viçosa (variedade de polinização aberta) (CRUZ; PEREIRA FILHO, 2009). Além destas, existem os híbridos simples em estágio de VCU.

Verifica-se, portanto, que, apesar desses avanços, o número de cultivares é bastante reduzido em virtude da crescente demanda pelo produto (ANDRADE et al., 2002; MATTA; VIANA, 2001) e, além disso, algumas cultivares, tais como BRS-Angela e Jade, por exemplo, com sementes disponíveis na safra 2007/2008, não estão inseridas na lista de cultivares para comercialização em 2009/2010. Diante desse aspecto, torna-se indispensável o uso de métodos de melhoramento que tenham como finalidade avaliar o comportamento de parentais “per se” e híbridos, a fim de orientar a escolha de

materiais superiores e métodos de melhoramento a serem empregados dentro de um programa de melhoramento.

Segundo Aragão (2002), em programas de melhoramento em que se opta pela hibridação a fim de se recombinar a variabilidade existente entre os materiais, o maior problema ou dificuldade é a escolha dos genitores a serem cruzados para formação da população híbrida, dado o grande número de materiais disponíveis. Além disso, o melhorista terá que definir como será realizada a hibridação e como as populações segregantes serão conduzidas.

Dentre as opções de identificação de genitores para a constituição de população com ampla variabilidade a ser explorada em sucessivos ciclos de seleção, as metodologias de análises dialélicas podem ser alternativas bastante viáveis. De acordo com Aragão (2002), a técnica de cruzamentos dialélicos auxilia na escolha de genitores, com base em seus valores genéticos e a capacidade de se combinarem, formando híbridos promissores.

2.7 Cruzamentos dialélicos

Os cruzamentos dialélicos são amplamente utilizados em quase todas as espécies cultivadas, em razão do grande número de informações genéticas que podem oferecer, como inferências sobre a capacidade combinatória de genitores e híbridos (CRUZ, 1990; CRUZ et al., 2004a). De acordo com Miranda et al. (1988), a análise dialélica é uma das várias formas de se avaliar a divergência genética entre os genitores escolhidos de maneira que se possa obter máximo efeito heterótico na população híbrida e maior probabilidade de recuperar genótipos superiores nas gerações segregantes.

Compreende-se por dialelo um sistema em que é escolhido um grupo de p parentais, que são cruzadas entre si, fornecendo o máximo de $p^2 - p$ combinações. No sistema de cruzamentos dialélicos a capacidade combinatória é dividida em capacidade geral e capacidade específica de combinação (CRUZ et al., 2004a).

A capacidade geral de combinação (CGC) refere-se ao comportamento médio de uma linhagem em combinações híbridas. Uma baixa estimativa de CGC, positiva ou negativa, indica que o valor de CGC do genitor, obtida com

base em suas populações híbridas, não difere muito da média geral da população dialélica (SPRAGUE; TATUM, 1942). Quando se têm altos valores de CGC, positivos ou negativos, há indícios de que o genitor em questão é muito superior ou inferior aos demais genitores do dialelo, em relação ao desempenho médio das progênes (CRUZ et al., 2004a).

A capacidade específica de combinação (CEC) refere-se ao comportamento de combinações híbridas específicas (SPRAGUE; TATUM, 1942). A CEC pode ser considerada o desvio do comportamento de um híbrido, em relação ao que seria esperado com base na CGC de seus genitores. São desejáveis aos melhoristas aquelas combinações híbridas com estimativa de CEC mais favoráveis, que envolvam pelo menos um dos genitores que tenha apresentado o mais favorável efeito de CGC (CRUZ et al., 2004a).

A CGC está associada à ação aditiva dos genes, enquanto que a CEC está associada aos efeitos da dominância (VENCOVSKY, 1970).

Segundo Cruz et al. (2004a), entre as metodologias mais comumente utilizadas, citam-se: a proposta por Griffing (1956), pela qual são estimados os efeitos e as somas de quadrados de efeitos da capacidade geral e específica de combinação; a metodologia proposta por Gardner e Eberhart (1966), na qual são avaliados os efeitos de variedades e heterose varietal; e a proposta por Hayman (1954), que dá informações sobre o mecanismo básico de herança do caráter em estudo, dos valores genéticos dos progenitores utilizados e do limite de seleção. Esta última metodologia tem tido pouca utilização, provavelmente pelas restrições impostas ao modelo.

O método proposto por Griffing (1956) estima os efeitos de CGC e CEC.

O procedimento é fundamentado em modelos estatísticos, apresentando um conjunto máximo de p^2 genótipos, os quais são obtidos a partir de cruzamentos entre p variedades, linhagens ou cultivares, cujos dados são dispostos em uma tabela dialélica ($p \times p$). De maneira geral, as análises dialélicas são realizadas a partir de médias das combinações genotípicas resultantes de experimentos conduzidos por variados delineamentos, em que Y_{ii} representa o valor médio para a linhagem autofecundada de ordem i ; Y_{ij} representa o valor médio para a F_1 resultante do cruzamento entre as linhagens i e j ; e Y_{ji} representa a F_1 recíproca (CRUZ et al., 2004a).

De acordo com a inclusão ou não dos progenitores e/ou híbridos F_1 's recíprocos, a metodologia de Griffing (1956) pode ser classificada em quatro métodos: Método 1, em que são avaliadas os p^2 genótipos (genitores, F_1 's e recíprocos); Método 2, em que se avaliam os $p(p+1)/2$ genótipos (genitores e F_1 's); Método 3, em que se avaliam somente as $p(p-1)$ combinações (híbridos F_1 's e recíprocos); e Método 4, em que se avaliam somente as $p(p-1)/2$ combinações (híbridos F_1 's). Cada um destes métodos pode ser analisado como modelo fixo ou aleatório, dependendo da natureza amostral dos genitores (CRUZ et al., 2004a).

O modelo é considerado aleatório, quando os genitores utilizados representam a população. O modelo fixo considera os efeitos genéticos fixos, situação em que os genitores possuem propriedades genéticas particulares (CRUZ et al., 2004a).

Os efeitos da CEC são úteis em determinar as melhores combinações híbridas, mas não especificam qual dos genitores deve ser utilizado como parental feminino ou masculino no cruzamento. Para saber se um dado caráter é controlado somente por genes nucleares ou não, são utilizados os cruzamentos recíprocos, em que determinado genitor é usado ora como parental masculino, ora como feminino (CRUZ et al., 2004a; BORDALLO et al., 2005).

Se a herança de determinado caráter é decorrente do efeito de genes nucleares, os resultados de um cruzamento e seu recíproco serão similares. Caso haja efeitos citoplasmáticos, os resultados dos cruzamentos recíprocos serão diferentes, pois o fenótipo dos descendentes será influenciado pelo genitor feminino que contribuiu com o citoplasma. Dois mecanismos explicam esse tipo de herança: efeito materno, em que a herança é controlada por genes nucleares do parental feminino, independentemente dos genes doados pelo parental masculino, e herança extracromossômica, em que a herança é devida a genes localizados no citoplasma (mitocôndrias e cloroplastos) (RAMALHO et al., 2008).

Em relação ao milho-pipoca, a adoção de dialelos no Brasil é recente, seja na avaliação de genitores para a formação de compostos, seja na seleção de híbridos com expressiva heterose (SCAPIM et al., 2002; FREITAS JUNIOR et al., 2006; SEIFERT et al., 2006; PINTO et al., 2007a; PINTO et al., 2007b).

Nesse contexto, a avaliação da capacidade de expansão (CE) de seis variedades e de seus híbridos F_1 's, realizada por Sawazaki et al. (1986), indicou amplas possibilidades de melhoramento da CE com o uso de híbridos intervarietais.

Larish e Brewbaker (1999) analisaram dois dialelos, um de seis variedades de milho-pipoca (4 dos trópicos e 2 norte-americanas) e outro de cinco linhagens americanas para as características rendimento de grãos e capacidade de expansão nos trópicos. Houve heterose positiva para rendimento de grãos e heterose negativa para capacidade de expansão para os dois dialelos. A razão entre capacidade geral de combinação e capacidade específica de combinação foi alta para todas as características, o que permitiria, dessa maneira, ganhos rápidos por seleção. Ambos os dialelos possibilitaram afirmar que os melhoristas dos trópicos deveriam trabalhar com dois grupos heteróticos formados pelas variedades *Supergold* e *Jap Hulless*.

Andrade et al. (2002) avaliaram, por meio da metodologia de Griffing (1956), 15 híbridos F_1 's e seus recíprocos, os quais foram obtidos por cruzamentos dialélicos entre seis variedades de milho pipoca (Amarela, Roxa, Branca, Rosa-claro, Beija-flor e Viçosa). A variedade Viçosa foi indicada para ser usada em híbridos ou como fonte de linhagens para uso em programas de melhoramento intra ou interpopulacional. Destacou-se o híbrido Viçosa x Roxa, com resultados alvissareiros para rendimento de grãos e capacidade de expansão. Para se iniciar programa de seleção recorrente recíproca, foram indicadas as combinações híbridas Viçosa x Roxa e Rosa-claro x Beija-flor pela elevada complementação em relação ao peso de grãos e capacidade de expansão. Verificou-se, ainda, que houve pouca expressividade dos efeitos recíprocos para as características avaliadas.

Freitas Junior et al. (2006), avaliando a capacidade combinatória de dez genitores de milho-pipoca, em cruzamentos no esquema de dialelo circulante em dois ambientes, observaram reduzido comportamento diferencial dos genótipos, com predominância dos efeitos aditivos apenas para CE. Os genitores UNB2U-C1, BRS-Angela, UNB2U-C2 e Viçosa-UFV foram os indicados para melhoramento intrapopulacional, ao passo que os híbridos de interesse para seleção interpopulacional foram PR-Ervália x BRS-Angela e UNB2U-C1 x BRS-Angela.

No trabalho de Pinto et al (2007a), a análise dialélica parcial mostrou-se eficiente no estudo dos efeitos da CGC das linhagens endogâmicas de milho-pipoca e dos efeitos da CEC estimados em híbridos. Estes foram obtidos do cruzamento entre linhagens de dois grupos de seis linhagens S₅ de milho-pipoca, grupos I e II, extraídos a partir dos compostos UEM-C3 e UEM-C4. Os autores verificaram que as linhagens D, E' e C' podem ser utilizadas na formação de novas populações e que as combinações híbridas Dx E', Ex A', Fx A' e Cx B' foram as mais promissoras.

Pinto et al. (2007b), objetivando obter informações sobre a capacidade combinatória quanto ao rendimento de grãos e à capacidade de expansão de milho-pipoca, avaliaram oito linhagens S₅ provenientes dos compostos UEM-C3 e UEM-C4, em Maringá e Campo Mourão, Estado do Paraná. Com base nos resultados, concluíram que os tratamentos de maior destaque em Maringá geralmente não coincidiram com os mais produtivos em Campo Mourão. Na análise dialélica conjunta, não houve diferenças quanto às CGC e CEC, e houve efeito das interações CGC x locais e CEC x locais. Na capacidade de expansão, houve ausência de interação tratamentos x locais e efeitos de CGC e CEC, sem a ocorrência de interações de CGC e CEC com os locais.

2.8 Endogamia e Heterose

Segundo Borém e Miranda (2005), a endogamia é definida como qualquer sistema de acasalamento que aumente a homozigose, como os cruzamentos entre indivíduos aparentados. A forma extrema da endogamia é a autofecundação (BUENO et al., 2006). Para esses autores, a homozigose é atingida em praticamente 100% dos locos, com apenas seis gerações de autofecundação.

Sob endogamia, ocorre mudança nas frequências genotípicas, com redistribuição das mesmas, promovendo diferenciação genética entre linhas e uniformidade dentro das linhas (FALCONER, 1987).

Em milho, a autofecundação conduz rapidamente à formação de diferentes linhagens, que se tornam mais uniformes à medida que se sucedem as autofecundações artificiais, diferindo entre si em caracteres morfológicos e

funcionais, como altura de planta, comprimento de espiga e ciclo vegetativo. As linhagens apresentam grande, mas variável perda de vigor, reduzindo-se o tamanho, desenvolvimento e produtividade (BUENO et al., 2006).

Define-se heterose ou vigor híbrido como a expressão genética dos efeitos benéficos da hibridação. Portanto, endogamia e heterose são fenômenos relacionados, embora opostos (BUENO et al, 2006). A heterose é o aumento do vigor, da altura da planta, do conteúdo de carboidratos, da produtividade e da intensidade de outros fenômenos fisiológicos, decorrente do cruzamento entre indivíduos contrastantes (BORÉM; MIRANDA, 2005).

O híbrido expressa heterose quando é superior à média dos pais (MONTALVÁN, 1999; PINTO, 2009).

A heterose ocorre sempre que a interação alélica for não aditiva, ou seja, só ocorre se houver existir dominância. A heterose também é dependente do desempenho dos genótipos heterozigóticos em relação aos homozigóticos, logo só há heterose se existir heterozigose (RAMALHO et al., 2008).

A heterose está normalmente ligada a diferenças raciais e distância genética entre as populações. As populações em combinação permitem que a divergência genética entre elas seja explorada em prol de uma maior heterose, sem que haja perdas significativas quanto à adaptação dos materiais delas gerados, constituindo os “grupos heteróticos” (ARAGÃO, 2002).

Gomes et al. (2000) afirmam que o sucesso do desempenho dos híbridos de milho, para algumas características de interesse agrônomo, é dependente do efeito heterótico alcançado pelo cruzamento de linhagens que possuem boa capacidade combinatória.

Duas hipóteses explicativas da heterose foram formuladas após muitas especulações científicas sobre o fato de a heterozigose ser uma condição necessária ou não para sua manifestação (ARAGÃO, 2002; BORÉM; MIRANDA, 2005; BUENO et al., 2006). Tais autores citaram Davenport (1908) e Shull (1908), os quais descreveram as hipóteses de dominância e sobredominância, respectivamente. A hipótese da dominância considera os alelos dominantes favoráveis ao vigor, enquanto os alelos recessivos, desfavoráveis; a hipótese da sobredominância considera a existência de alelos divergentes, porém com efeitos favoráveis em um mesmo loco.

Conforme Bueno et al. (2006), na primeira hipótese, a heterozigose não é considerada essencial à manifestação da heterose e admite a possibilidade da ocorrência de indivíduos homozigotos tão vigorosos quanto os heterozigotos. Na segunda hipótese, a heterozigose, por si só, é essencial à manifestação do vigor híbrido. Proposta por Shull e East (1908) e East (1936), ambos citados por Aragão (2002) e Bueno et al. (2006), a hipótese da sobredominância pressupõe a existência de alelos divergentes, no mesmo loco, que produzem efeitos favoráveis embora diferentes. Nesses locos, os heterozigotos são superiores a ambos homozigotos. Representando os dois alelos por a_1 e a_2 , a combinação a_1a_2 é superior à a_1a_1 e a_2a_2 . A superioridade ocorre porque cada alelo tem uma função e nele se somam as ações de a_1 e de a_2 . Verifica-se maior vigor nos indivíduos que têm maior número de locos heterozigotos.

2.9 Qualidade fisiológica das sementes

A qualidade das sementes pode ser definida como sendo o somatório de todos os atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários que afetam sua capacidade de desempenhar funções vitais, caracterizada pela sua germinação, seu vigor e sua longevidade (POPINIGIS, 1985).

A germinação é a reativação do crescimento do embrião, resultando na ruptura da cobertura da semente e na emergência da plântula (Copeland e McDonald, 1995). O vigor está relacionado à deterioração das sementes e caracteriza-se como a soma das propriedades que determinam o potencial de atividade e desempenho da semente, ou do lote de sementes, durante a germinação e a emergência das plântulas (ISTA, 1995).

O uso de sementes de elevada qualidade é um dos pré-requisitos fundamentais para se conseguir maior produtividade na lavoura. Com a crescente demanda de sementes de alta qualidade para o estabelecimento de uma agricultura mais produtiva e sustentável, cresce também a necessidade de se monitorar cada fase do seu processo produtivo (GONELI et al., 2005).

Aliada a características genéticas desejáveis, a qualidade da semente é de fundamental importância para o sucesso do cultivo de qualquer espécie

vegetal, uma vez que a semente é responsável por grande parte do rendimento de uma cultura, além de representar baixo custo em relação ao custo total da produção (GOMES et al., 2000).

A qualidade fisiológica de uma semente é determinada por seu genótipo e está associada às condições ambientais em que foi produzida e armazenada, bem como às tecnologias de produção, colheita, secagem, beneficiamento e comercialização (CARTTER; HARTWIG, 1963; MARINCEK, 2000). Além da influência exercida pelas características genéticas, herdadas de seus genitores, destacam-se também a germinação e vigor das sementes, sendo estes dois últimos fatores afetados pelas condições durante a produção e conservação das mesmas.

A qualidade fisiológica de um lote de sementes pode ser avaliada, usando-se o teste-padrão de germinação. Em condições favoráveis de campo, os resultados do teste-padrão de germinação apresentam alta correlação com a emergência no campo. Entretanto, se as condições de campo na época da semeadura forem desfavoráveis, o teste-padrão de germinação apresentará baixa sensibilidade e, nesse caso, os testes de vigor representarão melhor o desempenho do lote no campo (MARCOS FILHO et al., 1987). Como os testes de vigor fornecem índices mais sensíveis da qualidade fisiológica que o teste de germinação, qualquer evento que precede a perda do poder germinativo pode servir como base para a avaliação do vigor (MARCOS FILHO, 1999). Dentre estes, são empregados os de porcentagem de emergência, velocidade de emergência das plântulas e massa de matéria seca (NAKAGAWA, 1994).

Marcos Filho (1999) relatou que os testes de vigor possibilitam avaliar ou detectar diferenças significativas na qualidade fisiológica entre dois lotes de sementes que apresentam poder germinativo semelhante. Contudo, esse autor mencionou que esse fato não deve implicar a substituição do teste de germinação pelos de vigor, mas sim utilizá-los como informação complementar daquelas obtidas pelo citado teste.

Os testes de vigor têm sido instrumentos de uso cada vez mais rotineiro pela indústria de sementes para determinação da qualidade fisiológica destas. As empresas produtoras e as instituições oficiais têm incluído esses testes em programas internos de controle de qualidade ou para a garantia da qualidade das sementes destinadas à comercialização.

2.10 Análise dialética x Qualidade fisiológica

Na literatura não existem muitos relatos a respeito do controle genético de caracteres associados à qualidade de sementes de milho. No entanto, Delouche (1985), já recomendava que, em programas de melhoramento genético, fossem incluídos caracteres relacionados com a qualidade das sementes, visto que incrementariam a resistência à deterioração no campo e a longevidade durante o armazenamento, bem como a capacidade de germinação e emergência em condições não-favoráveis.

De acordo com Prete e Guerra (1999), o máximo potencial de qualidade das sementes, como germinação, emergência e vigor de plântulas, é controlado geneticamente, sendo que as condições ambientais determinam quão bem este potencial poderá se manifestar. Este potencial genético para qualidade fisiológica de sementes pode ser manipulado pelo melhorista, explorando a variabilidade genética existente entre as cultivares de uma espécie ou entre linhagens durante o desenvolvimento de uma cultivar. A complexidade da qualidade de sementes decorre do efeito de muitos genes, de natureza quantitativa e com baixa herdabilidade (GREEN; PINNEL, 1968a e b apud PRETE; GUERRA, 1999).

O método 1 de Griffing (1956) foi utilizado por Gomes et al. (2000) para estudar a capacidade combinatória de linhagens de milho tropical em caracteres de importância agrônômica, industrial e comercial. Nesse trabalho houve evidência de maior importância da capacidade específica de combinação. As sementes híbridas de milho apresentaram qualidade fisiológica superior, quando comparadas às linhagens, evidenciando a expressão da heterose, ou seja, houve maior importância dos efeitos não-aditivos no controle genético da qualidade fisiológica de sementes de milho tropical.

Gomes et al. (2000) afirmam que a manifestação da heterose para características relacionadas com a qualidade fisiológica de sementes indica a viabilidade da obtenção de cultivares híbridas com sementes de alta qualidade. O estudo da capacidade combinatória possibilitará ao melhorista identificar as melhores combinações híbridas, tanto para aproveitamento imediato, na forma de híbridos F_1 comerciais, como para a escolha de linhagens com maiores potenciais para gerar híbridos com sementes de melhor qualidade.

Cano-Ríos et al. (2000), trabalhando com análise dialélica para o vigor de sementes de melão, observaram que tanto os efeitos aditivos como os não-aditivos foram importantes no vigor das sementes. Os autores relataram que os efeitos maternos foram importantes unicamente para a massa seca das plântulas.

Barla-Szabo et al. (1989), estudando o controle genético do vigor de sementes de milho temperado e utilizando seis linhagens em um dialelo completo, encontraram diferenças significativas entre o vigor das sementes das linhagens testadas com predominância dos genes de efeito aditivo. Os autores ressaltaram que, apesar de sua menor magnitude, os efeitos gênicos não-aditivos também foram importantes, devendo ser levados em consideração.

Odiemah (1989) estudou o controle genético das características relacionadas à qualidade de sementes em milho temperado. A qualidade fisiológica foi estimada por testes de germinação, condutividade elétrica, envelhecimento artificial, teste de frio e teste de embebição em diferentes temperaturas. A heterose ocorreu para todos os caracteres. A herança desses caracteres ocorreu principalmente em consequência dos genes de efeito aditivo e parcialmente em virtude dos genes de efeito não-aditivo. Rahman et al. (1994) realizaram um estudo para elucidar o controle genético de características das raízes de plântulas de milho. Foi observado que as magnitudes relativas dos efeitos gênicos de dominância foram maiores do que os efeitos aditivos. Isso pode ser explicado em função da manifestação da heterose para a característica em questão. Conforme Vencovsky e Barriga (1992), quando um híbrido exibe heterose, pode-se dizer que existe determinado nível de dominância nos locos cuja atividade interfere no caráter ou que ela ocorre em uma parcela desses locos.

Estimativas de heterose associadas aos caracteres que se expressam logo após a emergência foram obtidas por Hoecker et al. (2006). Para isso, avaliaram quatro linhagens de milho duro e dentado e os híbridos oriundos das linhagens, bem como os recíprocos. Eles observaram heterose em torno de 51%, demonstrando que esta é manifestada durante os estádios iniciais após a emergência. Silva et al. (2008), avaliando a heterose na qualidade fisiológica de sementes de milho, observaram baixas magnitudes nos testes de

germinação (4,5%), velocidade de germinação (10,1%) e envelhecimento acelerado (5,7%), indicando pouca importância da dominância nesse caso.

Cervantes-Ortiz et al. (2007), estudando a herança do vigor de plântulas e sua relação com características de plantas adultas de linhagens endogâmicas de milho, observaram predominância de variância de dominância em caracteres de plântulas, enquanto que, em plantas adultas, predominou a variância aditiva. Isso sugere que diferentes genes estão atuando na determinação das características estudadas. Para os autores, provavelmente houve interação entre os genes de efeitos não-aditivos, proporcionando, desta forma, maior vigor inicial das plântulas.

Neste contexto, percebe-se que existem relativamente pouca informação da herança da germinação e vigor de sementes, além da divergência entre os resultados encontrados. Por outro lado, a maioria dos trabalhos com milho e milho-pipoca que utiliza a análise dialélica trata da avaliação do rendimento, da resistência às doenças e pragas, da adaptabilidade ambiental e, no caso da pipoca, da capacidade de expansão, sem considerar a qualidade das sementes, a qual é fundamental para se ter êxito no estabelecimento de qualquer cultivo.

Existe a necessidade de se avaliar a qualidade das sementes nos programas de melhoramento de plantas, assegurando-se a produção de sementes de alta qualidade. As pesquisas na área de sementes podem auxiliar no desenvolvimento de métodos para a seleção de genótipos com alta qualidade de sementes com base em testes fisiológicos, sanitários e físicos. Desse modo, além dos componentes relacionados à produtividade, é indiscutível a importância da avaliação da qualidade das sementes nos programas de melhoramento de milho-pipoca e milho, para fins de comercialização e controle da qualidade no processo produtivo.

3 REFERÊNCIAS

AGUIAR, C.G.; SCAPIM, C.A.; PINTO, R.J.B.; AMARAL JUNIOR, A.T.; SILVÉRIO, L.; BASTOS-ANDRADE, C.A. Análise dialética de linhagens de milho na safrinha. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.6, p.1731-1737, 2004.

ANDRADE, R. A.; CRUZ, C.D.; SCAPIM, C.A; SILVÉRIO, L.; PINTO, R.J.B.; TONET, A. Análise dialética da capacidade combinatória de variedades de milho-pipoca. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.24, n.5, p.1197-1204, 2002.

ANTUNA, G.O.; RINCÓN, F.S. GUTIÉRREZ DEL R.E.; RUIZ, N.A.T.; BUSTAMANTE, G.L. Componentes genéticos de caracteres agronômicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. **Revista Fitotecnia Mexicana**, México, v.26, n.1, p.11-17, 2003.

ARAGÃO, C.A. **Avaliação de híbridos simples braquíticos de milho super doce (*Zea mays* L.) portadores do gene *shrunkn--2 (sh2sh2)* utilizando o esquema dialético parcial**. 2002. 101p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2002.

BARLA-SZABO, J.; BOCSI, J.; DOLINKA, B; ODIEMAH. M. Diallel analysis of seed vigour in maize. **Seed Science and Technology**, Zurich, v.18, n.3, p.721-729, 1989.

BISON, O.; RAMALHO, M.A.P. **Perspectivas para o melhoramento de milho no Brasil**. Núcleo de Estudos de Genética, Universidade Federal de Lavras. 2000. Disponível em: <<http://www.nucleoestudo.ufla.br/gen/permuta/edicoes/2000/semi00s/odairbison.htm>>. Acesso em: 22 mar. 2009.

BORDALLO, P.N.; PEREIRA, M.G.; AMARAL JUNIOR, A.T.; GABRIEL, A.P.C. Análise dialética de genótipos de milho doce e comum para caracteres agronômicos e proteína total. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.1, p.123-127, 2005.

BORÉM, A.; MIRANDA, G.V. **Melhoramento de plantas**. 4.ed., Viçosa: UFV, 2005. 525p.

BUENO, L.C.S.; MENDES, A.N.G.; CARVALHO, S.P. **Melhoramento Genético de Plantas**. 2.ed., Lavras: UFLA, 2006. 319 p.

CANO-RÍOS, P.; RAMÍREZ-ROSALES, G.; ORTEGÓN-PÉREZ, J.; ESPARZA-MARTÍNEZ, J. H.; RODRÍGUEZ-HERRERA, S. Análisis dialético para vigor de semilla en melón, **Agrociência**, México, v.34, n.3, p.337-342, 2000.

CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; TAKAHASHI, H.W.; ENDO, R.M.; PETEK, M.R.; SEIFERT, A. Correlações entre caracteres quantitativos em milho pipoca. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, n.4, p.551-554, 2002.

CARTTER, J.L.; HARTWIG, E.E. The management of soybeans. In: NORMAN, A.G. (Ed.). **The soybean**. New York: Academic Press, 1963. p.162-226.

CERVANTES-ORTIZ, F.; SANTOS, G.G.; CARBALLO-CARBALLO, A.; BERGVINSON, D.; CROSSA, J.L.; MENDOZA-ELOS, M.; MORENO-MARTÍNEZ, E. Herencia del vigor de plántula y su relación con caracteres de planta adulta en líneas endogámicas de maíz tropical. **Agrociência**, México, v.41, n.4, p.425-433, 2007.

COELHO, C.M. **Caracterização das proteínas do endosperma do milho visando à alteração das frações que controlam qualidade nutricional**. 1997, 98 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Safras**. 2009. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 03 jul. 2009.

COPELAND, L.O.; McDONALD, M.B. **Principles of seed science and technology**. 3.ed., New York: Chapman & Hall, 1995. 409p.

CRUZ, C.D. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas**. 1990. 188p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1990.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3ed., Viçosa: Imprensa Universitária, 2004a. 390p.

CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A. **Cultivares de milho disponíveis no mercado de sementes do Brasil para a safra 2005/2006**. Embrapa, 2005. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/milho/cultivares/index.php>>. Acesso em: 25 ago. 2007.

CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A. **Cultivares de milho disponíveis no mercado de sementes do Brasil para a safra 2009/2010**. Embrapa, 2009. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/milho/cultivares/index.php>>. Acesso em: 18 jan. 2010.

CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A.; CORRÊA, L.A. **Manejo cultural do milho pipoca**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2004b, 7p. (Circular Técnica, 42).

CRUZ, J.C.; PACHECO, C.A.P.; PEREIRA FILHO, I.A.; OLIVEIRA, A.C. **Efeito de cultivar, espaçamento e densidade de plantio sobre a produção e a qualidade de milho pipoca**. Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo 1992-1993. v.6, p.251-252, 1994.

DAROS, M. **Melhoramento de milho pipoca: seleção recorrente em famílias de irmãos completos e progênes S1**. 2003, 91p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2003.

DELOUCHE, J.C. **Nuevos caminos en la investigación sobre tecnología de semillas**. In: Memorias Tecnológicas de Semilla. CIAT. Colombia. p.34, 1985.

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

DUARTE, J.O.; CRUZ, J.C.; GARCIA, J.C.; MATTOSO, M.J. **Cultivo do milho: economia e produção**. Embrapa Milho e Sorgo, 2008. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/economia.htm>>. Acesso em: 25 nov. 2009.

ERWIN, A.T. The origin and history of popcorn, *Zea mays* L. var. indurata (Sturt) Bailey mut. Everta (Sturt) Erwin. **Agronomy Journal**, Madison, v.41, n.2, p.53-56, 1949.

FACHIN, D.T.; SCHEER, A.P.; SAMPAIO, E. Elaboração de pós para bebidas utilizando milho-pipoca. **Boletim do CEPPA**, Curitiba, v.11, n.1, p.11-16, 1993.

FALCONER, D.S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1987. 279p.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2007. 576p.

FAO. **Faostat database gateway**. 2009. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 01 out. 2009.

FELKER, C.F.; SHANNON, J.C. Movement of ¹⁴C-labeled assimilates into kernels of *Zea mays* L. **Plant Physiology**, Rockville, v.65, n.5, p.864-870, 1980.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 2007. 576p.

FORNASIERI FILHO, D.; LAM-SÁNCHEZ, A.; MALHEIROS, E.B.; AGUILAR, M.A. Efeitos de espaçamentos e densidades de semeadura em várias características agrônômicas de milho pipoca (*Zea mays* L.), **Científica**, São Paulo, v.16, n.1, p.89-96, 1988.

FREITAS JÚNIOR, S.P. **Capacidade de combinação em milho pipoca (*Zea mays* L.), por meio de dialelo circulante**. 2005, 117p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2005.

FREITAS JÚNIOR, S.P.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; PEREIRA, M.G.; CRUZ, C.D., SCAPIM, C.A.. Capacidade combinatória em milho-pipoca por meio de dialelo circulante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.11, p.1599-1607, 2006.

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

GALVÃO, J.C.C.; SAWAZAKI, E.; MIRANDA, G.V. Comportamento de híbridos de milho pipoca em Coimbra, Minas Gerais. **Revista Ceres**, Viçosa, v.47, n.270, p.201-218, 2000.

GARDNER, C.O.; EBERHART, S.A. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. **Biometrics**, London, v.22, n.3, p.439-452, 1966.

GOMES, M.S.; VON PINHO, E.V.R.; VON PINHO, R.G.; VIEIRA, M.G.G.C. Estimativas da capacidade de combinação de linhagens de milho tropical para qualidade fisiológica de sementes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.24 (Edição Especial), p.41-49, 2000.

GONELI, A.L.D.; CORRÊA, P.C.; DIAS, D.C.F.S.; MIRANDA, G.V. Efeito da danificação mecânica na qualidade fisiológica de sementes de milho-pipoca durante o armazenamento. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.7, n.2, p.101-111, 2005.

GOODMAN, M.M.; SMITH, J.S.C. Botânica In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P. (Ed.). **Melhoramento e produção de milho**. Campinas: Fundação Cargil, 1987, cap.1, p.41-78.

GORGULHO, E.P.; MIRANDA FILHO, J.B. Estudo da capacidade combinatória de variedades de milho no esquema de cruzamento dialélico parcial. **Bragantia**, Campinas, v.60, n.1, p.1-8, 2001.

GREEN JR., V.E.; HARRIS JR., E.D. Popcorn quality and the measurement of popping expansion. **Proceedings of The Soil and Crop Science Society of Florida**, Flórida, v.20, n.1, p.28-41, 1960.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. **Australian Journal of Biological Sciences**, East Melbourne, v.9, n.4, p.462-93, 1956.

HALLAUER, A.R.; MIRANDA FILHO, J.B. **Quantitative genetics in maize breeding**. Ames: Iowa State University Press, 1981, 468p.

HAYMAN, B.I. The analysis of variance of diallel tables. **Biometrics**, Washington, v.10, n.2, p.235-244, 1954.

HOECKER, N.; KELLER, B.; PEIPHO, H.P.; HOCHHOLDINGER, F. Manifestation of heterosis during early maize (*Zea mays* L.) root development. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v.112, n.5/6, p.421-429, 2006.

INFORMATIVO COOPERCITRUS. Milho pipoca: cultura tem tudo para expandir-se. **Coopercitrus**, São Paulo, n.78, p.8-11, 1993.

ISTA (INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION). **Handbook of vigour test methods**. 3.ed., Zürich, 1995. 117p.

JORNAL DA TERRA. 2008. Disponível em: <<http://www.jterra.com.br>>. Acesso em: 03 nov. 2009.

KVITSCHAL, M.V.; SCAPIM, C.A.; TONET, A.; PINTO, R.J.B.; RETUCCI, V.S.; AMARAL JUNIOR, A.T.; BRACCINI, A.L. Análise dialélica de populações de milho a região Noroeste do Paraná, na "Safrinha". **Revista Ceres**, Viçosa, v.51, n.293, p.19-32, 2004.

LARISH, L.L.B.; BREWBAKER, J.L. Diallel analyses of temperate and tropical popcorns. **Maydica**, Bergamo, v.44, n.4, p.279-284, 1999.

LERAYER, A. **Guia do milho: tecnologia do campo à mesa**. CIB, p.1-16, julho, 2006. Disponível em: <<http://www.cib.org.br>>. Acesso em: 18 set. 2009.

LINARES, E. **Seleção recorrente recíproca em famílias de meio-irmãos em milho pipoca (*Zea mays* L.)**. 1987, 78p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1987.

LOCATELLI, A.B.; FEDERIZZI, L.C.; NASPOLINI FILHO, V. Capacidade combinatória de nove linhagens endogâmicas de milho (*Zea mays* L.) em dois ambientes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.3, p.365-370, 2002.

LUZ, M.L.S.; DALPASQUALE, V.A.; SCAPIM, C.A.; BRACCINI, A.L.; ROYER, M.R.; MORA, F. Influência da umidade das sementes na capacidade de expansão de três genótipos de milho-pipoca (*Zea mays* L.). **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.27, n.3, p.549-553, 2005.

MANGELSDORF, P.C. **Corn its origin, evolution and improvment**. Cambridge: Harvard University Press, 1974, 262p.

MANGELSDORF, P.C.; SMITH JR., C.E. A discovery of remains of primitive maize in New Mexico. **The Journal of Heredity**, Washington, v.40, n.2, p.39-43, 1949.

MANTOVANI, E.C. Colheita e pós-colheita. In: **Cultivo do milho**. Embrapa Milho e Sorgo, Sistemas de Produção, 1. 3ed., 2007. Disponível em: <http://www.sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivoDoMilho_3ed/colheita.htm>. Acesso em: 21 fev. 2009.

MARCOS FILHO, J. Testes de vigor: importância e utilização. In: KRZYŻANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Eds.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Abrates, 1999. cap.1, p.1-21.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: Fealk, 2005. 495p.

MARCOS FILHO, J.; CICERO, S.M.; SILVA, W.R. **Avaliação da qualidade das sementes**. Piracicaba: Fealk, 1987. 230p.

MARINCEK, A. **Qualidade de sementes de milho produzidas sob diferentes sistemas de manejo no campo e em pós-colheita**. 2000. 105p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

MATTA, F.P.; VIANA, J.M.S. Testes de capacidade de expansão em programas de melhoramento de milho pipoca. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n.4, p.845-851, 2001.

MEDEIROS, J. B.; FELDMAN, R.O.; VIANA, A.C. Avaliação de dez cultivares de milho pipoca em três densidades de planta. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO. 13, 1980. Londrina, **Coletânea de resumos**. Londrina: IAPAR, 1980, p.102.

MERLO, E.; FORNASIERI FILHO, D., LAM-SÁNCHEZ, A. Avaliação de sete cultivares de milho pipoca (*Zea mays* L.) em três densidades de semeadura. **Científica**, São Paulo, v.16, n.2, p.245-251, 1988.

MIRANDA, J.E.C.; CRUZ, C.D.; COSTA, C.P. Predição do comportamento de híbridos de pimentão (*Capsicum annuum* L.) pela divergência genética dos progenitores. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.11, n.4, p.929-937, 1988.

MONTALVÁN, R. Endogamia e heterose. In: DESTRO, D.; MONTALVÁN, R. (Eds.). **Melhoramento genético de plantas**. Londrina: Editora UEL, 1999. 820p.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYŻANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Eds.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 164 p.

ODIEMAH, M. Quantitative inheritance of seed quality characteristics in maize (*Zea mays* L.). **Cereal Research Communications**, Szeged, v.17, n.1, p.245-251, 1989.

PACHECO, C.A.P.; GAMA, E.P.; GUIMARÃES, P.E.O.; SANTOS, M.X.; FERREIRA, A.S. Estimativas de parâmetros genéticos nas populações CMS-42 e CMS-43 de milho-pipoca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.12, p.1995-2001, 1998.

PACHECO, C.A.P.; GAMA, E.E.G.; PARENTONI, S.N.; SANTOS, M.S.; LOPES, M.A.; FERREIRA, A.S.; FERNANDES, F.T.; GUIMARÃES, P.E.O.; CORREA, L. A.; MEIRELLES, W.F.; FELDMAN, R.O.; MAGNAVACA, R. **BRS Angela: variedade de milho-pipoca**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2001. 6p. (Comunicado técnico, 27).

PATERNIANI, E.; CAMPOS, M.S. Melhoramento do milho. In: Borém, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: Editora UFV, 2005, p.491-552.

PATERNIANI, E.; MIRANDA FILHO, J.B. Melhoramento de populações. In: PATERNIANI, E. (Ed.) **Melhoramento e produção de milho no Brasil**. Piracicaba: Esalq, Fundação Cargill, 1978, p.202-246.

PATERNIANI, M.E.A.G.Z.; GUIMARÃES, P.S.; LÜDERS, R.R.; GALLO, P.B.; SOUZA, A.P.; LABORDA, P.R.; OLIVEIRA, K.M. Capacidade combinatória, divergência genética entre linhagens de milho e correlação com heterose. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.3, p.639-648, 2008.

PEREIRA FILHO, I.A.; CRUZ, J.C. Plantio, espaçamento, densidade, quantidade de sementes. In: CRUZ, J.C.; VERSIANI, R.P.; FERREIRA, M.T.R. (Eds.). **Cultivo do milho**. Embrapa Milho e Sorgo, Sistemas de produção, 1, 2000. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho/plantio.htm>>. Acesso em: 20 nov. de 2008.

PEREIRA, M.G.; AMARAL JÚNIOR, A.T. Estimation of genetic components in popcorn based on the nested design. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v.1, n.1, p.3-10, 2001.

PESKE, S.T.; LUCCA FILHO, O.A.; BARROS, A.C.S.A. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária/UFPel. 2.ed., 2006, 472p.

PINTO, R.J.B. **Introdução ao melhoramento genético de plantas**. 2.ed. Maringá, EDUEM, 2009, 351p.

PINTO, R.J.B.; KVITSCHAL, M.V.; SCAPIM, C.A.; FRACARO, M.; BIGNOTTO, L.S.; SOUZA NETO, I.L. Análise dialélica parcial de linhagens de milho-pipoca. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.6, n.3, p.325-337, 2007a.

PINTO, R.J.B.; SCAPIM, C.A.; BARRETO, R.R.; RODOVALHO, M.A.; ESTEVES, N.; LOPES, A.D. Análise dialélica de linhagens de milho-pipoca. **Revista Ceres**, Viçosa, v.54, n.315, p.471-477, 2007b.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília: Agiplan, 1985, 289p.

PRETE, C.E.C.; GUERRA, E.P. Qualidade fisiológica de sementes. In: DESTRO, D.; MONTALVÁN, R. (Eds.). **Melhoramento genético de plantas**. Londrina: Ed. UEL, 1999. 820p.

RAHMAN, H.; WICKS, Z.W.; SWATI, M.S. Generation mean analysis of seedling root characteristics in maize (*Zea mays* L.). **Maydica**, Bergamo, v.39, n.3, p.177-181, 1994.

RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B.; PINTO, C.B.S. **Genética na Agropecuária**. 4.ed., Lavras: Editora UFLA, 2008. 464p.

RANGEL, R.M. **Dialelo circulante na avaliação de híbridos e na identificação de compostos superiores de milho pipoca**. 2006. 127p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campus de Goyatacazes, 2006.

RUFFATO, S.; CORREA, P.C.; MARTINS, J.H., MANTOVANI, B.H.M.; SILVA, J.N. Efeito das condições de colheita, pré-processamento e armazenamento na qualidade de milho pipoca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.3, p.591-597, 2000.

SANTOS, F.S.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; FREITAS JÚNIOR, S.P.; RANGEL, M.R.; PEREIRA, M.G. Predição de ganhos genéticos por índices de seleção na população de milho-pipoca UNB-2U sob seleção recorrente. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.3, p.389-396. 2007.

SAWAZAKI, E. **Melhoramento do milho pipoca**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1995. 21p. (Documento IAC, 53)

SAWAZAKI, E. A cultura do milho pipoca no Brasil. **O Agrônômico**, Campinas, v.53, n.2, p.11-13, 2001.

SAWAZAKI, E. **Milho: IAC 112 cultivar híbrido de milho-pipoca**. 2003. Disponível em: < <http://www.iac.sp.gov.br/Cultivares/Folders/Milho/IAC112.htm>>. Acesso em: 17 nov. 2004.

SAWAZAKI, E.; FANTIN, G.M.; DUDIENAS, C.; CASTRO, G. Resistência de genótipos de milho pipoca a doenças. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.78, n.1, p.149-164. 2003.

SAWAZAKI, E.; MORAIS, J.F.L.; LAGO, A.A. Influência do tamanho e umidade do grão na expansão da pipoca South American Mushroom. **Bragantia**, Campinas, v.45, n.2, p.363-370, 1986.

SAWAZAKI, E.; PATERNIANI, M.E.A.G.Z.; CASTRO, J.L.; GALLO, P.B.; GALVÃO, J.C.G.; SAES, L.A. Potencial de linhagens locais de milho-pipoca para síntese de híbridos. **Bragantia**, Campinas, v.59, n.2, p.143-151, 2000.

SCAPIM, C.A.; CRUZ, C.D.; ARAÚJO, J.M. Cruzamentos dialélicos entre sete cultivares de milho doce. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.13, n.1, p.19-21, 1995.

SCAPIM, C.A.; PACHECO, C.A.P.; TONET, A.; BRACCINI, A.L.; PINTO, R.J.B. Análise dialética e heterose de populações de milho-pipoca. **Bragantia**, Campinas, v.61, n.3, p.219-230, 2002.

SCAPIM, C.A.; PINTO, R.J.B.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; MORA, F.; DANDOLINI, T.S. Combining ability of white grain popcorn populations. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v.6, n.2, p.136-143, 2006.

SEIFERT, A.L.; CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; FERREIRA, J.M.; GERAGE, A.C. Análise combinatória de populações de milho-pipoca em *topcrosses*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.5, p.771-778, 2006.

SILVA, N.O.; RAMALHO, M.A.P.; BRUZI, A.T.; VON PINHO, É.V.R. Genetic control of traits associated with maize seed quality. **Maydica**, Bergamo, v.53, n.1, p.55-62, 2008.

SILVA, R.M.; MIRANDA FILHO, J.B. Heterosis expression in crosses between maize populations: ear yield. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n.3, p.519-524, 2003.

SILVA, V.Q.R. da. **Melhoramento de milho-pipoca: capacidade combinatória de linhagens, parametrização heterótica e herança de características agronômicas**. 2009. 207p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2009.

SILVA, W.J.; VIDAL, B.C.; MARTINS, M.E.Q.; VARGAS, H. ; PEREIRA, A.C.; ZERBETTO, M.; MIRANDA, L.C.M. What makes popcorn pop. **Nature**, London, v.362, n.6419, p.417, 1993.

SPRAGUE, G.F.; TATUM, L.A. General vs specific combining ability in single crosses of corn. **Journal American Science Agronomy**, Washington, v.34, n.10, p.923- 932, 1942.

TISSOT, U.F.; ZAMBIAZI, R.C.; MENDONÇA, C.R.B. Milho-pipoca: caracterização física, química, microbiológica e sensorial. **Boletim do CEPPA**, Curitiba, v.19, n.1, p.1-12, 2001.

VENCOVSKY, R. **Alguns aspectos teóricos e aplicados relativos a cruzamentos dialélicos de variedades**. 1970. 30p. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1970.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486p.

VENDRUSCOLO, E.C.G.; SCAPIM, C.A.; PACHECO, C.A.P.; OLIVEIRA, V.R.; BRACCINI, A.L.; GONÇALVES-VIDIGAL, M.C. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho pipoca na região centro-sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.1, p.123-130, 2001.

VILELA, F.O. **Impacto da seleção recorrente na variabilidade genética da população UNB-2U de milho pipoca (*Zea mays* L.) por meio de marcadores RAPD**. 2004. 94p. Tese (Mestrado) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2004.

ZIEGLER, K.E., ASHMAN, B. Popcorn. In: HALLAUER, A.R. (Ed.) **Specialty corns**. Iowa: CRC Press, 1994. p.189-223.

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

ZINSKY, J.R.; MACHADO, J.A. Milho pipoca. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G.P. (Eds.). **Melhoramento e produção do milho**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.413-421.

CAPÍTULO 1

ANÁLISE DIALÉLICA DA QUALIDADE FISIOLÓGICA E DA PRODUTIVIDADE DE SEMENTES DE MILHO-PIPOCA

RESUMO. O presente trabalho teve por objetivos quantificar a capacidade de combinação de linhagens endogâmicas de milho-pipoca para a qualidade de sementes, capacidade de expansão e características agronômicas, bem como avaliar o potencial dessas linhagens e seus híbridos. Para tanto, oito linhagens S₉ e uma S₆ foram intercruzadas em esquema dialélico completo, sem os recíprocos. Na avaliação da qualidade fisiológica das sementes, foram utilizados os testes de germinação (primeira contagem-PC e contagem final-GER), envelhecimento acelerado (ENV), frio modificado (FRIO), condutividade elétrica (“bulk system”) (COE), emergência das plântulas em leito de areia (EA), velocidade de emergência em areia (fórmulas de velocidade de emergência-VE e índice da velocidade de emergência-IVE), comprimento de plântulas (parte aérea-CPA e raiz primária-CRP) e biomassa seca das plântulas (BS). Na avaliação da capacidade de expansão e das características agronômicas, os 36 híbridos e a testemunha IAC112 foram alocados no delineamento em látice triplo, nas safras 2008/09 e 2009, em Iguatemi, Estado do Paraná. Utilizou-se o método 4 (modelo I), proposto por Griffing (1956), na análise dos dados. As características agronômicas avaliadas foram: altura da planta, em cm (AP); altura de inserção da primeira espiga, em cm (AE); número de plantas acamadas (NPA); número de plantas quebradas (NPQ); estande final (SF); número de espigas (NE); número de espigas mal empalhadas (NEME) e rendimento de grãos (RG). Na maioria dos caracteres avaliados predominaram os efeitos da capacidade específica de combinação, evidenciando maior importância dos genes de efeitos não-aditivos no controle genético da qualidade fisiológica de sementes de milho-pipoca. As linhagens Zélia e CMS42 foram promissoras para a obtenção de híbridos seja para sementes de qualidade fisiológica superior ou para capacidade de expansão, podendo ser

utilizadas como testadores, na avaliação da CEC de outros grupos de linhagens. As estimativas de CGC para as linhagens CMS42, IAC-112 e Zaeli confirmam seus potenciais na exploração da heterose para rendimento de grãos e capacidade de expansão. As combinações CMS42xIAC-112, ZéliaxIAC-112, ZéliaxZaeli e UEM-J1xZaeli foram as mais promissoras em relação à CEC para qualidade fisiológica de sementes, podendo ser recomendadas em programas de melhoramento. Os híbridos ZéliaxIAC-112, CMS43-1xIAC-112, UEM-M2-2xZaeli, ZéliaxUEM-M2-1, CMS42xUEM-M2-1 e UEM-M2-2xZaeli são promissores para as características RG e CE. A linhagem CMS42 aliou altas estimativas de CGC para qualidade fisiológica, capacidade de expansão e rendimento de grãos. Os híbridos ZéliaxIAC-112, CMS42xUEM-M2-1, CMS43-1xIAC-112 e UEM-M2-2xZaeli aliaram alta CEC para capacidade de expansão e rendimento, destacando-se em, pelo menos, dois testes de avaliação da qualidade fisiológica das sementes.

Palavras-chave: *Zea mays* L., capacidade de combinação, germinação e vigor, rendimento de grãos, capacidade de expansão.

DIALLEL ANALYSIS OF THE PHYSIOLOGICAL QUALITY AND YIELD OF POPCORN SEEDS

ABSTRACT. The objectives of the present work were to quantify the combining ability of inbred lines of popcorn regarding seed quality, popping expansion and agronomic traits; and to evaluate the potential of these inbred lines and their hybrids. Thus, eight S₉ lines and one S₆ line were crossbred in a complete diallel scheme, without reciprocal crosses. In the evaluation of the physiological quality of seeds they had used tests of germination (first count-PC, and final count-GER), accelerated aging (ENV), modified cold (FRIO), electrical conductivity (bulk system) (COE), seedling emergence in sand bed (EA), speed of emergence in sand (emergence speed formulas-VE, and emergence speed index-IVE), seedling length (shoot-CPA e root-CRP) and seedling dry biomass (BS). For the evaluation of popping expansion and agronomic traits, the 36 hybrids and the IAC112 check were allocated in a triple lattice design, during the 2008/09 and 2009 crop seasons, in Iguatemi, state of Paraná, Brazil. Method 4 (model I), as proposed by Griffing (1956), was used for data analysis. The evaluated agronomic traits were: plant height, in cm (AP); first ear insertion height, in cm (AE); number of lodged plants (NPA); number of broken plants (NPQ); final stand (SF); number of ears (NE); number of poorly hulled ears (NEME); and grain yield (RG). For most of the evaluated traits, the effects of the specific combining ability prevailed, evidencing the greater importance of non-additive gene effects for the genetic control of the physiological quality of popcorn seeds. The Zélia and CMS42 inbred lines show promise for obtaining hybrids, either for seeds with superior physiological quality or popping expansion, and they can be used as testers to evaluate the SCA of other lineage groups. GCA estimates for the CMS42, IAC-112 and Zaeli inbred lines confirm their potential in the exploration of heterosis for grain yield and popping expansion. The combinations CMS42xIAC-112, ZéliaxIAC-112, ZéliaxZaeli and UEM-J1xZaeli were the most promising with regards to SCA for physiological quality of seeds, and can be recommended in breeding programs. The hybrids ZéliaxIAC-112, CMS43-1xIAC-112, UEM-M2-2xZaeli, ZéliaxUEM-M2-1,

CMS42xUEM-M2-1 and UEM-M2-2xZaeli are promising for traits RG and CE. The inbred line CMS42 combined high GCA physiological quality, popping expansion and grain yield. The hybrids ZéliaxIAC-112, CMS42xUEM-M2-1, CMS43-1xIAC-112 and UEM-M2-2xZaeli combined high SCA popping expansion and yield, by standing out in at least two tests of evaluation of the physiological quality of the seeds.

Key Words: *Zea mays* L., combining ability, germination and vigour, grain yield, popping expansion.

1 INTRODUÇÃO

O milho-pipoca (*Zea mays* L.), cultura típica do continente americano, é muito apreciado como guloseima e seu consumo tem se tornado crescente entre os brasileiros (FACHIN et al., 1993).

O líder mundial em produção e consumo são os Estados Unidos, com produção anual de 500 mil toneladas. O Brasil se destaca como o segundo maior produtor, com produção anual de 80 mil toneladas (JORNAL DA TERRA, 2008), fato este que tem favorecido a autossuficiência no abastecimento do consumo interno.

O progresso nas pesquisas com a cultura do milho-pipoca permitiu que, na safra agrícola de 2009/10, fossem disponibilizadas para comercialização cinco cultivares, sendo elas, Zélia, IAC 112, IAC 125, RS-20 e UFVM2-Barão-Viçosa (CRUZ; PEREIRA FILHO, 2009). No entanto, muito embora avanços significativos tenham sido alcançados nos últimos anos, as pesquisas relacionadas ao milho-pipoca ainda são consideradas incipientes e merecem especial atenção. Nesse sentido, a exploração da variabilidade existente nos diferentes materiais se constitui em ferramenta valiosa em programas de melhoramento (PINTO, 2009; RAMALHO et al., 2008).

Dentre as opções de identificação de genitores para a constituição de população com ampla variabilidade a ser explorada em sucessivos ciclos de seleção, as metodologias de análises dialélicas podem ser alternativas bastante viáveis. Os cruzamentos dialélicos são amplamente utilizados em quase todas as espécies cultivadas, em razão do grande número de informações genéticas, que podem oferecer como inferências sobre a capacidade combinatória de genitores e híbridos (CRUZ et al., 2004).

Diversas características relacionadas à produtividade e qualidade fisiológica das sementes podem ser avaliadas por meio de análises dialélicas. No entanto, a maioria dos trabalhos trata apenas de componentes de produtividade (LOCATELLI et al., 2002; SCAPIM et al., 2002; AGUIAR et al., 2004; SEIFERT et al., 2006; PINTO et al., 2007a; PINTO et al., 2007b; PATERNIANI et al., 2008), havendo pouca informação a respeito da herança

para qualidade fisiológica das sementes (BARLA-SZABO et al., 1989; GOMES et al., 2000; ANTUNA et al., 2003; CERVANTES-ORTIZ et al., 2007).

Segundo Delouche (1985), a utilização de caracteres relacionados com a qualidade das sementes, em programas de melhoramento genético, deveria merecer posição de destaque, visto que incrementaria a resistência à deterioração no campo, a longevidade durante o armazenamento, bem como capacidade de germinação das sementes e a emergência destas em condições não-favoráveis.

O máximo potencial de qualidade fisiológica de sementes é controlado geneticamente (PRETE; GUERRA, 1999). A complexidade deste caráter decorre de seu controle multifatorial e poligênico. Assim, segundo Gomes et al. (2000), os programas que visem à manifestação da heterose nos híbridos para características relacionadas com qualidade fisiológica de sementes estarão direcionados à obtenção de cultivares híbridas com sementes de alta qualidade. Segundo esses autores, o estudo da capacidade combinatória possibilitará ao melhorista identificar as melhores combinações híbridas, tanto para aproveitamento imediato na forma de híbridos comerciais, como para a escolha de linhagens com maiores potenciais para gerarem híbridos com sementes de melhor qualidade.

Os dados encontrados na literatura tratam apenas da cultura do milho, além de revelarem divergências em relação à herança da qualidade fisiológica (GOMES et al., 2000; ANTUNA et al., 2003; CERVANTES-ORTIZ et al., 2007).

Gomes et al. (2000) observaram que as sementes híbridas de milho apresentaram qualidade fisiológica superior, quando comparadas às linhagens, evidenciando a expressão da heterose. Assim, houve maior importância dos efeitos não-aditivos no controle genético da qualidade fisiológica de sementes de milho tropical. O mesmo foi observado por Cervantes-Ortiz et al. (2007), cujo trabalho revelou a predominância de variância de dominância em caracteres de plântulas de milho, enquanto que, em plantas adultas, predominou a variância aditiva.

Em contrapartida, Barla-Szabo et al. (1989), estudando o controle genético do vigor de sementes de milho temperado e utilizando seis linhagens em um dialelo completo, encontraram diferenças significativas entre o vigor das sementes das linhagens testadas com predominância dos genes de efeito

aditivo. Antuna et al. (2003) também verificaram que os efeitos aditivos foram de maior importância na expressão da qualidade fisiológica de sementes de milho. Logo, percebe-se que os trabalhos mencionados tratam especificamente da cultura do milho comum e, portanto, há a necessidade de se avaliar novas linhagens endogâmicas de milho-pipoca a fim de se caracterizar a herança para a qualidade fisiológica das sementes. Além disso, a busca por materiais promissores, com boa produtividade e alta capacidade de expansão, aliada com bom desempenho fisiológico, é fundamental no melhoramento de plantas e lançamento de novas cultivares.

Este trabalho teve por objetivos avaliar a capacidade geral de combinação de nove linhagens de milho-pipoca e seus parentais para a qualidade fisiológica de sementes, capacidade de expansão e características agronômicas, bem como avaliar o potencial dessas linhagens e a CEC de seus híbridos em duas safras agrícolas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido na Fazenda Experimental de Iguatemi (FEI) e no Laboratório de Tecnologia de Sementes do Núcleo de Pesquisa Aplicada à Agricultura (NUPAGRI), pertencentes ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá.

A FEI situa-se no município de Maringá, Região Noroeste do Estado do Paraná, a 23°25' de latitude sul e 51°57' de longitude a oeste de Greenwich e a 540 m de altitude. O clima predominante na região é do tipo Cfa, segundo classificação de Köppen (IAPAR, 1987).

O solo do local é caracterizado como Latossolo Vermelho eutrófico de textura média (EMBRAPA, 2006).

2.1 Obtenção dos híbridos

Primeiramente, foi realizada a seleção das linhagens com base na alta capacidade geral de combinação que estas apresentaram em experimentos prévios.

Após, foi instalado, em outubro de 2007, o campo de polinização, utilizando-se nove linhagens de milho-pipoca (Quadro 1) do programa de melhoramento desenvolvido na Universidade Estadual de Maringá, para a obtenção dos híbridos. Constitui-se, portanto, um dialelo completo de milho-pipoca com 36 híbridos simples.

Inicialmente, foi instalado um campo para obtenção das sementes das linhagens e dos híbridos. As nove linhagens cruzadas foram cultivadas em fileiras, aos pares, cada qual contendo 10 m de comprimento, espaçada uma em 0,90 m da outra fileira e com espaçamento entre plantas de 0,20 m. Foram realizados, pelo menos, 30 cruzamentos para cada combinação híbrida.

Os tratos culturais foram realizados conforme o recomendado para a cultura (SAWAZAKI, 2001).

Quadro 1 – Características das linhagens de milho-pipoca utilizadas na obtenção dos híbridos.

Linhagem	Geração de autofecundação	Instituição	Cor dos grãos	Tipo – Material original ^{1,2}
Zélia	S ₉	Pioneer	Alaranjada	HT
CMS 42	S ₉	Embrapa	Amarelo	Composto
CMS 43-1	S ₉	Embrapa	Branco	Composto
CMS 43-2	S ₉	Embrapa	Branco	Composto
UEM-J1	S ₉	UEM	Alaranjada	Variedade
UEM-M2-1	S ₉	UEM	Alaranjada	Variedade
UEM-M2-2	S ₉	UEM	Alaranjada	Variedade
Zaeli	S ₉	UEM	Alaranjada	Desconhecida
IAC-112	S ₆	IAC	Alaranjada	HSm

¹HT: híbrido triplo;

²HSm: híbrido simples modificado.

Os cruzamentos foram realizados manualmente entre as plantas dos pares de fileiras. Para tanto, realizou-se a cobertura dos pendões maduros com saco de papel ‘kraft’, de determinada planta de uma fileira. Posteriormente, o saco foi utilizado para encobrimento de espiga apta para polinização de planta da correspondente fileira-par. Foram realizadas todas as polinizações de espigas por par de fileiras, para a obtenção de suficiente quantidade de sementes para a continuidade do processo.

Após a colheita e secagem, as espigas foram debulhadas manualmente e armazenadas em câmara fria à temperatura de aproximadamente 10°C e umidade relativa abaixo de 40%, até o início das avaliações de laboratório.

2.2 Avaliação da qualidade fisiológica

A qualidade fisiológica das sementes de milho-pipoca foi avaliada por meio dos testes de germinação (primeira contagem-PC e contagem final-GER), envelhecimento acelerado (ENV), frio modificado (FRIO), condutividade elétrica (“bulk system”) (COE), emergência das plântulas em leito de areia (EA),

velocidade de emergência em areia (fórmulas de velocidade de emergência-VE e índice da velocidade de emergência-IVE), comprimento da parte aérea (CPA) e da raiz primária (CRP) das plântulas e biomassa seca das plântulas (BS), os quais são descritos a seguir.

Teste de germinação (GER): realizado com oito subamostras compostas por 50 sementes para cada tratamento e repetição. As sementes foram semeadas entre três folhas de papel toalha umedecidas com água destilada, utilizando-se a quantidade de água equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco. Foram confeccionados rolos, os quais foram transferidos para germinador do tipo Mangelsdorf, regulado para manter constante a temperatura de 25°C. Foram realizadas avaliações do número de plântulas normais aos quatro e sete dias após a semeadura. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais, segundo as prescrições contidas nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

Primeira contagem do teste de germinação (PC): foi efetuada em conjunto com o procedimento anterior, utilizando-se a mesma metodologia, computando-se a porcentagem de plântulas normais obtidas no quarto dia após a semeadura conforme prescrições contidas nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

Envelhecimento acelerado (ENV): este teste foi conduzido com 42 g de sementes por tratamento e repetição, as quais foram dispostas sobre tela de aço inox, inserida no interior de caixas plásticas do tipo “gerbox”, contendo 40 mL de água destilada. A umidade relativa no interior das caixas plásticas foi de aproximadamente 100%, conforme a metodologia descrita por Krzyzanowski et al. (1991). Posteriormente, as caixas foram transferidas para uma câmara de germinação do tipo BOD, em ausência de luz e à temperatura constante de 42 °C, por 72 h. Após o período de envelhecimento, as sementes foram submetidas ao teste de germinação descrito anteriormente e a avaliação foi realizada no quarto dia após a semeadura, computando-se as plântulas consideradas normais, conforme metodologia descrita por Marcos Filho (1999b). Os resultados foram expressos em porcentagem. Foi determinado o teor de água das sementes restantes após o teste de envelhecimento, com duas subamostras de 5 gramas, utilizando-se o método de estufa a $105 \pm 2^\circ\text{C}$

por 24 h, segundo prescrições contidas nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

Teste de frio modificado (FRIO): realizado com quatro subamostras compostas por 50 sementes por tratamento e repetição. A semeadura foi realizada entre três folhas de papel toalha previamente umedecidas com água destilada, na proporção de 2,5 vezes a massa do papel seco. Os rolos confeccionados foram envoltos por sacos plásticos e lacrados com fita adesiva, permanecendo nessa condição por um período de sete dias em câmara de germinação do tipo BOD, na ausência de luz e à temperatura constante de 10°C. Ao término desse período, os rolos foram retirados dos sacos plásticos e transferidos para germinador com temperatura constante de 25°C, por quatro dias. Posteriormente, realizou-se a avaliação, computando-se o número de plântulas normais, conforme metodologia descrita por Barros et al. (1999). Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais, segundo os critérios adotados para o teste de germinação, de acordo com as prescrições contidas nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

Condutividade elétrica (“bulk system”) (COE): este teste foi conduzido, utilizando-se quatro subamostras de 25 sementes para cada tratamento e repetição. Inicialmente, as sementes de cada subamostra foram pesadas em balança analítica com precisão criteriosa e colocadas em copos plásticos, com capacidade para 200 mL. Após a pesagem, foram adicionados 75 mL de água deionizada nos copos plásticos que continham as sementes. Estes foram, então, transferidos para uma câmara de germinação do tipo BOD, na ausência de luz à temperatura constante de 25°C e mantidos nesta condição por 24 h, segundo metodologia descrita por Krzyzanowski et al. (1991). O grau de umidade das sementes foi previamente determinado pelo método da estufa a 105°C±3°C por 24 h, de acordo com Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), utilizando-se duas repetições de 5 g.

Após esse período, a leitura da condutividade elétrica na solução de embebição foi realizada, utilizando-se um condutímetro microprocessado digital de bancada, modelo ACA 150, da marca Alpax. Previamente à leitura, a solução de embebição foi levemente agitada com a ajuda de um bastão de vidro. O valor indicado pelo aparelho foi anotado e dividido pelo peso obtido em

cada subamostra. Desse modo, o resultado obtido foi expresso em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$, segundo metodologia proposta por Vieira e Krzyzanowski (1999).

Emergência das plântulas em leito de areia (EA): conduzida com quatro subamostras de 50 sementes para cada tratamento e repetição. A areia utilizada foi previamente lavada e colocada em bandejas plásticas, sendo irrigada durante dois dias consecutivos para acomodação do leito. Na semeadura foram abertos sulcos longitudinais em cada bandeja, com 3 cm de profundidade e espaçados de 4 cm entre si, utilizando-se 50 sementes por sulco. O teste foi realizado sob condições de casa-de-vegetação e a umidade mantida com irrigações moderadas, uma vez ao dia no início da manhã. Quando as plântulas começaram a emergir, realizou-se irrigação mais constante, até duas vezes ao dia, no início da manhã e final da tarde, para se facilitar o rompimento da camada de areia. Foram efetuadas anotações diárias do número de plântulas emergidas até que este número se mantivesse constante. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais, obtidas no 15º dia após a semeadura, conforme as prescrições contidas nas Regras para Análises de Sementes (BRASIL, 2009).

Velocidade de emergência em areia (VE): conduzido em conjunto com o teste de emergência em leito de areia. As contagens do número de plântulas emergidas, ou seja, aquelas que apresentaram crescimento de 1 cm da parte aérea, foram realizadas diariamente, sem que estas fossem descartadas, obtendo-se, portanto, um valor cumulativo. Dessa maneira, o número de plântulas emergidas referentes a cada contagem foi obtido, subtraindo-se o valor lido no dia da leitura com o valor referente à leitura do dia anterior. Dessa forma, com o número de plântulas emergidas referentes a cada leitura, obtido em casa-de-vegetação (leito de areia), foram calculados a velocidade de emergência (VE) e o índice de velocidade de emergência (IVE), empregando-se as seguintes fórmulas:

a) velocidade de emergência (EDMOND; DRAPALA, 1958):

$$VE = \frac{(N_1G_1) + (N_2G_2) + \dots + (N_nG_n)}{G_1 + G_2 + \dots + G_n}, \text{ em que:}$$

VE = velocidade de emergência (dias);

G = número de plântulas emergidas observadas em cada contagem;

N = número de dias da semeadura a cada contagem.

b) índice de velocidade de emergência (MAGUIRE, 1962):

$$IVE = \frac{G_1}{N_1} + \frac{G_2}{N_2} + \dots + \frac{G_n}{N_n} , \text{ em que:}$$

IVE = índice de velocidade de emergência;

G e N = possuem o mesmo significado da fórmula de velocidade de emergência.

Comprimento das plântulas: para avaliação do comprimento da raiz primária (CRP) e da parte aérea das plântulas (CPA), foram utilizadas cinco repetições de 20 sementes, colocadas para germinar nas mesmas condições do teste de germinação. As sementes foram distribuídas, no sentido longitudinal das folhas, e os rolos confeccionados foram colocados em sacos plásticos de coloração preta, com a finalidade de se manter constante a umidade no seu interior e eliminar o efeito da luminosidade. Os rolos foram colocados em pé no germinador regulado à temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$, por um período de sete dias. As medições do comprimento das plântulas foram realizadas apenas nas plântulas normais, eliminando-se as anormais e as sementes mortas, conforme metodologia proposta por Krzyzanowski et al. (1991).

Biomassa seca das plântulas (BS): foi realizada em conjunto com o comprimento das plântulas. Os eixos embrionários das plântulas provenientes de cada repetição foram colocados em sacos de papel e transferidos para estufa com circulação forçada de ar, regulada à temperatura de $80 \pm 2^\circ\text{C}$, durante 24 h, para secar. Após esse período, as amostras foram pesadas em balança com precisão de 0,01 grama, conforme metodologia proposta por Krzyzanowski et al. (1991). Os resultados foram expressos em mg plântula^{-1} .

2.3 Avaliação dos híbridos e testemunhas

Os experimentos, instalados na FEI, foram semeados em setembro de 2008 (safra normal) e março de 2009 (safrinha).

Os dados da análise de solo da área experimental encontram-se descritos no Quadro 2.

Quadro 2 – Resultados da análise química do solo na camada de 0 - 20 cm do solo Argissolo Vermelho eutrófico, antes da implantação da cultura.

Profundidade (cm)	P ⁽¹⁾ mg dm ⁻³	pH ⁽²⁾		H ⁺ +Al ³⁺	Al ³⁺ ⁽³⁾	K ⁺ ⁽¹⁾	Ca ⁺² ⁽³⁾	Mg ⁺² ⁽³⁾	SB	CTC	V	C ⁽⁴⁾
		CaCl ₂	H ₂ O	----- cmol _c dm ⁻³ -----			-----				%	g dm ⁻³
0 – 20	8,6	5,3	6,1	3,68	0,0	0,30	4,19	1,37	5,86	9,54	61,43	9,58

⁽¹⁾ Extrator Mehlich 1; ⁽²⁾ CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹; ⁽³⁾ KCl 1 mol L⁻¹; ⁽⁴⁾ Método Walkley-Black.

Os híbridos F₁'s foram semeados, juntamente com o material comercial IAC 112, o qual apresenta elevada capacidade de expansão e produção. O experimento consistiu em látice triplo, com 37 tratamentos, sendo 36 híbridos F₁'s e uma testemunha.

A unidade experimental foi formada por uma fileira com 5,0 m de comprimento, espaçamento de 0,90 m entre linhas e 0,20 m entre plantas, perfazendo uma área útil de 4,5 m², após o desbaste.

A área experimental foi previamente dessecada com Roundup (glifosato), na dosagem recomendada pelo fabricante. Na adubação de base foram aplicados 300 kg ha⁻¹ da formulação 4-14-8, ou seja, 12 kg ha⁻¹ de nitrogênio, 42 kg ha⁻¹ de fósforo, na forma de superfosfato simples e 24 kg ha⁻¹ de potássio, na forma de KCl, na safra normal e 300 kg ha⁻¹ da formulação 4-20-20, ou seja, 12 kg ha⁻¹ de nitrogênio, 60 kg ha⁻¹ de fósforo, na forma de superfosfato simples e 60 kg ha⁻¹ de potássio, na forma de KCl, na safrinha. Na adubação de cobertura, foi utilizada ureia na dose de 150 kg ha⁻¹ aplicada aos 25 dias após a emergência, quando as plantas apresentavam de oito a dez folhas totalmente expandidas.

O tratamento de sementes foi realizado, utilizando-se CropStar (Imidacloprid + Thiodicarb) na dosagem de 0,30 L ha⁻¹ e para o controle de lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) e, para o controle de outros insetos, utilizaram-se Karate 50 EC (Lambda-cialotrina), Macht EC (Lefenuron Benzoiluréia) e Lorsban 480 BR (Clorpirifós) nas dosagens 150, 300 e 350 mL ha⁻¹, respectivamente. O controle de plantas daninhas foi realizado com Primestra Gold (370 g L⁻¹ de Atrazine + 290 g L⁻¹ de S-metolachlor) na dosagem de 4,0 L ha⁻¹ (p.c.) em pré-emergência.

A colheita das espigas dos experimentos foi realizada em fevereiro e julho de 2009. As espigas foram colhidas manualmente com umidade próxima de 18%. As massas das espigas foram obtidas por meio da pesagem de todas as espigas da área útil das parcelas sem palha e expressas em kg parcela⁻¹.

As características avaliadas foram:

a) altura da planta (AP): expressa em cm, avaliada após o pendoamento, foi tomada desde o nível do solo até a lígula da folha bandeira, obtendo-se, desta forma, a média proveniente de três plantas representativas;

b) altura de inserção da primeira espiga (AE): expressa em cm, obtida pela média das mesmas três plantas utilizadas na altura de plantas, pela quantificação da distância, em cm, do nível do solo à base de inserção da espiga superior;

c) número de plantas acamadas (NPA): obtido pelo número de plantas acamadas na parcela. Na ocasião da colheita, foram consideradas plantas acamadas aquelas que apresentaram ângulo de inclinação superior a 45°, em relação à vertical;

d) número de plantas quebradas (NPQ): obtido pelo número de plantas quebradas na parcela. Na ocasião da colheita, foram consideradas plantas quebradas aquelas que estavam com o colmo quebrado, abaixo da espiga superior;

e) estande final (SF): obtido pelo número de plantas na parcela, por ocasião da colheita;

f) número de espigas (NE): quantificado pelo número de espigas colhidas na área útil de cada parcela;

g) número de espigas mal empalhadas (NEME): obtido pela contagem do número de espigas que não foram totalmente cobertas por palha na parcela;

i) produção de grãos (RG): obtida após a pesagem das espigas sem palha na parcela, e os resultados foram transformados para kg ha⁻¹. Os dados referentes ao rendimento de grãos foram corrigidos para a umidade padrão de 13% base úmida;

j) capacidade de expansão dos grãos (CE): expressa em mL g⁻¹, foi obtida a partir da razão entre o volume de pipoca expandida, medida em uma proveta com capacidade de 1.000 mL e a massa de 30 g de grãos, medidas em balança de precisão. Foram avaliadas duas amostras por parcela. A massa de

grãos submetidos ao estouro foi obtida do total de grãos colhidos da parte centro-basal das espigas de cada parcela. Antes da avaliação da capacidade de expansão, as amostras de grãos e a amostra piloto de 1,0 kg, que serviu para monitoramento da umidade, foram armazenadas em câmara seca e fria. A avaliação da capacidade de expansão só foi efetuada quando a umidade da amostra piloto atingiu uma faixa ideal de 13% a 15%. Na obtenção da capacidade de expansão, foi utilizado um pipocador desenvolvido pela Embrapa – Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento de Instrumentação Agropecuária (CNPDIA), baseado no testador oficial da capacidade de expansão da Cretors CO, contendo resistência elétrica e termostato. Empregou-se a temperatura de 280°C, com tempo de pipocamento de 2 min e 15 seg das amostras de grãos na panela.

2.4 Análise estatística

Os testes realizados para avaliação da qualidade fisiológica seguiram o delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro, cinco ou oito repetições dependendo do teste.

Os dados obtidos no campo, utilizando-se látice triplo em duas safras (2008/09 e 2009), foram avaliados por meio de análises individuais e conjunta.

Os resultados obtidos foram analisados por meio da análise de variância com probabilidade em nível de 1 e 5% de significância pelo teste F. Com base nos resultados da análise de variância individual, as somas de quadrados dos tratamentos foram decompostas em capacidade geral (CGC) e específica de combinação (CEC). Na análise conjunta, as somas de quadrados dos tratamentos foram desdobradas em capacidade geral (CGC) e específica de combinação (CEC) e suas interações com as safras. Para a decomposição, utilizou-se o método 4 de Griffing, respectivamente, no modelo fixo (GRIFFING, 1956), com a utilização do programa computacional GENES da Universidade Federal de Viçosa – UFV (CRUZ, 2007).

A comparação das médias foi realizada pelo teste de agrupamento de Scott e Knott (1974), em nível de 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Qualidade fisiológica

3.1.1 Análise de variância

Os resultados da análise de variância (Quadros 3, 4 e 5) revelaram a existência de diferenças significativas a 1% de probabilidade entre médias de tratamentos para todos os caracteres avaliados, indicando a existência de variabilidade genética entre os materiais utilizados, o que configura situação indispensável para o melhoramento genético.

Os coeficientes de variação (CV%) foram baixos, indicando boa precisão do experimento e maior confiabilidade nos resultados obtidos.

Quadro 3 – Quadrados médios da primeira contagem (PC) e contagem final da germinação (GER) de 36 híbridos simples de milho-pipoca, produzidos em Maringá-PR, em 2007/2008.

Fontes de variação	GL	Quadrados médios	
		PC (%)	GER (%)
Tratamentos	35	314,31*	144,13*
Resíduo	252	20,52	11,83
Média	-	83,50	93,36
C. V. (%)	-	5,42	3,68

* Significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

Quadro 4 – Quadrados médios referentes aos testes de envelhecimento acelerado (ENV), frio modificado (FRIO), condutividade elétrica (COE), emergência das plântulas em substrato de areia (EA), velocidade de emergência (VE) e índice de velocidade de emergência (IVE) de 36 híbridos simples de milho-pipoca, produzidos em Maringá-PR, em 2007/2008.

Fontes de variação	GL	Quadrados médios					
		ENV (%)	FRIO (%)	COE $\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$	EA (%)	VE (dias)	IVE
Tratamentos	35	102,31*	146,06*	26,04*	64,06*	0,11*	1,01*
Resíduo	108	24,10	21,23	2,63	8,09	0,01	0,10
Média	-	86,29	85,68	13,78	95,50	5,43	8,90
C. V. (%)	-	5,69	5,38	11,78	2,98	2,19	3,60

* Significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

Quadro 5 – Quadrados médios referentes aos testes de comprimento da parte aérea (CPA) e da raiz primária das plântulas (CRP) e biomassa seca das plântulas (BS) de 36 híbridos simples de milho-pipoca, produzidos em Maringá-PR, em 2007/2008.

Fontes de variação	GL	Quadrados médios		
		CPA (cm)	CRP (cm)	BS (mg)
Tratamentos	35	37,54*	2,71*	70,91*
Resíduo	144	0,56	0,42	5,81
Média	-	19,41	21,90	47,33
C. V. (%)	-	3,87	2,97	5,10

* Significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

3.1.2 Teste de agrupamento de médias

Os valores das estimativas das médias de características relacionadas à qualidade fisiológica de sementes de milho-pipoca, avaliadas em 36 híbridos F_1 's, são apresentados nos Quadros 6 e 7, juntamente com seus

agrupamentos pelo teste Scott-Knott (1974) em nível de 5% de probabilidade. A discrepância entre os resultados provavelmente se deve ao princípio de cada teste utilizado, conforme ressaltado por Gomes et al. (2000). Porém, rotineiramente, esse fato é contornado pela utilização de menor número de testes na avaliação da qualidade fisiológica das sementes. Normalmente, em laboratórios de análise de sementes de milho, os mais utilizados são os testes de germinação, frio modificado e envelhecimento acelerado, os quais são mais padronizados para a cultura em questão.

A porcentagem de plântulas normais obtidas na primeira contagem (PC) e contagem final da germinação (GER) variou de 73,7 a 94,2% e 82,2 a 99%, respectivamente. No teste de PC, observou-se a formação de quatro grupos, nos quais os híbridos ZéliaxZaeli, CMS42xUEM-J1, CMS42xIAC-112, CMS43-1xUEM-J1, CMS43-2xUEM-J1, UEM-J1xZAELI e UEM-M2-1xZaeli apresentaram-se significativamente superiores aos demais. Segundo Nakagawa (1999), os resultados do teste de primeira contagem da germinação demonstram o vigor das sementes avaliadas, bem como revelam indicativos em relação à velocidade de germinação. Logo, os híbridos supracitados podem ser considerados mais vigorosos e suas sementes germinaram mais rapidamente em relação às demais.

Além dos híbridos que se destacaram no teste de PC, outros seis também apresentaram a maior porcentagem de plântulas normais no teste de GER, sendo eles: ZéliaxIAC-112, CMS42xCMS43-1, CMS42xUEM-M2-1, CMS42xZaeli, CMS 43-1xZaeli e UEM-J1xUEM-M2-2. Houve diferenças significativas entre os híbridos, no entanto, percebe-se que a maioria dos híbridos apresentou elevada germinação, acima de 90%, o que confere elevada qualidade às sementes.

Quadro 6 – Médias obtidas nos testes de primeira contagem (PC), contagem final da germinação (GER), envelhecimento acelerado (ENV), frio modificado (FRIO) e condutividade elétrica (COE), avaliadas em Maringá, PR.

Híbridos	Médias**				
	PC (%)	GER (%)	ENV (%)	FRIO (%)	COE ($\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$)
ZéliaxCMS42	75,2 d	93,2 b	82,5 b	90,0 b	18,0 a
ZéliaxCMS43-1	80,7 c	93,2 b	90,5 a	86,0 b	16,3 a
ZéliaxCMS43-2	82,5 c	94,0 b	92,5 a	86,5 b	12,4 c
ZéliaxUEM-J1	79,5 c	93,7 b	89,5 a	94,0 a	8,8 d
ZéliaxUEM-M2-1	68,2 e	91,2 b	81,5 b	75,5 d	14,3 b
ZéliaxUEM-M2-2	83,7 c	95,0 b	90,5 a	89,0 b	11,3 c
ZéliaxZaeli	94,0 a	99,0 a	87,0 a	92,0 a	14,0 b
ZéliaxIAC-112	88,0 b	97,2 a	89,5 a	90,0 b	12,0 c
CMS42xCMS43-1	83,2 c	96,5 a	83,5 b	88,0 b	14,9 b
CMS42xCMS43-2	78,7 c	94,7 b	90,5 a	90,0 b	15,0 c
CMS42xUEM-J1	90,2 a	97,0 a	89,5 a	92,0 a	10,5 d
CMS42xUEM-M2-1	73,7 d	97,5 a	91,5 a	89,0 b	13,5 b
CMS42xUEM-M2-2	76,7 d	94,0 b	78,0 b	83,5 c	15,1 b
CMS42xZaeli	85,5 b	98,2 a	87,0 a	96,0 a	16,0 a
CMS42xIAC-112	91,7 a	97,5 a	91,5 a	89,0 b	9,3 d
CMS43-1xCMS43-2	87,0 b	94,7 b	82,5 b	85,0 c	12,9 c
CMS43-1xUEM-J1	93,7 a	96,5 a	98,0 a	89,0 b	8,5 d
CMS43-1xUEM-M2-1	80,5 c	95,0 b	80,0 b	81,5 c	13,6 b
CMS43-1xUEM-M2-2	81,5 c	94,0 b	75,5 b	82,0 c	13,3 c
CMS43-1xZaeli	89,0 b	96,7 a	86,5 a	86,0 b	15,4 b
CMS 43-1xIAC-112	82,5 c	95,5 b	84,0 b	86,5 b	13,9 b
CMS 43-2xUEM-J1	92,2 a	95,0 b	86,5 a	82,5 c	11,9 c
CMS43-2xUEM-M2-1	77,5 d	85,7 d	80,5 b	72,0 d	15,3 b
CMS43-2xUEM-M2-2	81,2 c	89,0 c	88,0 a	72,5 d	15,6 a
CMS43-2xZaeli	78,7 c	83,5 d	86,0 a	80,0 c	18,4 a
CMS43-2xIAC-112	82,2 c	88,0 c	80,5 b	84,5 c	14,7 b
UEM-J1xUEM-M2-1	85,7 b	95,0 b	87,5 a	91,5 a	12,7 c
UEM-J1xUEM-M2-2	89,0 b	96,7 a	93,5 a	91,5 a	11,3 c
UEM-J1xZaeli	94,2 a	97,7 a	95,5 a	97,5 a	9,4 d
UEM-J1xIAC-112	81,2 c	86,0 d	85,5 a	80,5 c	12,1 c
UEM-M2-1xUEM-M2-2	82,7 c	91,5 b	80,0 b	83,5 c	17,0 a
UEM-M2-1xZaeli	90,7 a	94,7 b	86,5 a	83,0 c	16,5 a
UEM-M2-1xIAC-112	80,2 c	89,7 c	83,0 b	80,5 c	13,1 c
UEM-M2-2xZaeli	88,0 b	93,0 b	87,0 a	77,0 d	16,2 a
UEM-M2-2xIAC-112	81,2 c	88,2 c	83,5 b	86,5 b	16,2 a
ZaelixIAC-112	74,0 d	82,2 d	81,5 b	81,0 c	15,8 a
Média	83,5	93,4	86,3	85,7	11,8

**Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de agrupamento de Scott-Knott (1974), a 5% de probabilidade.

As médias de porcentagem de plântulas normais, nos testes de ENV e FRIO, variaram de 75,5 a 98% e 82,2 a 99%, respectivamente. Maiores diferenças significativas foram observadas no teste de FRIO, em que os híbridos ZéliaxUEM-J1, ZéliaxZaeli, CMS42xUEM-J1, CMS42xZaeli, UEM-J1xUEM-M2-1, UEM-J1xUEM-M2-2 e UEM-J1xZaeli foram significativamente superiores aos demais. Estes mesmos híbridos também estão entre os que apresentaram maior tolerância ao envelhecimento acelerado.

Segundo Marcos Filho (1999a), o teste de envelhecimento acelerado pode ser considerado um dos mais sensíveis para a avaliação do vigor das sementes, visto que considera o grau de deterioração das mesmas por meio da sua exposição a níveis muito adversos de temperatura e umidade. Em contrapartida, o teste de frio tem como princípio avaliar a qualidade fisiológica de sementes submetidas a fatores adversos de baixa temperatura e alta umidade do substrato (BARROS et al., 1999). Portanto, pode-se considerar que os híbridos que se destacaram nesses testes são considerados os mais vigorosos, podendo ser utilizados para a implantação de campos de sementes, mesmo quando expostos a condições adversas de ambiente. Em especial, nos casos em que as sementes deverão ficar armazenadas por período mais prolongado, as sementes dos híbridos que se destacaram no teste de ENV podem ser recomendadas, visto que mantêm por maior tempo a sua qualidade fisiológica.

Nos testes de PC, GER, ENV e FRIO, verificou-se que o híbrido ZéliaxZaeli está entre os que apresentaram a maior média. Este material deve merecer especial atenção, visto que, além de germinar em condições ideais, também apresentou bom desempenho, quando submetido a condições adversas de temperatura e umidade.

No teste de COE os valores obtidos referem-se à quantidade de lixiviados na solução de embebição das sementes, a qual está diretamente relacionada à integridade das membranas, que, por sua vez, indica o vigor das sementes. Quanto maior o valor de COE, menor o vigor das sementes (VIEIRA; KRZYZANOWSKI, 1999). Deste modo, pelos menores valores de COE, os híbridos ZéliaxUEM-J1, CMS42xUEM-J1, CMS42xIAC-112, CMS43-1xUEM-J1 e UEM-J1xZaeli foram os que se sobressaíram no referido teste.

No Quadro 7 se observou que, para o teste de EA, houve a formação de três grupos de médias, sendo que diversos materiais se destacaram e, apesar de haver diferenças significativas a 5% de probabilidade, a maioria dos híbridos apresentou emergência acima de 90%, o que é bom indicativo da qualidade fisiológica das sementes. Apenas os híbridos CMS43-2xUEM-M2-1, UEM-J1xIAC-112 e ZaelixIAC-112 apresentaram emergência abaixo de 90%, podendo ser considerados os de pior qualidade para o teste supracitado.

No que diz respeito à velocidade de emergência, segundo Edmond e Drapala (1958), quanto menor o valor obtido, tem-se lote de sementes com maior vigor, pois aquela estima a velocidade por meio dos dias médios gastos para estas emergirem. Deste modo, os híbridos ZéliaxZaeli, ZéliaxIAC-112, CMS42xCMS 43-1, CMS42xCMS43-2 e UEM-J1xUEM-M2-1 foram os que levaram menos tempo para emergirem, conferindo maior vigor de suas sementes. Tais híbridos também estão entre os que se destacaram, tanto no teste de EA como no IVE. Deve-se destacar que o IVE é diretamente proporcional ao vigor, visto que, quanto maior o valor obtido, subentende-se maior velocidade de emergência, pois o índice calculado estima o número médio de plântulas normais por dia (NAKAGAWA, 1999).

Nos testes de CPA houve a formação de oito grupos de médias. Neste teste apresentaram os maiores comprimentos os híbridos ZéliaxCMS43-2 e ZéliaxZaeli. Enquanto que para o teste de CRP formaram-se três grupos de médias, destacando-se como significativamente superiores aos demais os híbridos CMS43-2xIAC-112, UEM-J1xUEM-M2-2, UEM-J1xIAC-112 e UEM-M2-2xZaeli. Segundo Nakagawa (1999), as diferenças no comprimento das plântulas são bastante visíveis, todavia há a necessidade de valores numéricos para separar as vigorosas das que não o são. Desta forma, os híbridos que apresentaram médias significativamente superiores nos testes de comprimento provavelmente são os mais vigorosos.

No teste de biomassa seca (BS), apenas o híbrido ZéliaxUEM-J1 apresentou média significativamente superior às demais. Provavelmente, este material foi o que mais efetivamente conseguiu transferir a matéria seca dos tecidos de reserva para o eixo embrionário, conferindo maior massa de matéria seca e conseqüentemente maior vigor das plântulas.

Quadro 7 – Médias obtidas nos testes de emergência das plântulas em substrato de areia (EA), velocidade de emergência (VE), índice de velocidade de emergência (IVE), comprimento da parte aérea (CPA) e da raiz primária das plântulas (CRP) e biomassa seca das plântulas (BS), avaliadas em Maringá, PR.

Híbridos	Médias**					
	EA(%)	VE (dias)	IVE	CPA (cm)	CRP (cm)	BS (mg)
ZéliaxCMS42	96,5 a	5,3 c	9,2 a	22,3 b	22,3 b	41,2 f
ZéliaxCMS43-1	100,0 a	5,4 c	9,4 a	21,6 b	21,2 c	46,0 d
ZéliaxCMS43-2	97,5 a	5,3 c	9,3 a	23,8 a	21,2 c	45,4 d
ZéliaxUEM-J1	97,5 a	5,3 c	9,3 a	20,1d	21,5 c	58,0 a
ZéliaxUEM-M2-1	97,5 a	5,7 a	8,7 b	20,9 c	21,5 c	48,8 c
ZéliaxUEM-M2-2	98,0 a	5,5 b	9,0 a	20,0 d	21,3 c	49,4 c
ZéliaxZaeli	99,0 a	5,2 d	9,6 a	24,7 a	21,2 c	39,4 f
ZéliaxIAC-112	98,0 a	5,1 d	9,6 a	21,1 c	22,0 c	46,6 d
CMS42xCMS43-1	98,0 a	5,1 d	9,6 a	20,9 c	22,4 b	48,8 c
CMS42xCMS43-2	97,5 a	5,2 d	9,4 a	22,6 b	21,4 c	46,4 d
CMS42xUEM-J1	98,0 a	5,4 c	9,3 a	18,8 d	21,5 c	54,2 b
CMS42xUEM-M2-1	97,0 a	5,7 a	8,6 b	21,2 c	21,6 c	49,0 c
CMS42xUEM-M2-2	97,0 a	5,5 b	9,0 a	20,0 d	21,7 c	44,2 e
CMS42xZaeli	99,5 a	5,4 c	9,3 a	22,6 b	21,1 c	43,2 e
CMS42xIAC-112	99,5 a	5,3 c	9,5 a	22,2 b	22,3 b	52,6 b
CMS43-1xCMS43-2	96,0 a	5,5 b	8,8 b	16,2 f	21,3 c	46,6 d
CMS43-1xUEM-J1	97,0 a	5,6 a	8,8 b	13,5 h	21,3 c	51,2 c
CMS43-1xUEM-M2-1	99,0 a	5,5 b	9,1 a	16,5 f	20,5 c	48,2 c
CMS43-1xUEM-M2-2	95,5 a	5,6 a	8,6 b	16,3 f	21,4 c	44,2 e
CMS43-1xZaeli	99,5 a	5,5 b	9,1 a	19,4 d	21,6 c	46,4 d
CMS 43-1xIAC-112	95,5 a	5,5 b	8,8 b	20,6 c	21,9 c	47,2 d
CMS 43-2xUEM-J1	89,0 b	5,4 b	8,3 c	15,5 g	22,0 c	45,6 d
CMS43-2xUEM-M2-1	87,0 c	5,6 a	7,9 c	17,9 e	21,4 c	48,2 c
CMS43-2xUEM-M2-2	90,0 b	5,5 b	8,3 c	17,4 e	22,2 b	43,2 e
CMS43-2xZaeli	91,0 b	5,5 b	8,3 c	21,7 b	22,7 b	45,2 d
CMS43-2xIAC-112	90,0 b	5,7 a	8,1 c	19,7 d	23,6 a	48,4 c
UEM-J1xUEM-M2-1	97,0 a	5,2 d	9,4 a	14,7 g	22,2 b	50,6 c
UEM-J1xUEM-M2-2	99,0 a	5,5 b	9,1 a	14,2 h	23,3 a	52,4 b
UEM-J1xZaeli	99,0 a	5,3 c	9,4 a	20,6 c	22,0 c	48,4 c
UEM-J1xIAC-112	88,0 c	5,4 b	8,2 c	18,4 e	23,0 a	51,2 c
UEM-M2-1xUEM-M2-2	94,5 a	5,7 a	8,3 c	16,0 f	21,5 c	47,6 c
UEM-M2-1xZaeli	96,5 a	5,6 a	8,7 b	19,5 d	21,9 c	44,4 e
UEM-M2-1xIAC-112	93,0 b	5,4 b	8,7 b	19,1 d	22,4 b	50,4 c
UEM-M2-2xZaeli	94,0 a	5,3 c	8,8 b	20,3 c	23,9 a	43,4 e
UEM-M2-2xIAC-112	92,5 b	5,3 c	8,8 b	17,5 e	22,6 b	44,4 e
ZaelixIAC-112	84,5 c	5,4 b	7,9 c	21,3 c	21,5 c	43,6 e
Média	95,5	5,4	8,9	19,4	21,9	47,3

** Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de agrupamento de Scott-Knott (1974), a 5% de probabilidade.

O híbrido ZéliaxZaeli destacou-se na maioria dos testes, com exceção dos testes de COE, CRP e BS. Os híbridos ZéliaxUEM-J1, UEM-J1xZaeli e CMS42xUEM-J1 se sobressaíram em sete dos testes avaliados. Tais híbridos podem ser indicados para serem cultivados de forma imediata, como F₁'s, por empresas e produtores de sementes, com bons resultados de vigor e germinação.

3.1.3 Análise da capacidade combinatória

Os efeitos da capacidade geral (CGC) e específica (CEC) de combinação foram significativos ($p < 0,01$), para todos os testes (Quadros 8, 9 e 10). Gomes et al. (2000) e Antuna et al. (2003) também observaram diferenças significativas em testes de qualidade fisiológica de sementes de milho. A significância para CGC e a CEC indicam a existência de variabilidade entre os efeitos da CGC ($\hat{g}_i$), associados a efeitos gênicos aditivos, e entre CEC ($\hat{s}_{ij}$), associados a efeitos gênicos não-aditivos.

Quadro 8 – Análise de variância para primeira contagem (PC) e contagem final da germinação (GER), para um dialelo que envolve híbridos F₁'s de nove genitores de milho-pipoca.

Fontes de variação	GL	Quadrados médios	
		PC (%)	GER (%)
CGC	8	512,64*	284,77*
CEC	27	255,58*	102,47*
Resíduo	252	20,52	11,83
Médias dos quadrados dos efeitos fixos			
CGC		8,79	4,87
CEC		29,38	11,33

* Significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

Quadro 9 – Análise de variância para os testes de envelhecimento acelerado (ENV), frio modificado (FRIO), condutividade elétrica (COE), emergência das plântulas em substrato de areia (EA), velocidade de emergência (VE) e índice de velocidade de emergência (IVE), para um dialelo que envolve híbridos F₁'s de nove genitores de milho-pipoca.

Fontes de variação	GL	Quadrados médios					
		ENV (%)	FRIO (%)	COE $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$	EA (%)	VE (dias)	IVE
CGC	8	164,50*	344,05*	63,84*	161,28*	0,19*	2,39*
CEC	27	83,88*	87,40*	14,83*	35,25*	0,09*	0,61*
Resíduo	108	24,10	21,23	2,63	8,09	0,01	0,10
Médias dos quadrados dos efeitos fixos							
CGC		5,01	11,53	2,19	5,47	0,006	0,08
CEC		14,94	16,54	3,05	6,79	0,020	0,13

* Significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

Quadro 10 – Análise de variância para os testes de comprimento da parte aérea (CPA) e da raiz primária das plântulas (CRP) e biomassa seca das plântulas (BS), para um dialelo que envolve híbridos F₁'s de nove genitores de milho-pipoca.

Fontes de variação	GL	Quadrados médios		
		CPA (cm)	CRP (cm)	BS (mg)
CGC	8	142,85*	4,91*	179,05*
CEC	27	6,34*	2,06*	38,87*
Resíduo	144	0,56	0,42	5,81
Médias dos quadrados dos efeitos fixos				
CGC		4,06	0,13	4,95
CEC		1,16	0,33	6,61

* Significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

A existência de variabilidade entre os genótipos, pela ação aditiva e a não-aditiva, para as características, revela a possibilidade de obtenção de novas variedades ou híbridos oriundos de cruzamentos entre os genitores.

A variância aditiva, no controle gênico das características, é indicativa de maior facilidade na seleção de genótipos, obtidos por meio da combinação de genitores superiores. Já a variância dos efeitos não-aditivos indica a viabilidade do uso “per se” de combinações híbridas, entre os genitores avaliados.

Os componentes quadráticos associados à CEC apresentaram maiores magnitudes do que aqueles associados à CGC para todos os testes avaliados, com exceção do teste de comprimento da parte aérea das plântulas (CPA), evidenciando a maior importância dos efeitos não-aditivos. Nesse caso, o melhoramento envolvendo hibridações, por meio do aproveitamento da heterose, poderá fornecer ganhos superiores. Esses resultados corroboram aqueles obtidos por Gomes et al. (2000), que observaram maiores magnitudes para os genes de efeito dominante, ao estudarem a capacidade de combinação de linhagens de milho tropical para qualidade fisiológica, utilizando praticamente os mesmos testes do presente estudo, e também com os resultados obtidos por McConnel e Gardner (1979), para emergência e crescimento das plântulas no campo.

No entanto esses resultados são contrários àqueles obtidos por Barla-Szabo et al. (1989), em que a herança do vigor de sementes ocorreu em virtude principalmente dos genes de efeito aditivo. Odiemah (1989) investigou a determinação genética de caracteres relacionados à qualidade fisiológica de sementes e verificou maior importância dos genes de efeito aditivo em detrimento aos de efeito não-aditivo. Antuna et al. (2003) também verificaram que os efeitos aditivos foram proporcionalmente de maior importância na expressão da qualidade fisiológica de sementes de milho.

Considerando-se a germinação e o vigor avaliados por meio dos testes utilizados no presente estudo, como características desejáveis para o melhoramento da cultura, infere-se que é possível a obtenção de ganhos para tais caracteres, com a utilização de índices de seleção para identificação de progênes superiores oriundas de cruzamentos entre as linhagens.

3.1.4 Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC)

Nos Quadros 11 e 12 estão as estimativas dos efeitos de CGC, para cada linhagem, e os desvios-padrão dos efeitos de duas linhagens genitoras. Adotou-se como critério considerar a existência de diferença entre dois genitores quaisquer, quando essa diferença ultrapassar o valor de dois desvios-padrão, sendo essa diferença chamada de amplitude de variação.

As estimativas dos $\hat{g}_{i's}$ (Quadros 11) variaram entre as linhagens e entre os testes empregados, corroborando os resultados encontrados por Gomes et al. (2000). De acordo com o autores, esse fato pode ser explicado pela diferença do princípio dos testes utilizados, fazendo com que as linhagens se comportassem de maneira diferente frente aos testes.

Altas estimativas de $\hat{g}_i$, em valores absolutos, ocorrem, em geral, para os genótipos cujas frequências de alelos favoráveis são consistentemente maiores ou menores que a frequência média dos alelos favoráveis em todos os genótipos testados. Assim, esses valores constituem indicação de genes que são predominantemente aditivos em seus efeitos (SPRAGUE; TATUM, 1942).

O baixo valor de $\hat{g}_i$ indica que a média dos híbridos em que a linhagem *i* participa não difere da média geral do dialelo. O alto valor, positivo ou negativo, obtido para as linhagens UEM-J1 e UEM-M2-1, respectivamente, no teste de primeira contagem de germinação (PC), indica que a linhagem UEM-J1 é superior e a UEM-M2-1 é inferior às demais linhagens incluídas no dialelo, em relação à média de seus híbridos para o referido teste. Segundo Cruz e Vencovsky (1989), apresentará maior $\hat{g}_i$ a linhagem que possuir maiores frequências de alelos favoráveis para a característica em questão. Dessa forma, as linhagens UEM-J1 e UEM-M2-1 foram as que mais contribuíram, respectivamente, para aumentar e reduzir a porcentagem de plântulas normais obtidas no teste de PC. As linhagens Zaeli e CMS43-1, com amplitudes de variação de 9,12 e 6,46 vezes o desvio-padrão, respectivamente, também se destacaram por apresentar valores de $\hat{g}_{i's}$ positivos na primeira contagem da germinação. De acordo com Nakagawa (1999), o lote cuja amostra apresentar maior porcentagem de plântulas normais (germinação) na primeira contagem é o mais vigoroso.

Quadro 11 – Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação ($\hat{g}_i$) e desvio-padrão (DP) de nove linhagens de milho-pipoca, para cinco caracteres* relacionados à qualidade fisiológica das sementes.

Linhagens genitoras	PC (%)	GER (%)	ENV (%)	FRIO (%)	COE $\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$
Zélia	-2,27	1,41	1,88	2,51	-0,41
CMS42	-1,80	3,12	0,52	4,58	0,33
CMS43-1	1,48	2,19	-1,40	-0,21	-0,18
CMS43-2	-1,09	-3,16	-0,47	-4,63	0,89
UEM-J1	5,44	1,55	5,02	4,72	-3,57
UEM-M2-1	-4,05	-0,91	-2,83	-4,13	0,86
UEM-M2-2	-0,52	-0,77	-2,05	-2,85	0,84
Zaeli	3,76	-0,23	0,95	1,00	1,67
IAC-112	-0,95	-3,20	-1,62	-0,99	-0,43
DP ($\hat{g}_i$)	0,571	0,433	0,875	0,821	0,289
DP ($\hat{g}_i - \hat{g}_j$)	0,856	0,650	1,312	1,231	0,433

* PC: Primeira contagem; GER: Contagem final da germinação; ENV: Envelhecimento acelerado; FRIO: Frio modificado; COE: Condutividade elétrica.

No teste de GER, a amplitude de variação foi de 9,72 vezes o desvio-padrão. O genitor CMS42 seguido pelos CMS43-1 e UEM-J1 apresentaram maiores estimativas dos efeitos de CGC, para a porcentagem de germinação (GER) das sementes.

As estimativas dos efeitos de CGC (Quadros 11 e 12) para os testes de envelhecimento acelerado (ENV), frio modificado (FRIO), condutividade elétrica (COE) e biomassa seca das plântulas (BS) apresentaram amplitudes de 5,98, 7,60, 12,10 e 14,27 vezes o desvio-padrão, respectivamente, indicando que há diferenças entre os efeitos de CGC das linhagens. A linhagem UEM-J1 destacou-se por apresentar as maiores estimativas para os testes de ENV, FRIO e BS e menor estimativa para COE. Nota-se, portanto, que, na avaliação do vigor das sementes por meio dos testes de ENV e FRIO, a linhagem UEM-J1 se sobressaiu, colaborando para maior tolerância a condições adversas de

temperatura e umidade. A menor estimativa de $\hat{g}_i$ observada na linhagem UEM-J1 para o teste de COE indica tal genitor como material superior em função do menor grau de deterioração em que as sementes se encontram e, conseqüentemente, maior vigor das mesmas.

A linhagem UEM-M2-1 foi a que mais contribui para a redução na porcentagem de plântulas normais nos testes de PC e ENV. As linhagens IAC-112 e CMS43-2 contribuíram para reduzir a porcentagem de plântulas normais nos testes de GER e FRIO, respectivamente. Dessa forma, tais linhagens influenciaram negativamente a germinação e o vigor das sementes avaliadas, sendo inferior às demais linhagens incluídas no dialelo em relação à média de seus híbridos, dependendo do teste.

Nos testes de emergência em areia (EA), velocidade de emergência (VE), índice de velocidade (IVE) e comprimento da parte aérea das plântulas (CPA), as amplitudes foram de 8,08, 8,89, 9,41 e 30,73 vezes o desvio-padrão, respectivamente (Quadro 12).

A maior amplitude de variação foi observada no teste de CPA, ou seja, maior variabilidade para os efeitos da CGC.

As linhagens Zélia e CMS42 apresentaram as maiores estimativas dos $\hat{g}_{i's}$ para os testes de EA, IVE e CPA. No teste de VE, as mesmas linhagens se destacaram por apresentar as menores estimativas, contribuindo, assim, para a redução no período de emergência das plântulas.

A amplitude de variação para o teste de comprimento da raiz primária das plântulas (CRP) foi de 5,74. Para esse teste, as linhagens UEM-M2-2 e CMS43-1 foram as que apresentaram o maior e menor $\hat{g}_i$, respectivamente.

Analisando-se conjuntamente os resultados, verificou-se que a linhagem UEM-J1 destacou-se por apresentar altas estimativas para os testes de PC, ENV, FRIO, COE e BS. Nos demais testes, as estimativas, quando não foram favoráveis, apresentaram baixa magnitude.

As linhagens Zélia e CMS42 também foram favoráveis à qualidade fisiológica das sementes de milho-pipoca, apresentando elevados $\hat{g}_{i's}$ positivos para os testes de GER, FRIO, EA, IVE, CPA e negativos para VE.

No presente trabalho as linhagens Zélia, CMS42 e UEM-J1 parecem ser promissoras para a obtenção de híbridos com sementes de qualidade fisiológica superior.

Quadro 12 – Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação ($\hat{g}_i$) e desvio-padrão (DP) de nove linhagens de milho-pipoca, para seis caracteres* relacionados à qualidade fisiológica das sementes.

Linhagens genitoras	EA (%)	VE (dias)	IVE	CPA (cm)	CRP (cm)	BS (mg)
Zélia	2,85	-0,10	0,42	2,72	-0,43	-0,55
CMS42	2,71	-0,10	0,41	2,20	-0,11	0,13
CMS43-1	2,36	0,04	0,16	-1,48	-0,51	-0,01
CMS43-2	-3,71	0,05	-0,38	-0,07	0,08	-1,38
UEM-J1	0,07	-0,03	0,07	-2,78	0,22	4,70
UEM-M2-1	-0,36	0,14	-0,26	-1,36	-0,31	1,22
UEM-M2-2	-0,50	0,07	-0,18	-1,97	0,38	-1,41
Zaeli	-0,14	-0,02	-0,00	2,07	0,09	-3,52
IAC-112	-3,28	-0,05	-0,24	0,67	0,59	0,82
DP ($\hat{g}_i$)	0,507	0,018	0,057	0,119	0,103	0,384
DP ($\hat{g}_i - \hat{g}_j$)	0,760	0,027	0,085	0,179	0,155	0,576

* EA: Emergência das plântulas em substrato de areia; VE: Velocidade de emergência; IVE: Índice de velocidade de emergência (IVE); CPA: Comprimento da parte aérea; CRP: Comprimento da raiz primária das plântulas; BS: biomassa seca das plântulas.

3.1.5 Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (CEC)

As estimativas dos efeitos da CEC ($\hat{s}_{ij}$) e os desvios-padrão referentes aos 36 híbridos simples de milho-pipoca estão apresentados nos Quadros 13 e 14. Os baixos valores de $\hat{s}_{ij}$ indicam que os híbridos avaliados comportam-se com base na sua capacidade de combinação (CRUZ et al., 2004).

Os altos valores (positivos ou negativos) de $\hat{s}_{ij}$ indicam que o comportamento de um cruzamento particular é relativamente melhor ou pior do que o esperado, com base na capacidade geral de combinação das linhagens envolvidas. Segundo Vencovsky e Barriga (1992), os maiores valores são para as linhagens mais divergentes nas frequências dos genes com dominância, embora sejam também influenciados pela frequência gênica média do dialelo.

Valores de $\hat{s}_{ij}$ próximos de zero indicam que a linhagem genitora difere um pouco da frequência média dos alelos favoráveis, de todas as linhagens genitoras envolvidas, enquanto que valores de $\hat{s}_{ij}$ afastados de zero indicam que maior é a divergência do genitor, em relação à frequência média dos alelos favoráveis, de todas as linhagens genitoras envolvidas (CRUZ et al., 2004).

As discussões serão voltadas para as combinações híbridas com estimativas da capacidade específica de combinação mais altas, que envolverem pelo menos uma das linhagens genitoras que tenha apresentado o efeito mais favorável da capacidade geral de combinação (CRUZ et al., 2004).

No teste de PC, dentre as combinações que apresentaram valores positivos para CEC, observa-se que as mais promissoras, em ordem decrescente, foram: ZéliaxZaeli, UEM-M2-1xZaeli, CMS43-2xUEM-J1, CMS43-1xUEM-J1, CMS43-1xCMS43-2 e CMS42xUEM-J1, em que há pelo menos um genitor com valor de $\hat{g}_i$ elevado (Quadro 15). A amplitude de variação foi de 10,17 desvios-padrão entre os híbridos ZéliaxZaeli e ZaelixIAC-112, que apresentaram, respectivamente, maior estimativa positiva e negativa, evidenciando a diferença entre os efeitos da CEC dos híbridos. Entre as genitoras desses híbridos, pode ser visualizado que dois deles possuem a Zaeli, dois possuem a CMS43-2 e mais três híbridos possuem a UEM-J1 como genitoras em comum.

No teste de GER, foi verificada uma amplitude de variação de 8,39 vezes o desvio-padrão, destacando-se os híbridos ZéliaxIAC-112, ZéliaxZaeli, CMS42xIAC-112 e CMS43-2xUEM-J1, visto que pelo menos um dos genitores teve valor positivo e elevado para $\hat{g}_i$. Isso demonstra que o efeito desejável de acumulação gênica dos genitores Zélia, CMS42, UEM-J1 e Zaeli traduziu-se em efeito satisfatório de complementação gênica nas combinações.

Quadro 13 – Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação ($\hat{s}_{ij}$) e desvio-padrão (DP) para cinco caracteres* relacionados à qualidade fisiológica das sementes.

Híbridos	PC (%)	GER (%)	ENV (%)	FRIO (%)	COE ($\mu\text{S cm}^{-1}\text{g}^{-1}$)
ZéliaxCMS42	-4,16	-4,64	-6,19	-2,77	4,34
ZéliaxCMS43-1	-1,95	-3,71	3,73	-1,98	3,13
ZéliaxCMS43-2	2,37	2,39	4,80	2,95	-1,81
ZéliaxUEM-J1	-7,16	-2,57	-3,70	1,09	-0,96
ZéliaxUEM-M2-1	-8,91	-2,61	-3,84	-8,55	0,13
ZéliaxUEM-M2-2	3,05	1,00	4,37	3,66	-2,87
ZéliaxZaeli	9,02	4,46	-2,12	2,80	-0,99
ZéliaxIAC-112	7,73	5,68	2,95	2,80	-0,97
CMS42xCMS43-1	0,09	-2,18	-1,91	-2,05	0,97
CMS42xCMS43-2	-1,84	1,43	4,16	4,37	0,05
CMS42xUEM-J1	3,12	-1,03	-2,34	-2,98	-0,03
CMS42xUEM-M2-1	-3,87	1,93	7,52	2,87	-1,42
CMS42xUEM-M2-2	-4,41	-1,71	-6,77	-3,91	0,14
CMS42xZaeli	0,05	2,00	-0,77	4,73	0,29
CMS42xIAC-112	11,02	4,21	6,30	-0,26	-4,33
CMS43-1xCMS43-2	3,12	2,36	-1,91	4,16	-1,56
CMS43-1xUEM-J1	3,34	-0,61	8,09	-1,20	-1,55
CMS43-1xUEM-M2-1	-0,41	0,36	-2,05	0,16	-0,83
CMS43-1xUEM-M2-2	-2,95	-0,78	-7,34	-0,62	-1,15
CMS43-1xZaeli	0,27	1,43	0,66	-0,48	0,20
CMS 43-1xIAC-112	-1,52	3,14	0,73	2,02	0,80
CMS 43-2xUEM-J1	4,41	3,25	-4,34	-3,27	0,80
CMS43-2xUEM-M2-1	-0,84	-3,53	-2,48	-4,91	-0,21
CMS43-2xUEM-M2-2	-0,62	-0,43	4,23	-5,70	0,13
CMS43-2xZaeli	-7,41	-6,46	-0,77	-2,05	2,08
CMS43-2xIAC-112	0,80	1,00	-3,70	4,45	0,52
UEM-J1xUEM-M2-1	0,87	1,00	-0,98	5,23	1,61
UEM-J1xUEM-M2-2	0,59	2,61	4,23	3,95	0,31
UEM-J1xZaeli	1,55	3,07	3,23	6,09	-2,49
UEM-J1xIAC-112	-6,73	-5,71	-4,20	-8,91	2,31
UEM-M2-1xUEM-M2-2	3,84	-0,18	-1,41	4,80	1,54
UEM-M2-1xZaeli	7,55	2,53	2,09	0,45	0,26
UEM-M2-1xIAC-112	1,77	0,50	1,16	-0,05	-1,08
UEM-M2-2xZaeli	1,27	0,64	1,80	-6,84	-0,10
UEM-M2-2xIAC-112	-0,77	-1,14	0,87	4,66	1,99
ZaelixIAC-112	-12,30	-7,68	-4,12	-4,70	0,75
DP ($\hat{s}_{ij}$)	1,387	1,053	2,126	1,995	0,702
DP ($\hat{s}_{ij} - \hat{s}_{ik}$)	2,097	1,592	3,214	3,016	1,062
DP ($\hat{s}_{ij} - \hat{s}_{kl}$)	1,914	1,453	2,934	2,754	0,969

* PC: Primeira contagem; GER: Contagem final da germinação; ENV: Envelhecimento acelerado; FRIO: Frio modificado; COE: Condutividade elétrica.

Nos testes de ENV e FRIO, foram verificadas pequenas amplitudes de variação de 4,80 e 4,97 vezes o desvio-padrão, respectivamente. Os híbridos CMS43-1xUEM-J1; CMS42xUEM-M2-1; CMS42xIAC-112 e UEM-J1xZaeli; UEM-J1xUEM-M2-1; CMS42xZaeli foram os que apresentaram a maior $\hat{s}_{ij}$ para o ENV e FRIO, respectivamente. Dentre as genitoras dos híbridos supracitados, nota-se que três deles possuem a UEM-J1, três possuem a CMS42, dois possuem a UEM-M2-1 e mais dois possuem a Zaeli como linhagem genitora em comum.

Os híbridos CMS42xIAC-112, ZéliaxUEM-M2-2 e UEM-J1xZaeli apresentaram o menor $\hat{s}_{ij}$ para COE, com amplitude de variação de 8,16 vezes o desvio-padrão. Para os testes de COE, quanto menor a condutividade, melhor estruturado será o sistema de membranas, pois a lixiviação de solutos para o meio será menor (VIEIRA; KRZYZANOWSKI, 1999).

Quanto ao teste de EA (Quadro 14) as melhores combinações foram CMS42xIAC-112, UEM-J1xUEM-M2-2 e UEM-J1xZaeli. Dois destes híbridos têm a linhagem UEM-J1 como genitora e, também, dois deles são os que se destacaram no teste de COE. No teste de EA foi verificada amplitude de 6,52 vezes o desvio-padrão entre os híbridos CMS42xIAC-112 e ZaelixIAC-112, com maior e menor estimativa, respectivamente.

O teste de VE se refere ao número de dias para as sementes emergirem; desta forma, quanto menor esse valor, maior a velocidade e consequentemente, maior o vigor (NAKAGAWA, 1999). A velocidade de emergência é importante do ponto de vista prático no sentido de permitir em condições de campo maior uniformidade no estabelecimento das culturas. No teste de VE, a amplitude de variação foi de 8,77 vezes o desvio-padrão. As combinações UEM-J1xUEM-M2-1, CMS42xCMS43-1 e ZéliaxIAC-112 foram as que permitiram as menores estimativas para $\hat{s}_{ij}$. Em dois dos três híbridos que obtiveram maior efeito de $\hat{s}_{ij}$, a linhagem UEM-M2-1 foi umas das genitoras. O híbrido UEM-J1xUEM-M2-1 destacou-se também pela melhor estimativa para o teste de IVE (amplitude de variação 6,98 vezes o desvio-padrão).

Quadro 14 – Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação ($\hat{s}_{ij}$) e desvio-padrão (DP), para seis caracteres* relacionados à qualidade fisiológica das sementes.

Híbridos	EA (%)	VE (dias)	IVE	CPA (cm)	CRP (cm)	BS (mg)
ZéliaxCMS42	-4,57	0,05	-0,50	-1,99	0,95	-5,71
ZéliaxCMS43-1	-0,71	0,03	-0,11	0,98	0,28	-0,77
ZéliaxCMS43-2	2,86	-0,06	0,36	1,77	-0,37	0,00
ZéliaxUEM-J1	-0,936	0,00	-0,12	0,71	-0,17	6,51
ZéliaxUEM-M2-1	-0,50	0,21	-0,38	0,10	0,34	0,80
ZéliaxUEM-M2-2	0,14	0,12	-0,16	-0,18	-0,59	4,03
ZéliaxZaeli	0,78	-0,14	0,33	0,26	-0,39	-3,86
ZéliaxIAC-112	2,93	-0,20	0,58	-1,66	-0,05	-1,00
CMS42xCMS43-1	-2,57	-0,28	0,19	0,74	1,13	1,34
CMS42xCMS43-2	3,00	-0,18	0,52	1,09	-0,44	0,31
CMS42xUEM-J1	-0,28	0,06	-0,11	0,01	-0,50	2,03
CMS42xUEM-M2-1	-0,86	0,20	-0,44	0,92	0,15	0,31
CMS42xUEM-M2-2	-0,71	0,08	-0,10	0,34	-0,46	-1,86
CMS42xZaeli	1,43	0,07	0,05	-1,08	-0,77	-0,74
CMS42xIAC-112	4,57	0,01	0,40	-0,04	-0,05	4,31
CMS43-1xCMS43-2	1,86	-0,00	0,13	-1,63	-0,15	0,66
CMS43-1xUEM-J1	-0,93	0,17	-0,33	-1,67	-0,35	-0,83
CMS43-1xUEM-M2-1	1,50	-0,10	0,31	-0,07	-0,61	-0,34
CMS43-1xUEM-M2-2	-1,86	0,06	-0,25	0,30	-0,35	-1,71
CMS43-1xZaeli	1,78	0,09	0,03	-0,64	0,09	2,60
CMS 43-1xIAC-112	0,93	0,04	0,03	1,98	-0,04	-0,94
CMS 43-2xUEM-J1	-2,86	0,01	-0,27	-1,10	-0,20	-5,06
CMS43-2xUEM-M2-1	-4,43	-0,01	-0,36	-0,09	-0,24	1,03
CMS43-2xUEM-M2-2	-1,28	-0,07	0,00	0,02	-0,20	-1,34
CMS43-2xZaeli	-0,64	0,07	-0,17	0,27	0,60	2,77
CMS43-2xIAC-112	1,50	0,24	-0,21	-0,35	1,00	1,63
UEM-J1xUEM-M2-1	1,78	-0,33	0,67	-0,53	0,39	-2,66
UEM-J1xUEM-M2-2	3,93	0,01	0,34	-0,45	0,78	1,77
UEM-J1xZaeli	3,57	-0,03	0,39	1,91	-0,22	-0,11
UEM-J1xIAC-112	-4,28	0,10	-0,58	1,11	0,28	-1,66
UEM-M2-1xUEM-M2-2	-0,14	0,10	-0,17	-0,12	-0,42	0,46
UEM-M2-1xZaeli	1,50	0,04	0,09	-0,64	0,20	-0,63
UEM-M2-1xIAC-112	1,14	-0,10	0,28	0,42	0,18	1,03
UEM-M2-2xZaeli	-0,86	-0,15	0,06	0,75	1,52	1,00
UEM-M2-2xIAC-112	0,78	-0,15	0,28	-0,65	-0,27	-2,34
ZaelixIAC-112	-7,57	0,06	-0,79	-0,82	-1,05	-1,03
DP ($\hat{s}_{ij}$)	1,232	0,043	0,138	0,290	0,251	0,933
DP ($\hat{s}_{ij} - \hat{s}_{jk}$)	1,862	0,065	0,209	0,438	0,379	1,411
DP ($\hat{s}_{ij} - \hat{s}_{kl}$)	1,700	0,060	0,138	0,400	0,346	1,288

* EA: Emergência das plântulas em substrato de areia; VE: Velocidade de emergência; IVE: Índice de velocidade de emergência; CPA: Comprimento da parte aérea; CRP: Comprimento da raiz primária das plântulas; BS: biomassa seca das plântulas.

A amplitude de variação foi de 9,06 para CPA. Os híbridos CMS43-1xIAC-112, UEM-J1xZaeli e ZéliaxCMS43-2 apresentaram as maiores estimativas $\hat{s}_{ij}$. Para CRP, os híbridos UEM-M2-2xZaeli e CMS 43-2xIAC-112 apresentaram as maiores estimativas. Foi encontrada neste teste uma amplitude de variação de 6,78 vezes o desvio-padrão.

Os dois híbridos que apresentaram maiores magnitudes de $\hat{s}_{ij}$ para a característica BS foram, em ordem decrescente, ZéliaxUEM-J1 e CMS42xIAC-112, ao passo que a amplitude de variação foi de 8,66 desvios-padrão. Sementes vigorosas originam plântulas com maior taxa de crescimento, em função da maior capacidade de transformação e suprimento de reservas dos tecidos e de armazenamento e da incorporação destes pelo eixo embrionário (NAKAGAWA, 1999). O teste de biomassa se baseia no princípio da transferência de matéria seca dos tecidos de reserva para o eixo embrionário. Assim, os híbridos que se destacaram para tais características são promissores para elevar o vigor das sementes.

O híbrido ZaelixIAC-112 apresentou baixas estimativas para os efeitos da capacidade específica de combinação em todos os testes, principalmente nos testes PC, GER, EA e CRP. Por outro lado, o híbrido CMS42xIAC-112 destacou-se por apresentar as melhores estimativas no testes de COE e EA e pelo seu bom desempenho nos testes de GER, ENV, IVE e BS. Destacaram-se, também, os híbridos ZéliaxIAC-112, ZéliaxZaeli e UEM-J1xZaeli, pelos seus desempenhos nos testes de GER, PC, FRIO, respectivamente. Os resultados obtidos estão de acordo com os encontrados por Gomes et al. (2000), os quais observaram maiores magnitudes para os genes de efeito dominante ao estudar o padrão de herança para características relacionadas à qualidade fisiológica de sementes de milho. Da mesma maneira, Cervantes-Ortiz et al. (2007) também verificaram efeito dominante para herança do vigor de plântulas. Isso demonstra que a busca por combinações híbridas superiores, como o híbrido CMS42xIAC-112, concretiza-se na melhor estratégia de melhoramento para tais testes.

3.2 Capacidade de expansão e características agronômicas

3.2.1 Análise de variância conjunta

A análise de variância conjunta (Quadros 15 e 16) revelou que apenas NPA não apresentou significância para tratamentos, enquanto as demais características apresentaram significância em 1% e 5% pelo teste F.

Os coeficientes de variação (cv's) obtidos na análise conjunta foram considerados médios para as características de maior importância, rendimento de grãos (18,38%) e capacidade de expansão (17,70%), de acordo com a classificação proposta por Scapim et al. (1995).

Quadro 15 – Quadrados médios da altura de plantas (AP), altura de espigas (AE), do estande final (SF), número de espigas (NE) e número de plantas acamadas (NPA), de 36 híbridos simples de milho-pipoca, nas safras 2008/2009 e 2009 em Maringá, PR.

Fontes de variação	GL	Quadrados médios ^{1/}				
		AP	AE	SF	NE	NPA
Tratamentos (T)	35	897,69*	535,76*	9,59**	45,26*	1,76 ^{ns}
Safras (S)	1	78064,94*	27517,35*	1098,00 *	4125,63*	7,78**
T x S	35	147,93*	90,66**	7,30 ^{ns}	10,10 ^{ns}	1,75 ^{ns}
Resíduo ef. Médio	110	79,95	57,61	6,21	12,27	1,27
Média	-	204,37	112,98	22,01	21,30	0,60
CV (%)	-	4,42	6,80	11,46	17,32	195,30

* Significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

** Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

^{ns} Não-significativo.

Quadro 16 – Quadrados médios do número de plantas quebradas (NPQ), número de plantas mal empalhadas (NEME), rendimento de grãos (RG) e da capacidade de expansão (CE), de 36 híbridos simples de milho-pipoca, nas safras 2008/2009 e 2009 em Maringá, PR.

Fontes de variação	GL	Quadrados médios ^{1/}			
		NPQ	NEME	RG	CE
Tratamentos (T)	35	32,53*	2,42*	3371529,55*	114,26*
Safras (S)	1	177,85*	48,17*	709588494,12*	3211,29 *
T x S	35	15,47*	1,83**	540274,38*	39,09*
Resíduo ef. Médio	110	5,52	1,10	286119,71	6,04
Média	-	3,97	1,08	3406,11	18,96
CV (%)	-	60,62	110,92	18,38	13,70

* Significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

** Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

^{ns} Não-significativo.

A fonte de variação Safra revelou significância para todas as características avaliadas, demonstrando que houve diferença significativa entre os ambientes para as características em estudo.

Por meio dos Quadros 15 e 16 se observaram diferenças significativas para as características AP, AE, NPQ, NEME, RG e CE quanto à fonte de variação Tratamentos x Safra, revelando que houve comportamento diferenciado do grupo de genótipos nas safras avaliadas. Esse resultado é frequente em estudos similares, pois a base genética estreita dos híbridos simples permite resposta mais diferenciada de acordo com os locais do que no caso de híbridos duplos ou materiais de base genética mais ampla (TROYER, 1996 *apud* PINTO et al., 2007b).

Na análise conjunta das características SF, NE e NPA houve efeito de tratamentos, mas não ocorreu interação de tratamentos x safras, denotando que os genótipos foram mais uniformes, o que permite análise global dos materiais em ambas as safras.

3.2.2 Teste de agrupamento de médias

Nos Quadros 17, 18, 19 e 20, estão apresentados resultados do desdobramento da análise de comparação de médias, pelo teste de Scott e Knott (1974), para nove características avaliadas em 36 híbridos e uma testemunha de milho-pipoca.

As características AP e AE formaram seis grupos de médias em ambas as safras avaliadas. Na safra normal, 14 híbridos apresentaram altura de plantas (AP) semelhantes à testemunha. Na safrinha, apenas os híbridos CMS42xIAC-112 e UEM-J1xZaeli foram significativamente semelhantes à testemunha IAC 112, apresentando as maiores médias de AP.

Com relação às características SF, NE e NPA, os híbridos e a testemunha foram agrupados em quatro, sete e quatro grupos, respectivamente (Tabela 18).

Na característica NE, as quatro combinações com valores mais elevados correspondem à UEM-J1xIAC-112, CMS43-2xIAC-112, CMS43-1xUEM-J1 e UEM-J1xZaeli, as quais sobrepujaram a testemunha.

As médias de NPA, apesar das diferenças significativas, foram de baixas magnitudes, demonstrando que os híbridos de cruzamento dialélico detiveram boa capacidade de sustentação, em que o maior grupo de médias apresentou resultados semelhantes ao híbrido comercial IAC 112.

À semelhança de SF e NPA, NPQ e NEME reuniram quatro grupos de médias em cada safra avaliada, exceto NPQ, na safra de 2009 (Quadro 19). Na característica NEME, o maior grupo de híbridos apresentou-se semelhante à testemunha comercial, com baixa magnitude no número de espigas mal empalhadas na safra 2008/09. Esse fator é de fundamental importância na proteção dos grãos contra o ataque de carunchos e traças no período de maturação até a colheita (ZINSLEY; MACHADO, 1987). Além disso, os autores ressaltam que a palha também protege os grãos da radiação solar, evitando que sejam submetidos às altas temperaturas, causando secamento rápido e trincamento do endosperma.

Quadro 17 – Médias das características altura de plantas (AP) e altura de espigas (AE) avaliadas em um dialelo completo com nove genitores de milho-pipoca e uma testemunha, nas safras 2008/2009 e 2009 em Maringá, PR.

Híbridos	Médias**			
	AP (cm)		AE (cm)	
	2008/2009	2009	2008/2009	2009
ZéliaxCMS42	214,4 d	190,0 c	124,8 c	110,0 b
ZéliaxCMS43-1	226,9 c	182,3 d	126,3 c	105,0 b
ZéliaxCMS43-2	215,7 d	185,9 d	130,0 c	107,1 b
ZéliaxUEM-J1	223,9 c	184,0 d	128,7 c	108,1 b
ZéliaxUEM-M2-1	213,1 d	167,8 e	124,7 c	99,1 c
ZéliaxUEM-M2-2	203,4 e	162,7 e	117,2 d	91,0 d
ZéliaxZaeli	234,2 b	189,5 c	134,3 b	107,7 b
ZéliaxIAC-112	232,9 b	185,7 c	142,6 a	102,6 b
CMS42xCMS43-1	222,2 c	188,6 c	126,0 c	105,5 b
CMS42xCMS43-2	225,0 c	187,4 c	127,1 c	94,0 d
CMS42xUEM-J1	237,5 b	199,7 b	146,6 a	119,3 a
CMS42xUEM-M2-1	219,6 d	188,2 c	123,1 c	109,1 b
CMS42xUEM-M2-2	217,4 d	187,9 c	116,3 d	106,8 b
CMS42xZaeli	241,9 a	203,3 b	138,6 b	108,6 b
CMS42xIAC-112	230,8 c	210,7 a	131,4 c	116,2 a
CMS43-1xCMS43-2	210,2 d	167,2 e	110,0 d	80,2 e
CMS43-1xUEM-J1	224,0 c	204,9 b	138,5 b	106,0 b
CMS43-1xUEM-M2-1	226,5 c	197,8 b	125,2 c	109,7 b
CMS43-1xUEM-M2-2	215,1 d	179,1 d	112,9 d	96,6 c
CMS43-1xZaeli	238,7 b	200,4 b	122,7 c	109,5 b
CMS 43-1xIAC-112	229,0 c	193,3 c	119,1 d	99,0 c
CMS 43-2xUEM-J1	224,0 c	183,4 d	129,5 c	100,4 c
CMS43-2xUEM-M2-1	214,3 d	164,1 e	112,2 d	90,4 d
CMS43-2xUEM-M2-2	209,9 d	188,6 c	107,3 e	97,5 c
CMS43-2xZaeli	231,5 c	177,0 d	125,8 c	90,0 d
CMS43-2xIAC-112	231,1 c	185,3 c	121,8 c	99,8 c
UEM-J1xUEM-M2-1	218,7 d	187,9 c	124,2 c	109,5 b
UEM-J1xUEM-M2-2	219,6 d	181,7 d	122,3 c	104,8 b
UEM-J1xZaeli	234,5 b	209,8 a	133,5 b	123,7 a
UEM-J1xIAC-112	245,0 a	199,1 b	135,6 b	109,7 b
UEM-M2-1xUEM-M2-2	190,8 f	128,2 f	100,0 f	70,3 f
UEM-M2-1xZaeli	227,9 c	179,7 d	122,2 c	92,5 d
UEM-M2-1xIAC-112	229,3 c	180,5 d	126,9 c	95,5 d
UEM-M2-2xZaeli	217,0 d	186,6 c	111,0 d	94,4 d
UEM-M2-2xIAC-112	224,9 c	178,3 d	118,8 d	93,3 d
ZaelixIAC-112	220,6 d	186,4 c	116,7 d	98,5 c
IAC 112	226,1 c	211,5 a	113,9 d	109,1 b
Média dos F ₁ s	223,4	185,4	124,3	101,7

** Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de agrupamento de Scott-Knott (1974), a 5% de probabilidade.

Quadro 18 – Médias das características estande final (SF), número de espigas (NE) e número de plantas acamadas (NPA), avaliadas em um dialelo completo com nove genitores de milho-pipoca, nas safras 2008/2009 e 2009 em Maringá, PR.

Híbridos	Médias**		
	SF	NE	NPA
ZéliaxCMS42	22,4 b	20,3 e	0,8 c
ZéliaxCMS43-1	19,7 d	20,2 e	0,8 c
ZéliaxCMS43-2	22,3 b	21,1 d	0,4 c
ZéliaxUEM-J1	21,5 c	21,4 d	0,1 d
ZéliaxUEM-M2-1	22,2 b	18,8 f	0,6 c
ZéliaxUEM-M2-2	22,1 b	17,0 g	0,1 d
ZéliaxZaeli	24,0 a	20,5 e	1,2 b
ZéliaxIAC-112	21,6 c	21,8 d	0,2 d
CMS42xCMS43-1	23,0 b	22,5 c	0,1 d
CMS42xCMS43-2	21,6 c	20,1 e	1,1 b
CMS42xUEM-J1	22,3 b	22,2 d	0,0 d
CMS42xUEM-M2-1	24,2 a	23,8 b	0,7 c
CMS42xUEM-M2-2	23,6 a	20,2 e	0,2 d
CMS42xZaeli	21,1 c	20,8 e	1,1 b
CMS42xIAC-112	22,1 b	24,6 b	0,1 d
CMS43-1xCMS43-2	21,9 c	19,8 e	0,4 d
CMS43-1xUEM-J1	23,1 a	26,3 a	0,5 c
CMS43-1xUEM-M2-1	21,4 c	22,9 c	1,2 b
CMS43-1xUEM-M2-2	22,8 b	20,7 e	1,0 b
CMS43-1xZaeli	21,0 c	22,7 c	0,5 c
CMS 43-1xIAC-112	20,3 d	24,8 b	0,8 c
CMS 43-2xUEM-J1	21,7 c	20,0 e	0,1 d
CMS43-2xUEM-M2-1	23,3 a	19,8 e	0,2 d
CMS43-2xUEM-M2-2	21,4 c	18,9 f	1,1 b
CMS43-2xZaeli	22,5 b	21,7 d	0,4 c
CMS43-2xIAC-112	22,7 b	26,9 a	0,2 d
UEM-J1xUEM-M2-1	23,3 a	20,6 e	2,0 a
UEM-J1xUEM-M2-2	22,9 b	20,9 e	1,0 b
UEM-J1xZaeli	23,6 a	25,9 a	0,2 d
UEM-J1xIAC-112	23,8 a	27,6 a	0,2 d
UEM-M2-1xUEM-M2-2	20,3 d	16,5 g	2,3 a
UEM-M2-1xZaeli	20,1 d	18,0 f	0,4 c
UEM-M2-1xIAC-112	20,8 c	17,9 f	0,4 c
UEM-M2-2xZaeli	22,9 b	22,3 d	0,5 c
UEM-M2-2xIAC-112	20,1 d	20,9 e	0,5 c
ZaelixIAC-112	19,3 d	16,9 g	0,5 c
IAC 112	21,9 c	21,4 d	0,7 c
Média dos F _{1s}	22,0	21,3	0,6

** Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de agrupamento de Scott-Knott (1974), a 5% de probabilidade.

Quadro 19 – Médias das características número de plantas quebradas (NPQ) e número de espigas mal empalhadas (NEME), avaliadas em um dialelo completo com nove genitores de milho-pipoca, nas safras 2008/2009 e 2009 em Maringá, PR.

Híbridos	Médias**			
	NPQ		NEME	
	2008/2009	2009	2008/2009	2009
ZéliaxCMS42	4,4 c	7,7 b	0,0 d	0,0 d
ZéliaxCMS43-1	8,0 b	4,3 d	0,3 d	3,0 a
ZéliaxCMS43-2	7,4 b	8,0 b	0,0 d	1,3 c
ZéliaxUEM-J1	1,9 d	3,0 e	0,7 d	1,7 c
ZéliaxUEM-M2-1	9,0 b	11,3 a	0,0 d	3,0 a
ZéliaxUEM-M2-2	14,7 a	6,3 c	0,3 d	0,3 d
ZéliaxZaeli	2,2 d	5,3 d	0,3 d	1,0 c
ZéliaxIAC-112	1,8 d	4,0 d	1,3 c	0,7 d
CMS42xCMS43-1	1,8 d	3,7 d	0,7 d	1,0 c
CMS42xCMS43-2	1,3 d	4,0 d	1,3 c	1,7 c
CMS42xUEM-J1	1,2 d	2,3 e	1,0 d	0,7 d
CMS42xUEM-M2-1	1,5 d	3,7 d	2,3 b	1,7 c
CMS42xUEM-M2-2	4,9 c	3,7 d	0,0 d	0,7 d
CMS42xZaeli	0,8 d	4,7 d	0,0 d	1,0 c
CMS42xIAC-112	0,8 d	4,7 d	0,7 d	1,3 c
CMS43-1xCMS43-2	1,7 d	5,0 d	0,0 d	1,7 c
CMS43-1xUEM-J1	3,1 c	0,7 e	0,0 d	1,0 c
CMS43-1xUEM-M2-1	2,6 c	6,3 c	1,3 c	2,3 b
CMS43-1xUEM-M2-2	3,1 c	3,3 d	1,0 d	2,0 b
CMS43-1xZaeli	1,0 d	4,0 d	0,0 d	3,3 a
CMS 43-1xIAC-112	1,6 d	2,0 e	0,0 d	2,7 b
CMS 43-2xUEM-J1	2,5 c	1,3 e	0,0 d	1,0 c
CMS43-2xUEM-M2-1	2,9 c	4,0 d	0,0 d	1,3 c
CMS43-2xUEM-M2-2	1,6 d	3,0 e	0,0 d	1,0 c
CMS43-2xZaeli	3,5 c	8,0 b	1,7 c	2,7 b
CMS43-2xIAC-112	1,2 d	5,7 d	2,0 c	1,3 c
UEM-J1xUEM-M2-1	0,8 d	2,0 e	1,0 d	0,0 d
UEM-J1xUEM-M2-2	2,9 c	1,7 e	0,0 d	1,7 c
UEM-J1xZaeli	2,0 d	2,0 e	0,0 d	1,3 c
UEM-J1xIAC-112	3,1 c	2,7 e	0,7 d	1,0 c
UEM-M2-1xUEM-M2-2	5,1 c	9,3 b	0,0 d	1,3 c
UEM-M2-1xZaeli	0,7 d	9,0 b	0,3 d	3,7 a
UEM-M2-1xIAC-112	1,8 d	4,0 d	0,3 d	1,3 c
UEM-M2-2xZaeli	3,3 c	13,3 a	0,7 d	2,3 b
UEM-M2-2xIAC-112	3,6 c	5,3 d	0,7 d	1,3 c
ZaelixIAC-112	0,7 d	6,3 c	3,3 a	2,7 b
IAC 112	2,5 c	7,9 b	0,9 d	2,1 b
Média dos F ₁ s	3,1	4,9	0,6	1,6

** Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de agrupamento de Scott-Knott (1974), a 5% de probabilidade.

A análise das médias (Quadro 20) indicou a formação de sete grupos na safra e quatro grupos na safrinha, refletindo a menor expressão da variabilidade genética nesta última. Na safra 2008/09, os híbridos UEM-J1xIAC-112, CMS43-1xUEM-J1, UEM-J1xZaeli, CMS43-2xIAC-112 foram os mais produtivos, com médias de 7.013,55; 6.825,54; 6.729,41; 6.559,40 kg.ha⁻¹, respectivamente. Destes, destacaram-se UEM-J1xZaeli e UEM-J1xIAC-112 na safrinha, com produtividades de 3.543,58 e 3.070,37 kg.ha⁻¹, respectivamente.

Na safra de 2008/09 sete grupos de híbridos superaram a testemunha IAC 112 em relação ao rendimento, em especial os pertencentes ao segundo terceiro e quarto grupos, os quais apresentaram também altas produtividades.

A característica CE formou dez e sete grupos de médias, na safra 2008/09 e 2009, respectivamente. O genótipo com valor mais elevado na safra normal foi ZéliaxUEM-M2-1 (34,7 g mL⁻¹), seguido pelo híbrido ZaelixIAC-112 (31,8 g mL⁻¹) e ZéliaxIAC-112 (31,3 g mL⁻¹), os quais não diferiram significativamente da testemunha IAC 112 (30,9 g mL⁻¹) em relação à capacidade de expansão. Tais médias na safra normal são, portanto, satisfatórias para a etapa atual do programa conduzido na UEM.

Na safrinha, os valores de CE foram bem inferiores à safra normal, indicando a baixa adaptação dos materiais avaliados, nessa época de cultivo, na região de Maringá. A combinação que se destacou foi UEM-M2-2xIAC-112, porém com média significativamente inferior à testemunha.

Os híbridos que apresentaram a maior produtividade não foram os mesmos que se destacaram para capacidade de expansão. Isso evidencia a dificuldade de se obter elevado rendimento de grãos e alta capacidade de expansão na mesma cultivar, em função da correlação genética negativa que, frequentemente, se observa entre essas características (ZINSKY; MACHADO, 1987; PINTO et al., 2007a). Porém, como o interesse maior dos programas de melhoramento genético do milho-pipoca é aliar produção e qualidade de grãos, é necessário observar quais híbridos reuniram valores desejáveis de RG e CE.

Quadro 20 – Médias das características rendimento de grãos (RG) e capacidade de expansão (CE), avaliadas em um dialelo completo com nove genitores de milho-pipoca, nas safras 2008/2009 e 2009 em Maringá, PR.

Híbridos	Médias**			
	RG (kg ha ⁻¹)		CE (g mL ⁻¹)	
	2008/2009	2009	2008/2009	2009
ZéliaxCMS42	4940,0 e	1038,4 e	26,0 e	18,9 d
ZéliaxCMS43-1	5226,9 d	1123,3 e	25,2 e	10,0 g
ZéliaxCMS43-2	4719,0 f	1375,8 d	26,7 e	11,6 f
ZéliaxUEM-J1	6128,5 b	1154,3 e	17,2 h	14,3 e
ZéliaxUEM-M2-1	4563,2 f	995,6 e	34,7 a	17,2 d
ZéliaxUEM-M2-2	3996,5 g	864,1 e	29,9 c	14,6 e
ZéliaxZaeli	4981,5 e	1775,0 c	30,4 c	17,1 d
ZéliaxIAC-112	5480,1 d	1488,2 d	31,3 b	20,5 c
CMS42xCMS43-1	5658,4 c	2070,6 c	18,1 h	15,4 e
CMS42xCMS43-2	5372,1 d	1114,3 e	22,2 f	12,4 f
CMS42xUEM-J1	6236,0 b	2561,6 b	15,6 i	14,3 e
CMS42xUEM-M2-1	5264,9 d	1809,3 c	29,8 c	16,0 e
CMS42xUEM-M2-2	4445,0 f	1221,5 d	26,3 e	18,4 c
CMS42xZaeli	5517,7 d	1869,9 c	29,5 c	16,6 d
CMS42xIAC-112	5920,9 c	2548,5 b	24,6 e	16,9 d
CMS43-1xCMS43-2	3745,3 g	1019,2 e	16,4 h	8,7 g
CMS43-1xUEM-J1	6825,5 a	2432,2 b	11,8 j	9,9 g
CMS43-1xUEM-M2-1	5781,8 c	1945,6 c	20,6 g	12,9 f
CMS43-1xUEM-M2-2	4000,9 g	1106,3 e	23,3 f	17,8 d
CMS43-1xZaeli	5717,7 c	1603,2 d	18,8 g	15,0 e
CMS 43-1xIAC-112	6191,0 b	1864,8 c	21,9 f	18,6 c
CMS 43-2xUEM-J1	5644,7 c	1326,6 d	12,7 j	12,9 f
CMS43-2xUEM-M2-1	5025,4 e	1063,2 e	22,7 f	15,1 e
CMS43-2xUEM-M2-2	4087,4 g	1284,6 d	24,3 e	13,2 f
CMS43-2xZaeli	5514,1 d	1936,4 c	23,6 f	11,9 f
CMS43-2xIAC-112	6559,4 a	1885,6 c	21,4 f	15,3 e
UEM-J1xUEM-M2-1	6011,9 c	1586,3 d	11,8 j	11,9 f
UEM-J1xUEM-M2-2	5302,7 d	1728,2 c	14,3 i	12,9 f
UEM-J1xZaeli	6729,4 a	3543,6 a	14,3 i	12,4 f
UEM-J1xIAC-112	7013,6 a	3070,4 a	12,7 j	12,8 f
UEM-M2-1xUEM-M2-2	3878,8 g	349,6 e	22,5 f	10,9 g
UEM-M2-1xZaeli	4620,6 f	1035,8 e	27,9 d	15,0 e
UEM-M2-1xIAC-112	4316,5 f	991,7 e	27,2 d	18,6 c
UEM-M2-2xZaeli	4582,5 f	2088,3 c	28,1 d	20,5 c
UEM-M2-2xIAC-112	4479,9 f	1680,9 c	25,5 e	23,1 b
ZaelixIAC-112	3390,1 h	817,4 e	31,8 b	20,1 c
IAC 112	3559,0 h	2433,7 b	30,9 b	25,8 a
Média dos F ₁ 's	5218,6	1593,6	22,8	15,1

** Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de agrupamento de Scott-Knott (1974), a 5% de probabilidade.

Por uma análise acurada dos híbridos (Quadro 20), constata-se que houve bom desempenho dos híbridos ZéliaxUEM-M2-1, ZéliaxIAC-112 e ZaelixIAC-112, pois expressaram rendimento de grãos acima de 3.559,0 kg ha⁻¹ e capacidade de expansão superior a 30,09 mL g⁻¹, na safra normal. Além disso, excetuando-se ZaelixIAC-112, os demais híbridos revelaram bons resultados nos testes de GER, ENV, EA e IVE.

3.2.3 Análise conjunta da capacidade combinatória

Com base nos quadrados médios da fonte de variação Tratamento (Quadro 21), observou-se significância para as quatro características (AP, AE, RG e CE) avaliadas. Pode-se concluir que as características de maior interesse para programas de melhoramento apresentaram variabilidade genética entre os componentes do dialelo, o que torna possível a seleção de híbridos promissores.

Quadro 21 – Análise de variância conjunta para as características altura de plantas (AP), altura de espigas (AE), capacidade de expansão (CE) e rendimento de grãos (RG), avaliadas em dialelo completo, sem os recíprocos, entre nove linhagens. Safras 2008/2009 e 2009 em Maringá, PR.

FV	GL	AP (cm)	AE (cm)	RG (kg ha ⁻¹)	CE (g mL ⁻¹)
Tratamentos (T)	35	897,69*	535,76*	3371529,55*	114,26**
CGC	8	2699,70*	1733,61*	8945764,96*	428,99 ^{ns}
CEC	27	363,76*	180,84 ^{ns}	1719904,26 *	21,00 ^{ns}
Safras (S)	1	78064,94	27517,35	709588490,12	3211,29
T x S	35	147,93*	90,66**	540274,38*	39,09*
CGC X S	8	181,18**	65,58 ^{ns}	1154399,97*	132,40*
CEC X S	27	138,07**	98,10**	358311,23 ^{ns}	11,44**
Resíduo	110	79,95	57,61	286119,71	6,04

* Significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

** Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

^{ns} Não-significativo.

A respeito das fontes de variação CGC e CEC, não se constatou significância para as características AE e CE, revelando-se que não houve variabilidade resultante dos efeitos não-aditivos e aditivos e não-aditivos, respectivamente, para tais características. A significância para as demais características indicam que, além da aditividade, a presença de ação gênica não-aditiva foi significativa entre os *loci* relacionados à altura de plantas e rendimento de grãos das linhagens, uma vez que a CEC não acusa significância na ausência de dominância (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992). Além disso, o efeito significativo da CEC também evidenciou diferentes graus de complementação entre as linhagens de ambos os grupos, indicando que determinadas combinações híbridas apresentaram desempenho fenotípico diferente do esperado somente com base nos efeitos da CGC. Resultados semelhantes foram encontrados por Pinto et al. (2007a), porém com outros genótipos.

Com relação à interação Tratamentos x Safra, detectou-se significância das diferenças para todas as características avaliadas. Essas interações são relatadas na literatura por diversos autores (NASS et al., 2000; LOCATELLI et al., 2002; FREITAS JUNIOR et al., 2006; PINTO et al., 2007a). O comportamento diferencial dos genótipos nas safras para a característica RG pode ter decorrido do efeito significativo para a interação CGC x S, o que pressupõe que os genitores revelaram diferenciações superiores aos híbridos, nas safras avaliadas.

Pela análise conjunta, constata-se que, com exceção de AE, a CGC das linhagens foi diferente em cada época de semeadura, sugerindo a necessidade de se selecionar linhagens parentais diferentes para a formação dos híbridos em épocas de semeadura específicas.

A detecção de significância na interação T x S para as quatro características não constitui entrave para recomendação de híbridos para ambas as safras, uma vez que CMS43-2xIAC-112, UEM-J1xZaeli, CMS43-1xUEM-M2-1, UEM-M2-2xZaeli e UEM-J1xIAC-112 foram superiores para a característica RG nas duas safras avaliadas.

Em relação à característica RG, esta não exibiu significância para a relação CEC x S, o que indica reduzido comportamento diferencial dos híbridos

nas safras 2008/09 e 2009, permitindo análise global das estimativas assumidas pelo estimador $\hat{s}_{ij}$ em ambas as safras.

3.2.4 Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC)

Os resultados referentes às estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação de nove genitores de milho pipoca, para duas safras, com relação a quatro características do milho-pipoca, estão presentes nos Quadros 22 e 23.

Dada a interação entre CGC e as safras, os efeitos da CGC para as nove linhagens genitoras devem ser analisados local por local para as características AP, RG e CE.

Quadro 22 – Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação ($\hat{g}_i$) para altura de plantas (AP) e altura de espigas (AE), nas safras 2008/09 e 2009 em Maringá, PR.

Linhagens genitoras	Altura de plantas (cm)			Altura de espigas (cm)		
	2008/09	2009	Médio	2008/09	2009	Médio
Zélia	-3,27	-4,99	-4,10	4,91	2,43	3,67
CMS42	3,12	10,42	6,77	5,68	7,99	6,84
CMS43-1	0,78	4,39	2,59	-1,91	-0,31	-1,11
CMS43-2	-3,61	-6,29	-4,95	-4,36	-7,76	-6,06
UEM-J1	5,73	9,65	7,69	9,23	9,71	9,47
UEM-M2-1	-6,67	-12,67	-9,67	-5,11	-5,37	-5,24
UEM-M2-2	-12,69	-12,83	-12,76	-12,62	-8,42	-10,52
Zaeli	8,46	7,11	7,78	1,51	1,60	1,56
IAC-112	8,08	5,22	6,65	2,67	0,14	1,40

Na característica AP, é favorável que os genitores revelem valores negativos para o efeito de $\hat{g}_i$, indicando que estes contribuirão positivamente para a redução do porte das plantas, o que é de interesse em decorrência dos

fortes ventos que possam ocorrer na época de cultivo do milho-pipoca em Iguatemi. Por conseguinte, destacaram-se, em ordem decrescente, em ambas as safras, os genitores UEM-M2-2, UEM-M2-1, CMS43-2 e Zélia, com valores negativos elevados de $\hat{g}_i$.

Os efeitos da CGC para altura de espigas podem ser analisados em conjunto. Assim, os efeitos médios de $\hat{g}_i$ para AE revelaram que os genitores UEM-M2-2, UEM-M2-1, CMS43-2 e CMS43-1 tendem a proporcionar boa acumulação gênica para redução da altura de espiga nas duas safras estudadas. Na concepção de Ji et al. (2006), a altura de inserção de espiga é uma das características de maior importância em programas de seleção com *Zea mays*, uma vez que está diretamente vinculada ao acamamento, sobretudo porque o colmo do milho-pipoca é mais frágil que o do milho comum.

Os resultados dos efeitos de $\hat{g}_i$ na safra 2008/09 destacaram, em ordem decrescente, a potencialidade das linhagens UEM-J1, CMS42, IAC-112 e CMS43-1, para aumento no rendimento de grãos (Quadro 23). Estas linhagens, por força da interação, não apresentaram o mesmo desempenho na safra 2009. Nesta última, destacou-se também o genitor Zaeli, com valor positivo de $\hat{g}_i$. Vale lembrar que, dentre estas linhagens, a UEM-J1 e a CMS42 também apresentaram estimativas favoráveis de $\hat{g}_i$, sobressaindo-se para a qualidade fisiológica de sementes.

Pelo exposto, as linhagens com valores relativamente elevados de $\hat{g}_i$, em ambas as safras avaliadas, indicam que tais linhagens apresentam maior frequência de alelos favoráveis para o caráter (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992). Portanto, são de elevado interesse para incrementos em parte das características economicamente mais importantes para o milho-pipoca, indicando que tendem a proporcionar boa complementação gênica nos cruzamentos em que participem.

As menores magnitudes para as linhagens CMS43-1 e UEM-J1 na safrinha em relação à safra normal decorrem provavelmente do efeito mais pronunciado da interação entre genótipos e safras. No entanto, o fato de tais linhagens apresentarem elevada CGC, nas duas safras, sugere que as mesmas apresentam elevada frequência de alelos favoráveis para rendimento de grãos. Dessa forma, as linhagens UEM-J1, CMS42, IAC-112 e CMS43-1

podem ser utilizadas como testadores na avaliação da CEC com outros grupos de linhagens.

Quadro 23 – Estimativas dos efeitos médios da capacidade geral de combinação ($\hat{g}_i$) para rendimento de grãos (RG) e capacidade de expansão (CE), nas safras 2008/09 e 2009 em Maringá, PR.

Linhagens genitoras	Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)			CE (g mL ⁻¹)		
	2008/09	2009	Médio	2008/09	2009	Médio
Zélia	-244,74	-419,19	-331,96	5,57	0,47	3,02
CMS42	229,44	212,16	220,80	1,35	1,15	1,25
CMS43-1	199,83	59,46	129,64	-3,76	-1,79	-2,77
CMS43-2	-154,48	-249,04	-201,76	-1,78	-2,82	-2,30
UEM-J1	1163,35	664,90	914,12	-10,29	-2,76	-6,53
UEM-M2-1	-326,55	-424,55	-375,55	2,10	-0,46	0,82
UEM-M2-2	-996,47	-346,50	-671,48	1,69	1,50	1,60
Zaeli	-99,32	274,39	87,54	3,12	1,11	2,12
IAC-112	228,94	228,36	228,65	1,99	3,58	2,78

Em relação à CE, as estimativas dos efeitos de $\hat{g}_i$ revelaram Zélia, CMS42, UEM-M2-2, Zaeli e IAC-112 como pretensas linhagens com capacidade para síntese de híbridos superiores, nas duas safras avaliadas, indicando maior frequência de alelos favoráveis para capacidade de expansão, em relação às demais linhagens avaliadas. É importante, também, ressaltar que a linhagem UEM-M2-1 apresentou estimativa positiva de $\hat{g}_i$ na safra normal. Logo, seus méritos para CGC não devem ser desconsiderados, uma vez que, como já mencionado, a conjugação de elevado potencial produtivo com alta capacidade de expansão, em um mesmo indivíduo, constitui tarefa relativamente difícil de ser realizada (ZINSLEY; MACHADO, 1987; PINTO et al., 2007a).

As linhagens Zélia e CMS42, além de se sobressaírem para CE, também foram favoráveis à qualidade fisiológica das sementes de milho-pipoca, apresentando elevados $\hat{g}_{i's}$ positivos para os testes de GER, FRIO, EA, IVE, CPA e negativos para VE. Esse fator deve ser levado em consideração, visto que a qualidade fisiológica das sementes é fundamental no processo de implantação de qualquer cultura.

Comparando-se os dados de rendimento de grãos com a capacidade de expansão, observa-se que as linhagens CMS42 e IAC-112 foram as únicas que apresentaram estimativas de $\hat{g}_i$ positivas para ambas as características, nas duas safras avaliadas. A Zaeli destacou-se para CE nas duas safras e apresentou estimativa positiva para RG em pelo menos uma safra avaliada. Dessa forma, levando-se em consideração a importância da frequência de alelos favoráveis em milho-pipoca, pode-se sugerir o cruzamento dessas linhagens como ponto de partida para explorar simultaneamente a heterose para rendimento de grãos e capacidade de expansão. Todavia, são importantes a análise dos híbridos ora estudados e novas avaliações dos híbridos e linhagens em épocas de semeadura distintas.

3.2.5 Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (CEC)

Os Quadros 24 e 25 contêm as estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação ($\hat{s}_{ij}$) para quatro características avaliadas em dialelo completo em milho-pipoca.

Os efeitos da CEC em altura de plantas, altura de espigas e capacidade de expansão para as nove linhagens genitoras também devem ser analisados safra por safra (Quadros 25 e 26).

Com relação à AP e AE, objetiva-se identificar combinações que contribuam para redução do porte das plantas, a fim de se evitar o acamamento das plantas e/ou facilitar a colheita mecânica das espigas. Assim, para AP, as combinações mais promissoras foram aquelas que apresentaram pelo menos um de seus genitores com alta CGC e expressaram os valores mais negativos safra por safra. Dessa forma, na safra 2008/09, tiveram a maior

CEC as combinações: UEM-M2-1xUEM-M2-2, CMS43-1xCMS43-2 e ZéliaxCMS42. Na safra 2009, os maiores valores negativos de $\hat{s}_{ij}$ ocorreram para os híbridos UEM-M2-1xUEM-M2-2, CMS43-1xCMS43-2, CMS43-2xZaeli e ZéliaxUEM-J1.

Na característica AE, as combinações CMS43-1xCMS43-2 e UEM-M2-1xUEM-M2-2 apresentaram maior CEC, na safra 2008/09. Enquanto que na safra 2009, destacaram-se os híbridos CMS43-1xCMS43-2, UEM-M2-1xUEM-M2-2 e CMS42xCMS43-2.

Quanto à característica RG, buscaram-se combinações cujos valores de $\hat{s}_{ij}$ sejam positivos e elevados, pois revelam híbridos que tendem a contribuir para o aumento do rendimento de grãos. Como apontado por Cruz et al. (2004), as melhores combinações híbridas são as de maior CEC que envolvem pelo menos um dos genitores com alta CGC. Assim, como não houve interação entre os locais, a CEC para RG pode ser analisada em conjunto. Hierarquicamente as melhores combinações foram: CMS43-2xIAC-112, UEM-J1xZaeli, CMS43-1xUEM-M2-1, UEM-M2-2xZaeli e UEM-J1xIAC-112.

Comparando-se os resultados ora obtidos com os relativos à qualidade fisiológica, nota-se que a combinação UEM-J1xZaeli, além de se sobressair para rendimento de grãos, apresentou boa qualidade fisiológica no teste de frio. O híbrido CMS42xIAC-112, embora não tenha apresentado a maior estimativa, se destacou por apresentar alta estimativa de $\hat{s}_{ij}$ para RG e também se sobressaiu por apresentar as melhores estimativas nos testes de COE e EA e bom desempenho nos testes de GER, ENV, IVE e BS (Quadros 13 e 14).

A característica de maior interesse para o melhoramento com relação à qualidade dos grãos - capacidade de expansão – também deve ser analisada safra por safra. Assim, na safra normal, tiveram maior CEC as combinações: ZéliaxUEM-M2-1, CMS42xUEM-J1, CMS42xUEM-M2-1, CMS42xZaeli, CMS43-1xUEM-M2-2 e ZaelixIAC-112. Na safrinha, os maiores valores ocorreram nos híbridos: ZéliaxCMS42, ZéliaxUEM-M2-1, CMS43-1xUEM-M2-2, UEM-M2-2xZaeli, UEM-M2-2xIAC-112.

Quadro 24 – Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação ($\hat{s}_{ij}$) para altura de plantas (AP) e altura de espigas (AE), nas safras 2008/09 e 2009 em Maringá, PR.

Híbridos	Altura de plantas			Altura de espigas		
	(cm)			(cm)		
	2008/09	2009	Médio	2008/09	2009	Médio
ZéliaxCMS42	-8,90	-0,79	-4,84	-10,04	-2,14	-6,09
ZéliaxCMS43-1	5,93	-2,49	1,72	-0,99	1,18	0,10
ZéliaxCMS43-2	-0,81	11,84	5,51	5,16	10,74	7,95
ZéliaxUEM-J1	-2,00	-6,01	-4,01	-9,71	-5,70	-7,70
ZéliaxUEM-M2-1	-0,37	0,14	-0,12	0,64	0,37	0,51
ZéliaxUEM-M2-2	-4,07	-4,83	-4,45	0,62	-4,69	-2,04
ZéliaxZaeli	5,54	2,00	3,77	3,60	1,96	2,78
ZéliaxIAC-112	4,68	0,14	2,41	10,71	-1,71	4,50
CMS42xCMS43-1	-5,06	-11,55	-8,30	-2,01	-3,89	-2,95
CMS42xCMS43-2	2,14	-2,12	0,01	1,49	-7,90	-3,20
CMS42xUEM-J1	5,23	-5,72	-0,25	7,37	-0,06	3,66
CMS42xUEM-M2-1	-0,22	5,10	2,44	-1,70	4,74	1,52
CMS42xUEM-M2-2	3,58	4,95	4,26	-1,06	5,55	2,25
CMS42xZaeli	6,97	0,46	3,71	7,14	-2,73	2,21
CMS42xIAC-112	-3,74	9,66	2,96	-1,19	6,41	2,61
CMS43-1xCMS43-2	-10,36	-16,25	-13,30	-7,97	-13,46	-10,71
CMS43-1xUEM-J1	-5,95	5,47	-0,24	6,91	-5,09	0,91
CMS43-1xUEM-M2-1	9,03	20,69	14,86	7,96	13,68	10,82
CMS43-1xUEM-M2-2	3,60	2,22	2,91	3,20	3,59	3,39
CMS43-1xZaeli	6,08	3,58	4,83	-1,15	6,49	2,67
CMS 43-1xIAC-112	-3,29	-1,68	-2,48	-5,95	-2,50	-4,23
CMS 43-2xUEM-J1	-1,48	-5,36	-3,42	0,33	-3,28	-1,48
CMS43-2xUEM-M2-1	1,23	-2,34	-0,56	-2,64	1,80	-0,43
CMS43-2xUEM-M2-2	2,82	22,37	12,60	0,03	11,95	5,99
CMS43-2xZaeli	3,23	-9,20	-2,99	4,36	-5,54	-0,59
CMS43-2xIAC-112	3,23	1,06	2,14	-0,77	5,69	2,46
UEM-J1xUEM-M2-1	-3,70	5,60	0,95	-4,22	3,46	-0,38
UEM-J1xUEM-M2-2	3,18	-0,52	1,33	1,43	1,83	1,63
UEM-J1xZaeli	-3,05	7,64	2,29	-1,56	10,66	4,55
UEM-J1xIAC-112	7,77	-1,10	3,33	-0,56	-1,82	-1,19
UEM-M2-1xUEM-M2-2	-13,19	-31,67	-22,43	-6,60	-17,66	-12,13
UEM-M2-1xZaeli	2,70	-0,14	1,28	1,51	-5,38	-1,93
UEM-M2-1xIAC-112	4,52	2,63	3,57	5,05	-1,01	2,02
UEM-M2-2xZaeli	-2,11	6,92	2,40	-2,12	-0,48	-1,30
UEM-M2-2xIAC-112	6,19	0,56	3,37	4,50	-0,08	2,21
ZaelixIAC-112	-19,354	-11,27	-15,31	-11,80	-4,97	-8,39

Quadro 25 – Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação ($\hat{s}_{ij}$) para rendimento de grãos (RG) e capacidade de expansão (CE) nas safras 2008/09 e 2009 em Maringá, PR.

Híbridos	Rendimento de grãos			CE		
	(kg ha ⁻¹)			(g mL ⁻¹)		
	2008/09	2009	Médio	2008/09	2009	Médio
ZéliaxCMS42	-263,287	-348,19	-305,74	-3,72	2,16	-0,78
ZéliaxCMS43-1	53,24	-110,60	-28,68	0,53	-3,78	-1,63
ZéliaxCMS43-2	-100,37	450,37	175,00	0,14	-1,15	-0,51
ZéliaxUEM-J1	-8,73	-685,03	-346,88	-0,85	1,52	0,34
ZéliaxUEM-M2-1	-84,16	245,71	80,77	4,21	2,05	3,13
ZéliaxUEM-M2-2	19,07	36,15	27,61	-0,14	-2,52	-1,33
ZéliaxZaeli	106,96	326,17	216,57	-1,11	0,37	-0,37
ZéliaxIAC-112	277,28	85,43	181,35	0,93	1,35	1,14
CMS42xCMS43-1	10,53	205,32	107,92	-2,34	0,92	-0,71
CMS42xCMS43-2	78,50	-442,43	-181,96	-0,24	-1,05	-0,65
CMS42xUEM-J1	-375,41	90,91	-142,25	1,68	0,84	1,26
CMS42xUEM-M2-1	143,36	428,06	285,71	3,51	0,20	1,86
CMS42xUEM-M2-2	-6,60	-237,77	-122,18	0,43	0,69	0,56
CMS42xZaeli	169,02	-210,23	-20,61	2,23	-0,81	0,71
CMS42xIAC-112	243,89	514,33	379,11	-1,55	-2,95	-2,25
CMS43-1xCMS43-2	-1518,61	-384,80	-951,71	-0,87	-1,83	-1,35
CMS43-1xUEM-J1	243,76	114,23	179,00	3,08	-0,61	1,24
CMS43-1xUEM-M2-1	689,92	717,10	703,51	-0,53	0,04	-0,25
CMS43-1xUEM-M2-2	-421,03	-200,33	-310,68	2,58	2,96	2,77
CMS43-1xZaeli	398,54	-324,28	37,13	-3,37	0,58	-1,40
CMS 43-1xIAC-112	543,66	-16,64	263,51	0,90	1,72	1,31
CMS 43-2xUEM-J1	-582,73	-682,86	-632,79	1,94	3,36	2,65
CMS43-2xUEM-M2-1	287,81	143,13	215,47	-0,39	3,28	1,45
CMS43-2xUEM-M2-2	19,75	286,51	153,13	1,60	-0,62	0,49
CMS43-2xZaeli	549,31	317,44	433,37	-0,55	-1,46	-1,00
CMS43-2xIAC-112	1266,34	312,65	789,49	-1,64	-0,54	-1,09
UEM-J1xUEM-M2-1	-43,50	-247,63	-145,56	-2,80	0,00	-1,40
UEM-J1xUEM-M2-2	-82,84	-183,79	-133,31	0,13	-0,96	-0,42
UEM-J1xZaeli	446,78	1010,67	728,73	-1,38	-1,01	-1,20
UEM-J1xIAC-112	402,66	583,50	493,08	-1,81	-3,15	-2,48
UEM-M2-1xUEM-M2-2	-16,82	-472,98	-244,90	-4,14	-5,20	-4,67
UEM-M2-1xZaeli	-172,13	-407,66	-289,90	-0,17	-0,76	-0,47
UEM-M2-1xIAC-112	-804,48	-405,72	-605,10	0,31	0,38	0,35
UEM-M2-2xZaeli	459,67	566,82	513,24	0,51	2,78	1,65
UEM-M2-2xIAC-112	28,79	205,39	117,09	-0,98	2,87	0,95
ZaelixIAC-112	-1958,14	-1278,93	-1618,54	3,83	0,31	2,07

A fim de reunir em um mesmo híbrido características desejáveis, poder-se-iam, por uma lógica restritiva, recomendar as combinações ZéliaxIAC-112, CMS43-1xIAC-112 e UEM-M2-2xZaeli, por expressarem estimativas

elevadas de RG e positivas de CE. Todavia, por uma análise mais ampla, pode-se conceber que Zélia x UEM-M2-1, CMS42 x UEM-M2-1 e UEM-M2-2 x Zaeli contiveram as maiores estimativas de $\hat{s}_{ij}$ para CE em pelo menos uma safra e não revelaram valores de estimativas médias indesejáveis para RG. Há que se destacar que a estimativa $\hat{s}_{ij}$ do par UEM-M2-2 x Zaeli para RG foi ranqueada em quarta maior grandeza.

4 CONCLUSÕES

Na maioria dos caracteres avaliados predominaram os efeitos da capacidade específica de combinação, evidenciando maior importância dos genes de efeitos não-aditivos no controle genético da qualidade fisiológica de sementes de milho-pipoca.

As linhagens Zélia e CMS42 foram promissoras para a obtenção de híbridos seja para sementes de qualidade fisiológica superior ou para capacidade de expansão, podendo ser utilizadas como testadores, na avaliação da CEC de outros grupos de linhagens.

As estimativas de CGC para as linhagens CMS42, IAC-112 e Zaeli confirmam seus potenciais na exploração da heterose para rendimento de grãos e capacidade de expansão.

As combinações CMS42xIAC-112, ZéliaxIAC-112, ZéliaxZaeli e UEM-J1xZaeli são as mais promissoras em relação à CEC para qualidade fisiológica de sementes.

Os híbridos ZéliaxIAC-112, CMS43-1xIAC-112, UEM-M2-2xZaeli, ZéliaxUEM-M2-1 e CMS42xUEM-M2-1 são promissores para as características RG e CE, sendo promissora a perspectiva de sucesso na realização de seleção em seus recombinantes.

A linhagem CMS42 aliou alta qualidade fisiológica com capacidade de expansão e alto rendimento de grãos.

Os híbridos ZéliaxIAC-112, CMS42xUEM-M2-1, CMS43-1xIAC-112 e UEM-M2-2xZaeli aliaram alta capacidade de expansão com rendimento elevado, destacando-se em pelo menos dois testes de qualidade fisiológica.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, C.G.; SCAPIM, C.A.; PINTO, R.J.B.; AMARAL JUNIOR, A.T.; SILVÉRIO, L.; BASTOS-ANDRADE, C.A. Análise dialélica de linhagens de milho na safrinha. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.6, p.1731-1737, 2004.

ANTUNA, G.O.; RINCÓN, F.S.; GUTIÉRREZ DEL R.E.; RUIZ, N.A.T.; BUSTAMANTE, G.L. Componentes genéticos de caracteres agronômicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. **Revista Fitotecnia Mexicana**, México, v.26, n.1, p.11-17, 2003.

BARLA-SZABO, J.; BOCSI, J.; DOLINKA, B; ODIEMAH. M. Diallel analysis of seed vigour in maize. **Seed Science and Technology**, Zurich, v.18, n.3, p.721-729, 1989.

BARROS, A.S.R.; DIAS, M.C.L.L.; CICERO, S.M.; KRZYZANOWSKI, F.C. Teste de frio. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Eds.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. Cap.5, p.1-15.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399p.

CERVANTES-ORTIZ, F.; SANTOS, G.G.; CARBALLO-CARBALLO, A.; BERGVINSON, D.; CROSSA, J.L.; MENDOZA-ELOS, M.; MORENO-MARTÍNEZ, E. Herencia del vigor de plántula y su relación con caracteres de planta adulta en líneas endogámicas de maíz tropical, **Agrociência**, México, v.41, n.4, p.425-433, 2007.

CRUZ, C.D. **Programa Genes** - Aplicativo computacional em genética e estatística. Versão 2007. Disponível em: www.ufv.br/dbg/genes/genes.htm. Acesso em: 15 ag. 2008.

CRUZ, C.D.; VENCOVSKY, R. Comparação de alguns métodos de análise dialélica. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.12, n.2, p.425-438, 1989.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3.ed., Viçosa: Imprensa Universitária, 2004. 390p.

CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A. **Cultivares de milho disponíveis no mercado de sementes do Brasil para a safra 2009/2010**. Embrapa, 2009. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/milho/cultivares/index.php>. Acesso em 18 jan. 2010.

DELOUCHE, J.C. **Nuevos caminos en la investigación sobre tecnología de semillas.** In: Memorias Tecnológicas de Semilla. CIAT. Colombia. p.34, 1985.

EDMOND, J.B.; DRAPALA, W.J. The effects of temperature, sand and soil, and acetone on germination of okra seeds. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.71, n.2, p.428-434, 1958.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação dos solos.** 2.ed., Embrapa, Brasília, 2006. 306p.

FACHIN, D.T.; SCHEER, A P.; SAMPAIO, E. Elaboração de pós para bebidas utilizando milho-pipoca. **Boletim do CEPPA**, Curitiba, v.11, n.1, p.11-16, 1993.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho.** Guaíba: Agropecuária, 2007, 576 p.

FREITAS JÚNIOR, S.P.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; PEREIRA, M.G.; CRUZ, C.D., SCAPIM, C.A. Capacidade combinatória em milho-pipoca por meio de diallelo circulante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.11, p.1599-1607, 2006.

GOMES, M.S.; VON PINHO, E.V.R.; VON PINHO, R.G.; VIEIRA, M.G.G.C. Estimativas da capacidade de combinação de linhagens de milho tropical para qualidade fisiológica de sementes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.24 (Edição Especial), p.41-49, 2000.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. **Australian Journal of Biological Sciences**, East Melbourn, v.9, n.4, p.462-93, 1956.

IAPAR. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná.** Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 1987. 35p.

JI, H.C.; CHO, J.W.; YAMAKAWA, T. Diallel analysis of plant and ear heights in tropical maize (*Zea mays* L.). **Journal of the Faculty of Agriculture**, Kyushu, v.51, n.2, 233-238, 2006.

JORNAL DA TERRA. 2008. Disponível em: <<http://www.jterra.com.br>>. Acesso em: 03 nov. 2009.

KRZYZANOWSKI, F.C.; FRANÇA NETO, J.B.; HENNING, A.A. Relato dos testes de vigor disponíveis para as grandes culturas. **Informativo Abrates**, Londrina, v.1, n.2, p.15-50, 1991.

LOCATELLI, A.B.; FEDERIZZI, L.C.; NASPOLINI FILHO, V. Capacidade combinatória de nove linhagens endogâmicas de milho (*Zea mays* L.) em dois ambientes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.3, p.365-370, 2002.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v.2, n.2, p.176-177, 1962.

MARCOS FILHO, J. Testes de vigor: importância e utilização. In: KRZYŻANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Eds.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Abrates, 1999a. cap.1, p.1-21.

MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYŻANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Eds.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Abrates, 1999b. cap.3, p.1-24.

McCONNEL, R.L.; GARDNER, C.O. Inheritance of several cold tolerance traits in maize. **Crop Science**, Madison, v.19, n.6, p.847-852, 1979.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no crescimento de plantas. In: VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. (Eds.). **Teste de vigor em sementes**. Londrina: ABRATES, 1999, cap.2, p.1-21.

NASS, L.L.; LIMA, M.; VENCOVSKY, R.; GALLO, P.B. Combining ability of maize inbred lines evaluated in three environments in Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, n.1, p.129-134, 2000.

ODIEMAH, M. Quantitative inheritance of seed quality characteristics in maize (*Zea mays* L.). **Cereal Research Communications**, Szeged, v.17, n.1, p.245-251, 1989.

PATERNIANI, M.E.A.G.Z.; GUIMARÃES, P.S.; LÜDERS, R.R.; GALLO, P.B.; SOUZA, A.P.; LABORDA, P.R.; OLIVEIRA, K.M. Capacidade combinatória, divergência genética entre linhagens de milho e correlação com heterose. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.3, p.639-648, 2008.

PINTO, R.J.B. **Introdução ao melhoramento genético de plantas**. 2.ed. Maringá, EDUEM, 2009, 351p.

PINTO, R.J.B.; KVITSCHAL, M.V.; SCAPIM, C.A.; FRACARO, M.; BIGNOTTO, L.S.; SOUZA NETO, I.L. Análise dialélica parcial de linhagens de milho-pipoca. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.6, n.3, p.325-337, 2007a.

PINTO, R.J.B.; SCAPIM, C.A.; BARRETO, R.R.; RODOVALHO, M.A.; ESTEVES, N.; LOPES, A.D. Análise dialélica de linhagens de milho-pipoca. **Revista Ceres**, Viçosa, v.54, n.315, p.471-477, 2007b.

PRETE, C.E.C.; GUERRA, E.P. Qualidade fisiológica de sementes. In: DESTRO, D.; MONTALVÁN, R. **Melhoramento genético de plantas**. Londrina: Ed. UEL, 1999. 820p.

RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B.; PINTO, C.B.S. **Genética na Agropecuária**. 4.ed., Lavras: Editora UFLA, 2008. 464p.

SAWAZAKI, E. A cultura do milho pipoca no Brasil. **O Agrônomo**, Campinas, v.53, n.2, p.11-13, 2001.

SCAPIM, C.A.; CARVALHO, C.G.P.; CRUZ, C.A. Uma proposta de classificação dos coeficientes de variação para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.5, p.683-686, 1995.

SCAPIM, C.A.; PACHECO, C.A.P.; TONET, A.; BRACCINI, A.L.; PINTO, R.J. B. Análise dialélica e heterose de populações de milho-pipoca. **Bragantia**, Campinas, v.61, n.3, p.219-230, 2002.

SCOTT, A.J.; KNOTT, M. A Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v.30, n.3, p.507-512, 1974.

SEIFERT, A.L.; CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; FERREIRA, J.M.; GERAGE, A.C. Análise combinatória de populações de milho-pipoca em *topcrosses*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.5, p.771-778, 2006.

SPRAGUE, G.F.; TATUM, L.A. General vs specific combining ability in single crosses of corn. **Journal American Science Agronomy**, Washington, v.34, n.10, p.923- 932, 1942.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486 p.

VIEIRA, R.D.; KRZYZANOWSKI, F.C. Teste de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Eds.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. Cap.4, p.1-26.

ZINSLY, J.R.; MACHADO, J.A. Milho pipoca. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G.P. (Eds.). **Melhoramento e produção do milho**. Campinas: Fundação Cargill, 1987, p.413-421.

CAPÍTULO 2

ANÁLISE DIALÉLICA DA QUALIDADE FISIOLÓGICA E DA PRODUTIVIDADE DE SEMENTES DE MILHO

RESUMO. O presente trabalho teve por objetivos estimar, por meio de cruzamentos dialélicos, o tipo de ação gênica predominante para qualidade fisiológica das sementes e o rendimento e gerar informações sobre a capacidade geral de combinação de nove linhagens de milho e a capacidade específica das combinações híbridas. Para tanto, oito linhagens S_6 e uma S_8 foram inter cruzadas em esquema dialélico completo, com os recíprocos. Na avaliação da qualidade fisiológica das sementes foram utilizados os testes de germinação (primeira contagem-PC e contagem final-GER), classificação dos vigor das plântulas (PNF), frio modificado (FRIO), emergência das plântulas em leite de areia (EA) e velocidade de emergência em areia (fórmulas de velocidade de emergência-VE e índice da velocidade de emergência-IVE). Na avaliação das características agrônômicas, os 72 híbridos e as testemunhas comerciais CD 308, XB 8030, XB 7253, XB 6012, AS 1548, XB 8010, DKB 390, AG 8088 e DKB 177 foram alocados no delineamento em látice triplo, nas safras 2008/09 e 2009, em Maringá, Estado do Paraná. Utilizou-se o método 3 (modelo I) proposto por Griffing (1956), na análise dos dados. As características agrônômicas avaliadas foram: altura da planta (AP); altura de inserção da primeira espiga (AE); número de plantas acamadas (NPA); número de plantas quebradas (NPQ); estande final (SF); número de espigas mal empalhadas (NEME) e rendimento de grãos (RG). Houve maior importância dos genes de efeitos não-aditivos no controle genético da qualidade fisiológica de sementes de milho. As linhagens Flash, Dekalb350, 30F80, 8330 e CD3121-1 são promissoras para a obtenção de híbridos com sementes de qualidade superior. As combinações CD3121-1x30F80 e 8330xCD3121-1 devem ser utilizadas na obtenção de segregantes superiores para germinação e vigor de sementes de milho. Nos testes de FRIO e EA, houve efeito recíproco para os

híbridos CD3121-1xCD3121-2 e AG8080xSpeed, respectivamente. As linhagens Dekalb350 e AG8080 são de interesse para síntese de híbridos promissores para safra e safrinha na Região Noroeste do Paraná. Os híbridos simples CD3121-1x30F80 e 8330xAG8080 se destacaram para AP, AE e RG, mostrando-se promissores para cultivo em duas safras nessa mesma região do Paraná. Houve efeito recíproco nos híbridos FlashxStrike, 8330xSpeed para a característica altura de plantas. As linhagens Flash, Dekalb350 e 30F80 aliaram alta qualidade fisiológica e alto rendimento de grãos. As combinações CD3121-1x30F80, SpeedxCD3121-2, 8330xAG8080, Dekalb350xCD3121-2, são as mais promissoras entre os híbridos avaliados, com estimativas elevadas de CEC para qualidade fisiológica e rendimento, na safra normal.

Palavras-chave: *Zea mays* L., capacidade de combinação, germinação e vigor, rendimento de grãos.

DIALLEL ANALYSIS OF THE PHYSIOLOGICAL QUALITY AND YIELD OF CORN SEEDS

ABSTRACT. The objectives of the present work was to estimate, through diallel crosses, the prevailing type of gene action for the physiological quality of seeds and yield, as well as to generate data on the general combining ability of nine corn inbred lines and the specific combining ability of their hybrid combinations. Thus, eight S_6 lines and one S_8 line were crossbred in a complete diallel scheme, with reciprocal crosses. In the evaluation of the physiological quality of seeds they had used tests of germination (first count-PC, and final count-GER), modified cold (FRIO), seedling emergence in sand bed (EA) and speed of emergence in sand (emergence speed formulas-VE, and emergence speed index-IVE). For the evaluation of popping expansion and agronomic traits, the 72 hybrids and the CD 308, XB 8030, XB 7253, XB 6012, AS 1548, XB 8010, DKB 390, AG 8088 e DKB 177 commercial controls were allocated in a triple lattice design, during the 2008/09 and 2009 crop seasons, in Maringá, state of Paraná, Brazil. Method 3 (model I), as proposed by Griffing (1956), was used for data analysis. The evaluated agronomic traits were: plant height (AP); first ear insertion height (AE); number of lodged plants (NPA); number of broken plants (NPQ); final stand (SF); number of poorly hulled ears (NEME); and grain yield (RG). There was a greater importance of non-additive gene effects for the genetic control of the physiological quality of popcorn seeds. The inbred lines Flash, Dekalb350, 30F80, 8330 and CD3121-1 are promise for obtaining hybrids with superior seed quality. The combinations CD3121-1x30F80 and 8330xCD3121-1 they must be used to obtain superior segregates for germination and vigor of corn seeds. In the FRIO and EA tests, there is a reciprocal effect for hybrids CD3121-1xCD3121-2 and AG8080xSpeed, respectively. The inbred lines Dekalb350 and AG8080 are useful for the synthesis of promising hybrids for the regular and winter season harvests in northwestern Paraná. The single hybrids CD3121-1x30F80 and 8330xAG8080 stood out for AP, AE and RG, showing promise for cultivation in both yearly harvests in northwestern Paraná. There is a reciprocal effect in hybrids

FlashxStrike, 8330xSpeed for the plant height trait. The inbred lines Flash, Dekalb350 and 30F80 combined high physiological quality seeds and grain yield. The combinations CD3121-1x30F80, SpeedxCD3121-2, 8330xAG8080, Dekalb350xCD3121-2 are the most promising among the evaluated hybrids, with high SCA estimates for physiological quality seeds and yield during the regular season harvest.

Key Words: *Zea mays* L., combining ability, germination and vigour, grain yield.

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.), cultura típica do continente norte-americano, ocupa, na atualidade, o terceiro lugar em área semeada e o primeiro lugar em produção e produtividade no mundo entre as principais culturas produtoras de grãos (FORNASIERI FILHO, 2007). Sua importância econômica vai desde a alimentação até a indústria de alta tecnologia.

No Brasil, o milho é cultivado em duas safras, o que tem contribuído para a estabilização do mercado para este produto.

A produção brasileira no ano agrícola de 2008/09 foi de aproximadamente 33,6 milhões de toneladas, em uma área cultivada de 9,24 milhões de hectares (CONAB, 2009). O Brasil se destaca como o terceiro maior produtor mundial, ficando atrás apenas dos Estados Unidos e da China.

Os dados sobre o cultivo de milho demonstram a dinâmica dos programas de melhoramento, a confiança do setor na evolução da cultura e a importância do uso de sementes no aumento da produtividade (CRUZ; PEREIRA FILHO, 2009).

Atualmente, existem no mercado mais de 325 tipos de milho, graças aos avanços alcançados por meio do melhoramento genético (CRUZ; PEREIRA FILHO, 2009), todos em sua grande maioria obtidos por meio da exploração da heterose, especialmente em programas de milho híbrido.

Para a produção comercial de milho, é importante se ter híbridos que possuam alto potencial de rendimento e que respondam favoravelmente quando cultivados em diferentes ambientes (LOCATELLI et al., 2002; AGUIAR et al., 2004).

Uma das metodologias mais utilizadas na identificação de materiais promissores, que apresentam ampla variabilidade genética, é a análise dialélica. Esta técnica permite grande número de informações sobre a capacidade combinatória de genitores e híbridos (CRUZ et al., 2004).

Por meio da análise dialélica, diversas características têm sido avaliadas. No Brasil, há vários relatos de análises dialélicas em milho comum (PANDEY et al., 1991; ARAÚJO; MIRANDA FILHO, 2001; SILVA et al., 2001;

LOCATELLI et al., 2002; SILVA; MIRANDA FILHO, 2003; KVITSCHAL et al., 2004, PATERNIANI et al., 2008). Entretanto, a maioria dos trabalhos visa ao estudo de componentes de produtividade em detrimento a aspectos relacionados à qualidade fisiológica de sementes (GOMES et al., 2000).

Gomes et al. (2000), avaliando a capacidade combinatória de linhagens de milho tropical, observaram que a CGC e CEC, assim como os efeitos recíprocos, foram significativos ($p < 0,01$), e a magnitude dos componentes quadráticos evidenciou a maior importância dos efeitos não-aditivos para a maioria dos testes utilizados para a avaliação da qualidade fisiológica das sementes.

Trabalho de Rahman et al. (1994) para elucidar o controle genético de características das raízes de plântulas de milho demonstrou que as magnitudes relativas dos efeitos gênicos de dominância foram maiores do que os efeitos aditivos. Isso pode ser explicado em função da manifestação da heterose para a característica em questão (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

Hoecker et al. (2006) observaram alta heterose para caracteres avaliados nos estádios iniciais após a emergência, em trabalho que utilizou quatro linhagens de milho duro e dentado. Da mesma forma, Cervantes-Ortiz et al. (2007) também verificaram predominância de variância de dominância em caracteres de plântulas ao estudar a herança do vigor destas.

Em contrapartida, o trabalho de Barla-Szabo et al. (1989), com seis linhagens de milho temperado, indicou predominância dos genes de efeito aditivo no controle genético do vigor de sementes. Os autores verificaram que, apesar das menores magnitudes, os efeitos gênicos não-aditivos também devem ser levados em consideração.

Nesse contexto, pode-se aferir que existem contradições a respeito da herança para qualidade fisiológica das sementes e que esta merece atenção especial, visto sua crucial importância no estabelecimento inicial de qualquer cultivo. Logo, os programas de melhoramento devem procurar selecionar materiais para as condições prevaescentes tanto em épocas distintas de semeadura, mas também levar em consideração o desempenho das sementes.

Um grupo de pesquisa ligado à Universidade Estadual de Maringá vem desenvolvendo linhagens endogâmicas de milho, com o intuito de obter híbridos com elevada qualidade de sementes que sejam adaptados à Região

Noroeste do Paraná. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivos estimar, por meio de cruzamentos dialélicos, o tipo de ação gênica predominante para qualidade fisiológica das sementes e gerar informações sobre a capacidade geral de combinação de nove linhagens de milho e a capacidade específica das combinações híbridas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido na Fazenda Experimental de Iguatemi (FEI) e no Laboratório de Tecnologia de Sementes do Núcleo de Pesquisa Aplicada à Agricultura (NUPAGRI), pertencentes ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá.

A FEI situa-se em Maringá, Região Noroeste do Estado do Paraná, situada a 23°25' de latitude sul e 51°57' de longitude a oeste de Greenwich e a 540 m de altitude. O clima predominante na região é do tipo Cfa, segundo classificação de Köppen (IAPAR, 1987).

2.1 Obtenção dos híbridos

Primeiramente, realizou-se a seleção das linhagens, a qual se baseou na alta capacidade geral de combinação que estas apresentaram em experimentos prévios.

Em outubro de 2007, foi instalado o campo de polinização, utilizando-se nove linhagens de milho (Quadro 1) do programa de melhoramento da Universidade Estadual de Maringá, para a obtenção dos híbridos. Constituiu-se, portanto, um dialelo completo de milho, com 72 materiais, incluindo os recíprocos.

O campo para obtenção das sementes das linhagens e dos híbridos foi instalado com as nove linhagens a serem cruzadas, as quais foram cultivadas em fileiras, aos pares, cada qual contendo 10 m de comprimento, espaçada em 0,90 m da outra fileira e com espaçamento entre plantas de 0,20 m. Foram realizados, pelo menos, 15 cruzamentos para cada combinação híbrida.

Os tratos culturais foram realizados conforme o recomendado para a cultura (FANCELLI; DOURADO NETO, 2007).

Quadro 1 – Características das linhagens de milho utilizadas na obtenção dos híbridos.

Linhagem	Geração de autofecundação	Empresa	Cor dos grãos	Tipo – Material original	Textura do grão
Dow 8330	S ₆	Dow	Alaranjado	HT ¹	Duro
		AgroSciences			
CD3121-1	S ₆	Coodetec	Amarelo	HS	SmDent ³
AG8080	S ₈	Agrocere	Amarelo/ Alaranjado	HT ²	Semiduro
Flash	S ₆	Syngenta	Alaranjado	HS	Duro
Dekalb 350	S ₆	Monsanto	Alaranjado	HT	Semiduro
P 30F80	S ₆	Pioneer	Alaranjado	HS	Duro
Strike	S ₆	Syngenta	Alaranjado	HS	Semiduro
Speed	S ₆	Syngenta	Alaranjado	HS	Duro
CD3121-2	S ₆	Coodetec	Amarelo	HS	SmDent ³

¹HS: híbrido simples;

²HT: híbrido triplo;

³SmDent: Semidentado.

Os cruzamentos foram realizados manualmente entre as plantas dos pares de fileiras. Para tanto, realizou-se a cobertura dos pendões maduros com saco de papel 'kraft', de determinada planta de uma fileira. Em seguida, o saco foi utilizado para encobrimento de espiga apta para polinização de planta da correspondente fileira-par. Foram realizadas todas as polinizações de espigas por par de fileiras, para a obtenção de suficiente quantidade de sementes para a continuidade do processo.

Após a colheita e secagem, as espigas foram debulhadas manualmente e armazenadas em câmara fria à temperatura de aproximadamente 10°C e umidade relativa abaixo de 40%, até o início das avaliações de laboratório.

2.2 Avaliação da qualidade fisiológica

A qualidade fisiológica das sementes foi avaliada por meio dos testes de germinação (primeira contagem-PC e contagem final-GER), classificação do

vigor das plântulas (PNF), frio modificado (FRIO), emergência das plântulas em leito de areia (EA) e velocidade de emergência em areia (fórmulas de velocidade de emergência-VE e índice da velocidade de emergência-IVE), os quais são descritos a seguir.

Teste de germinação (GER): realizado com quatro subamostras compostas por 50 sementes para cada tratamento e repetição. As sementes foram semeadas entre três folhas de papel toalha umedecidas com água destilada, utilizando-se a quantidade de água equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco. Foram confeccionados rolos, os quais foram transferidos para germinador de sementes do tipo *Mangelsdorf*, regulado para manter constante a temperatura de 25°C. Foram realizadas avaliações do número de plântulas normais aos quatro e sete dias após a semeadura. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais, segundo as prescrições contidas nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

Primeira contagem do teste de germinação (PC): foi efetuada em conjunto com o procedimento anterior, utilizando-se a mesma metodologia, computando-se a porcentagem de plântulas normais obtidas no quarto dia após a semeadura, de acordo com as prescrições contidas nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

Teste de classificação do vigor das plântulas (PNF): efetuado em conjunto ao teste de germinação. Foram empregadas quatro repetições de 50 sementes. As sementes foram posicionadas entre três folhas de papel toalha umedecidas com água destilada, utilizando-se a quantidade de água equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco. Foram confeccionados rolos, os quais foram levados para o germinador do tipo *Mangelsdorf*, regulado para manter constante a temperatura de 25°C.

A avaliação das plântulas normais foi realizada aos quatro e sete dias após a semeadura. As plântulas normais foram classificadas nas categorias normais fortes e normais fracas. Na primeira contagem, todas as plântulas normais que se apresentaram bem desenvolvidas e morfológicamente perfeitas foram removidas e computadas como normais fortes (vigorosas). As plântulas que não preencheram os requisitos de plântulas normais fortes permaneceram no teste até a contagem final. Na contagem final do teste, todas as plântulas remanescentes foram avaliadas como normais ou anormais. As plântulas

normais foram classificadas como normais fortes (vigorosas) e normais fracas (pouco vigorosas), de acordo com metodologia descrita por Nakagawa (1999).

Teste de frio modificado (FRIO): realizado com quatro subamostras compostas por 50 sementes por tratamento e repetição. A semeadura foi realizada entre três folhas de papel toalha previamente umedecidas com água destilada, na proporção de 2,5 vezes a massa do papel seco. Os rolos confeccionados foram envoltos por sacos plásticos e lacrados com fita adesiva, permanecendo nessa condição por um período de sete dias em câmara de germinação do tipo BOD, em ausência de luz e à temperatura constante de 10°C. Ao término desse período, os rolos foram retirados dos sacos plásticos e transferidos para germinador com temperatura constante de 25°C, por quatro dias. Posteriormente, realizou-se a avaliação, computando-se o número de plântulas normais, conforme metodologia descrita por Barros et al. (1999). Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais, segundo os critérios adotados para o teste de germinação (BRASIL, 2009).

Emergência das plântulas em leito de areia (EA): conduzida com quatro subamostras de 50 sementes para cada tratamento e repetição. A areia utilizada foi previamente lavada e colocada em bandejas plásticas, sendo irrigada durante dois dias consecutivos para acomodação do leito. Na semeadura foram abertos sulcos longitudinais em cada bandeja, com 3 cm de profundidade e espaçados de 4 cm entre si, utilizando-se 50 sementes por sulco. O teste foi realizado sob condições de casa-de-vegetação e a umidade mantida com irrigações moderadas, uma vez ao dia no início da manhã. Quando as plântulas começaram a emergir, realizou-se irrigação mais constante, até duas vezes ao dia, no início da manhã e final da tarde, para se facilitar o rompimento da camada de areia. Foram efetuadas anotações diárias do número de plântulas emergidas até que este número se mantivesse constante. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais, obtidas no 15º dia após a semeadura, conforme as prescrições contidas nas Regras para Análises de Sementes (BRASIL, 2009).

Velocidade de emergência em areia (VE): conduzido em conjunto com o teste de emergência em leito de areia. As contagens do número de plântulas emergidas, ou seja, aquelas que apresentaram crescimento de 1 cm da parte aérea, foram realizadas diariamente, sem que estas fossem descartadas,

obtendo-se, portanto, um valor cumulativo. Dessa maneira, o número de plântulas emergidas referentes a cada contagem foi obtido, subtraindo-se o valor lido no dia da leitura com o valor referente à leitura do dia anterior. Dessa forma, com o número de plântulas emergidas referentes a cada leitura, obtidos em casa-de-vegetação (leito de areia), foram calculados a velocidade de emergência (VE) e o índice de velocidade de emergência (IVE), empregando-se as seguintes fórmulas:

a) velocidade de emergência (EDMOND; DRAPALA, 1958):

$$VE = \frac{(N_1G_1) + (N_2G_2) + \dots + (N_nG_n)}{G_1 + G_2 + \dots + G_n}, \text{ em que:}$$

VE = velocidade de emergência (dias);

G = número de plântulas emergidas observadas em cada contagem;

N = número de dias da semeadura a cada contagem.

b) índice de velocidade de emergência (MAGUIRE, 1962):

$$IVE = \frac{G_1}{N_1} + \frac{G_2}{N_2} + \dots + \frac{G_n}{N_n}, \text{ em que:}$$

IVE = índice de velocidade de emergência;

G e N = possuem o mesmo significado da fórmula de velocidade de emergência.

2.3 Avaliação dos híbridos e testemunhas

O experimento foi conduzido em duas épocas, semeado em setembro de 2008 (safra normal) e março de 2009 (safrinha).

Instalou-se o experimento a campo, no qual as populações de híbridos de milho (F_1 's e recíprocos) foram semeadas juntamente com nove cultivares comerciais (CD 308, XB 8030, XB 7253, XB 6012, AS 1548, XB 8010, DKB 390, AG 8088 e DKB 177). O experimento consistiu em látice triplo, com 81 tratamentos, incluindo-se as testemunhas.

A unidade experimental foi formada por uma fileira com 5,0 m de comprimento, espaçamento de 0,90 m entre linhas e 0,20 m entre plantas, perfazendo uma área útil de 4,5 m², após o desbaste.

O solo do local é caracterizado como Latossolo Vermelho eutrófico de textura média (EMBRAPA, 2006). Os dados da análise de solo da área experimental encontram-se descritos no Quadro 2.

Quadro 2 – Resultados da análise química do solo na camada de 0 - 20 cm do solo Argissolo Vermelho eutrófico, antes da implantação da cultura.

Profundidade (cm)	P ⁽¹⁾ mg dm ⁻³	pH ⁽²⁾		H ⁺ +Al ³⁺	Al ³⁺ (3)	K ⁺ (1)	Ca ⁺² (3)	Mg ⁺² (3)	SB	CTC	V	C ⁽⁴⁾
		CaCl ₂	H ₂ O	----- cmol _c dm ⁻³ -----							%	g dm ⁻³
0 – 20	8,6	5,3	6,1	3,68	0,0	0,30	4,19	1,37	5,86	9,54	61,43	9,58

(¹) Extrator Mehlich 1; (²) CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹; (³) KCl 1 mol L⁻¹; (⁴) Método Walkley-Black.

A área experimental foi previamente dessecada com Roundup (glifosato), na dosagem recomendada pelo fabricante. A adubação de base com 300 kg ha⁻¹ da formulação 4-14-8, ou seja, 12 kg ha⁻¹ de nitrogênio, 42 kg ha⁻¹ de fósforo, na forma de superfosfato simples, e 24 kg ha⁻¹ de potássio, na forma de KCl, na safra normal e 300 kg ha⁻¹ da formulação 4-20-20, ou seja, 12 kg ha⁻¹ de nitrogênio, 60 kg ha⁻¹ de fósforo, na forma de superfosfato simples e 60 kg ha⁻¹ de potássio, na forma de KCl, na safrinha. Na adubação de cobertura, foi utilizada ureia na dose de 150 kg ha⁻¹ aplicada aos 25 dias após a emergência, quando as plantas apresentavam de oito a dez folhas totalmente expandidas. O tratamento de sementes foi realizado, utilizando-se CropStar (Imidacloprid + Thiodicarb) na dosagem de 0,30 L ha⁻¹ e para o controle de lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) e outros insetos utilizaram-se Karate 50 EC (Lambda-cialotrina), Macht EC (Lefenuron Benzoiluréia) e Lorsban 480 BR (Clorpirifós) nas dosagens 150, 300 e 350 mL ha⁻¹, respectivamente. O controle de plantas daninhas foi realizado com Primestra Gold (370 g L⁻¹ de Atrazine + 290 g L⁻¹ de S-metolachlor) na dosagem de 4,0 L ha⁻¹ (p.c.) em pré-emergência.

A colheita das espigas foi realizada em fevereiro e julho de 2009, safra e safrinha, respectivamente. As espigas foram colhidas manualmente com umidade próxima de 18%. Após, foram pesadas e as massas das espigas obtidas em cada parcela foram utilizadas no cálculo do rendimento de grãos.

As características agronômicas avaliadas foram:

a) altura da planta (AP): expressa em cm, avaliada após o pendoamento, foi tomada desde o nível do solo até a lígula da folha bandeira, obtendo-se, desta forma, a média proveniente de três plantas representativas;

b) altura de inserção da primeira espiga (AE): expressa em cm, obtida pela média das mesmas três plantas utilizadas na altura de plantas, pela quantificação da distância, em cm, do nível do solo à base de inserção da espiga superior;

c) número de plantas acamadas (NPA): obtido pelo número de plantas acamadas na parcela. Na ocasião da colheita, foram consideradas plantas acamadas aquelas que apresentaram um ângulo de inclinação superior a 45°, em relação à vertical;

d) número de plantas quebradas (NPQ): obtido pelo número de plantas quebradas na parcela. Na ocasião da colheita, foram consideradas plantas quebradas aquelas que estavam com o colmo quebrado, abaixo da espiga superior;

e) estande final (SF): obtido pelo número de plantas na parcela, por ocasião da colheita;

f) número de espigas mal empalhadas (NEME): obtido pela contagem do número de espigas que não foram totalmente cobertas por palha na parcela;

h) rendimento de grãos (RG): determinado por meio da pesagem dos grãos após a eliminação do sabugo sendo expresso em kg ha⁻¹. Os dados referentes ao rendimento de grãos foram corrigidos para a umidade padrão de 13% base úmida.

2.4 Análise estatística

Os testes realizados para avaliação da qualidade fisiológica seguiram o delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições.

Os dados obtidos no campo, utilizando-se látice triplo em duas safras (2008/09 e 2009), foram avaliados por meio de análises individuais e conjunta.

Os resultados obtidos foram analisados por meio da análise de variância com probabilidade em nível de 1 e 5% de significância pelo teste F. Com base nos resultados da análise de variância individual, as somas de

quadrados dos tratamentos foram decompostas em capacidade geral (CGC) e específica de combinação (CEC). Na análise conjunta, as somas de quadrados dos tratamentos foram desdobradas em capacidade geral (CGC) e específica de combinação (CEC) e suas interações com as safras. Para a decomposição, utilizou-se o método 3 de Griffing, respectivamente, no modelo fixo (GRIFFING, 1956), com a utilização do programa computacional GENES da Universidade Federal de Viçosa – UFV (CRUZ, 2007).

A comparação das médias foi realizada pelo método de agrupamento de Scott e Knott (1974), em nível de 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Qualidade fisiológica

3.1.1 Análise de variância

Os quadrados médios para as características relacionadas à qualidade fisiológica de sementes de milho foram significativos pelo teste F a 1% de probabilidade, exceto para VE que não foi significativo e IVE que apresentou significância a 5% de probabilidade (Quadros 3 e 4). Isso é um indício de que há suficiente variabilidade genética nos genitores e híbridos do dialelo, o que é de fundamental importância para a obtenção de ganhos genéticos em futuros trabalhos de melhoramento com as populações.

Os baixos valores dos coeficientes de variação (CV%) para todos os caracteres avaliados confirmam maior confiabilidade nos resultados obtidos.

Quadro 3 – Quadrados médios da primeira contagem (PC) e contagem final da germinação (GER) e plântulas normais fortes (PNF) de 72 híbridos simples de milho, produzidos em Maringá-PR, em 2007/2008.

Fontes de variação	GL	Quadrados médios		
		PC (%)	GER (%)	PNF (%)
Tratamentos	71	248,32*	51,11*	117,66*
Resíduo	216	12,74	7,92	11,77
Média	-	83,00	95,80	90,97
C. V. (%)	-	4,30	2,94	3,77

* Significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

Quadro 4 – Quadrados médios referentes aos testes de frio modificado (FRIO), emergência das plântulas em substrato de areia (EA), velocidade de emergência (VE) e índice de velocidade de emergência (IVE) de 72 híbridos simples de milho, produzidos em Maringá-PR, em 2007/2008.

Fontes de variação	GL	Quadrados médios			
		FRIO (%)	EA (%)	VE (dias)	IVE
Tratamentos	71	159,32*	20,65*	0,20 ^{ns}	1,14**
Resíduo	216	11,43	3,55	0,19	0,75
Média	-	90,58	98,10	5,19	9,63
C. V. (%)	-	3,73	1,92	8,45	8,99

* Significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

** Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

^{ns} Não-significativo.

3.1.2 Teste de agrupamento de médias

As médias dos tratamentos estão apresentadas no Quadro 5. Houve diferenças significativas para todos os testes avaliados em nível de 5% pelo teste de agrupamento de Scott e Knott (1974), com exceção do VE, no qual a média para a velocidade de emergência das plântulas foi de 5,2 dias.

As maiores diferenças significativas entre as médias foram observadas no teste de primeira contagem do teste de germinação (PC), no qual os híbridos CD3121-1x8330, FlashxAG8080, CD3121-2xAG8080, FlashxStrike, FlashxCD3121-2 se destacaram por apresentarem maior vigor. Segundo Nakagawa (1999), este teste, por expressar o resultado em porcentagem de plântulas normais, oferece melhores condições de entendimento e comparação com o da germinação. Assim, pode-se considerar que, quanto mais próximos aos valores da germinação, dentro dos padrões de sementes certificadas (85%), mais vigoroso é o híbrido.

Quadro 5 – Médias obtidas nos testes de primeira contagem (PC), contagem final da germinação (GER), plântulas normais fortes (PNF), frio modificado (FRIO) e condutividade elétrica (COE), emergência das plântulas em substrato de areia (EA), velocidade de emergência (VE), índice de velocidade de emergência (IVE), avaliadas em Maringá, PR.

Híbridos	Médias**						
	PC (%)	GER (%)	PNF (%)	FRIO (%)	EA (%)	VE (dias)	IVE
8330xCD3121-1*	91,0 b	100,0 a	96,0 a	98,5 a	99,0 a	5,6 a	9,1 b
CD3121-1x8330	93,5 a	99,5 a	96,5 a	94,0 a	99,5 a	5,3 a	9,5 b
8330xAG8080	85,0 d	98,0 a	95,0 a	99,5 a	99,0 a	5,3 a	9,4 b
AG8080x8330	80,0 e	94,0 b	87,0 c	94,0 a	95,5 b	5,2 a	9,0 b
8330xFlash	87,0 c	98,5 a	95,0 a	97,5 a	99,0 a	5,1 a	10,0 a
Flashx8330	91,0 b	95,0 a	94,5 a	95,5 a	99,0 a	4,9 a	10,3 a
8330xDekalb350	77,5 f	95,0 a	86,5 c	86,5 c	99,5 a	5,4 a	9,2 b
Dekalb350x8330	73,0 g	95,0 a	88,0 c	97,5 a	99,0 a	5,4 a	9,3 b
8330x30F80	85,0 d	96,0 a	93,0 b	95,5 a	99,0 a	5,1 a	9,8 a
30F80x8330	89,0 c	93,5 b	93,5 a	89,5 b	93,5 b	5,1 a	9,4 b
8330xStrike	79,0 e	93,0 b	87,0 c	72,0 e	97,5 a	5,3 a	9,5 b
Strikex8330	81,5 e	91,0 b	87,0 c	86,0 c	94,5 b	5,3 a	9,1 b
8330xSpeed	86,0 d	98,5 a	94,0 a	83,0 c	99,0 a	5,3 a	9,4 b
Speedx8330	87,5 c	94,5 a	91,5 b	95,0 a	97,0 a	5,0 a	9,9 a
8330xCD3121-2	81,5 e	94,0 b	91,5 b	84,0 c	95,0 b	5,2 a	9,3 b
CD3121-2x8330	79,0 e	92,5 b	84,0 d	89,5 b	100,0 a	5,0 a	10,1 a
CD3121-1xAG8080	81,0 e	96,0 a	90,0 b	92,0 b	99,5 a	5,1 a	10,0 a
AG8080xCD3121-1	82,5 d	93,0 b	90,5 b	89,0 b	97,5 a	5,4 a	9,1b
CD3121-1xFlash	77,0 f	95,5 a	88,0 c	82,0 d	97,5 a	5,0 a	9,8 a
FlashxCD3121-1	81,0 e	85,5 c	83,0 d	71,0 e	95,0 b	4,9 a	9,8 a
CD3121-1xDekalb350	86,5 c	99,0 a	94,5 a	95,0 a	100,0 a	5,2 a	9,9 a
Dekalb350xCD3121-1	72,0 g	96,5 a	89,5 b	91,5 b	100,0 a	5,3 a	9,6 b
CD3121-1x30F80	88,5 c	98,5 a	94,0 a	95,0 a	98,0 a	4,7 a	10,4 a
30F80xCD3121-1	89,0 c	98,5 a	96,0 a	97,5 a	100,0 a	5,2 a	9,8 a
CD3121-1xStrike	82,0 e	92,0 b	85,5 c	84,5 c	97,0 a	4,9 a	10,1 a
StrikexCD3121-1	85,5 d	92,5 b	88,5 c	95,0 a	98,5 a	5,4 a	9,3 b
CD3121-1xSpeed	88,5 c	96,5 a	94,0 a	91,0 b	98,5 a	5,2 a	9,6 b
SpeedxCD3121-1	92,5 b	98,0 a	97,0 a	96,5 a	98,5 a	4,9 a	10,2 a
CD3121-1xCD3121-2	85,5 d	93,5 b	88,0 c	90,0 b	97,0 a	5,1 a	9,6 b
CD3121-2xCD3121-1	87,5 c	97,0 a	92,5 b	96,5 a	99,5 a	5,3 a	9,7 b
AG8080xFlash	88,5 c	97,0 a	93,0 b	96,5 a	99,5 a	5,3 a	9,7b
FlashxAG8080	95,5 a	98,0 a	97,0 a	96,0 a	99,5 a	4,9 a	10,3 a
AG8080xDekalb350	64,0 h	88,0 c	75,5 e	85,5 c	96,5 a	5,4 a	8,8 b
Dekalb350xAG8080	74,5 f	97,5 a	89,5 b	96,5 a	100,0 a	5,4 a	9,5 b
AG8080x30F80	73,0 g	88,5 c	81,5 d	85,5 c	92,0 b	5,2 a	8,9 b
30F80xAG8080	89,0 c	98,0 a	97,0 a	97,0 a	97,5 a	5,3 a	9,4 b
AG8080xStrike	84,5 d	98,5 a	92,0 b	96,5 a	99,0 a	5,3 a	9,7 b
StrikexAG8080	80,5 e	91,5 b	86,0 c	90,5 b	94,0 b	5,3 a	9,0 b
AG8080xSpeed	65,5 h	85,0 c	75,0 e	89,5 b	96,0 b	5,4 a	8,9 b
SpeedxAG8080	89,0 c	98,0 a	94,5a	98,0 a	100,0 a	4,9 a	10,4 a
AG8080xCD3121-2	75,5 f	88,5 c	83,5 d	88,0 b	86,5 c	5,2 a	8,5 b
CD3121-2xAG8080	95,5 a	99,0 a	95,0 a	87,0 c	99,5 a	5,0 a	10,2 a
FlashxDekalb350	92,0 b	97,5 a	95,5 a	93,5 a	100,0 a	5,1 a	10,1 a

* Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de agrupamento de Scott-Knott (1974), a 5% de probabilidade.

Quadro 5, Cont.

Híbridos	Médias						
	PC (%)	GER (%)	PNF (%)	FRIO (%)	EA (%)	VE (dias)	IVE
Dekalb350xFlash	90,0 b	97,5 a	94,5 a	96,0 a	98,5 a	5,5 a	9,0 b
Flashx30F80	92,5 b	97,5 a	96,5 a	88,5 b	100,0 a	4,7 a	10,9 a
30F80xFlash	90,5 b	97,5 a	95,0 a	89,5 b	99,0 a	4,9 a	10,4 a
FlashxStrike	96,0 a	99,0 a	98,0 a	92,0 b	99,5 a	4,8 a	10,6 a
StrikexFlash	84,0 d	97,0 a	94,0 a	92,5 b	99,5 a	5,4 a	9,6 b
FlashxSpeed	91,5 b	100,0 a	99,0 a	96,5 a	100,0 a	4,9 a	10,4 a
SpeedxFlash	87,0 c	95,5 a	92,0 b	92,5 b	98,5 a	4,9 a	10,1 a
FlashxCD3121-2	96,5 a	99,5 a	99,0 a	86,5 c	100,0 a	4,7 a	10,7 a
CD3121-2xFlash	90,0 b	99,0 a	93,5 a	88,5 b	100,0 a	4,9 a	10,4 a
Dekalb350x30F80	67,5 h	99,5 a	89,5 b	96,0 a	100,0 a	5,5 a	9,4 b
30F80xDekalb350	70,0 g	93,5 b	82,5 d	92,0 b	97,0 a	5,6 a	8,8 b
Dekalb350xStrike	78,0 f	99,0 a	91,0 b	93,0 b	100,0 a	5,5 a	9,1 b
StrikexDekalb350	75,0 f	95,0 a	84,5 d	88,5 b	98,0 a	5,4 a	9,3 b
Dekalb350xSpeed	67,5 h	97,5 a	87,0 c	95,5 a	99,0 a	5,7 a	8,7 b
SpeedxDekalb350	83,5 d	98,0 a	94,0 a	94,0 a	98,0 a	5,1 a	9,9 a
Dekalb350xCD3121-2	79,5 e	99,5 a	95,0 a	95,5 a	100,0 a	5,5 a	9,4 b
CD3121-2xDekalb350	73,0 g	96,5 a	85,0 d	89,0 b	99,5 a	5,2 a	9,7 a
30F80xStrike	76,0 f	99,0 a	94,5 a	95,5 a	98,5 a	5,2 a	9,6 b
Strikex30F80	83,0 d	95,5 a	90,0 b	93,0 b	99,0 a	5,3 a	9,4 b
30F80xSpeed	79,0 e	98,5 a	94,5 a	92,5 b	97,0 a	5,3 a	9,3 b
Speedx30F80	81,5 e	98,0 a	90,5 b	92,0 b	97,5 a	5,2 a	9,3 b
30F80xCD3121-2	88,5 c	99,0 a	97,5 a	92,0 b	99,0 a	5,4 a	9,3 b
CD3121-2x30F80	77,0 f	89,0 c	82,5 d	81,5 d	97,5 a	5,2 a	9,5 b
StrikexSpeed	63,5 h	87,5 c	77,5 e	74,0 e	94,0 b	5,5 a	8,2 b
SpeedxStrike	86,0 b	98,5 a	96,5 a	84,0 c	98,5 a	4,9 a	10,1 a
StrikexCD3121-2	81,5 e	95,5 a	90,5 b	89,5 b	97,0 a	5,2 a	9,4 b
CD3121-2xStrike	84,5 d	95,5 a	90,0 b	79,5 d	99,0 a	5,2 a	9,8 a
SpeedxCD3121-2	82,0 e	97,0 a	95,5 a	80,0 d	99,0 a	5,0 a	10,0 a
CD3121-2xSpeed	89,5 c	99,0 a	94,5 a	78,5 d	99,5 a	5,1 a	9,8 a
Média	83,0	95,8	91,0	90,6	98,1	5,2	9,7

* Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de agrupamento de Scott-Knott (1974), a 5% de probabilidade.

No teste de germinação (GER) houve a formação de três grupos distintos de médias, sendo que, apesar de haver diferenças significativas entre a porcentagem de germinação, a maioria dos híbridos apresentou altos valores, ou seja, acima de 90%, com exceção dos híbridos FlashxCD3121-1, AG8080xDekalb350, AG8080x30F80, AG8080xSpeed, AG8080xCD3121-2, CD3121-2x30F80 e StrikexSpeed.

O mesmo comportamento foi observado no teste de emergência em substrato de areia (EA), em que a maioria dos híbridos apresentou elevada porcentagem de emergência em areia, ou seja, acima de 90%. Porém, apenas

o híbrido AG8080xCD3121-2 apresentou baixo valor, sendo considerado, portanto, de baixo vigor.

No teste de classificação do vigor das plântulas (PNF), dos 72 híbridos avaliados, 33 (45,8%) apresentaram comportamentos significativamente superiores aos demais, estando estes entre os que apresentaram a maior porcentagem de plântulas normais no teste de germinação. Segundo Nakagawa (1999), a classificação do vigor consiste em se separar as plântulas normais em duas categorias, fortes e fracas. Tal aferição indica com maior precisão a separação entre lotes, cujas sementes apresentam pequenos problemas (menos vigorosas) daquelas que não os apresentam ou os possuem em menor intensidade.

Em relação ao teste de velocidade de emergência (VE), em que os menores valores referem-se à maior velocidade das plântulas em emergirem (NAKAGAWA, 1999), não houve diferença significativa entre os híbridos avaliados.

No teste de frio modificado (FRIO) houve a formação de cinco grupos de médias que diferiram estatisticamente entre si. Os 29 materiais que apresentaram as maiores médias no teste de frio estão entre os que apresentaram as maiores porcentagens de plântulas normais no teste de germinação. Do ponto de vista da tecnologia e produção de sementes, esse é um bom indicativo do vigor das sementes. De acordo com Marcos Filho (1999), os testes de vigor possibilitam avaliar ou detectar diferenças significativas na qualidade fisiológica entre lotes de sementes que apresentam poder germinativo semelhante.

No entanto, percebe-se que nem sempre os híbridos que se destacaram no teste de GER foram os que se sobressaíram nos demais testes. Esse resultado confirma as aferições de Marcos Filho (1999), o qual comenta que, se as condições de campo na época de semeadura forem desfavoráveis, o teste de germinação apresentará baixa sensibilidade e, nesse caso, os testes de vigor representarão melhor o desempenho do lote no campo. Assim, para se indicar um material mais promissor para qualidade fisiológica de sementes, é necessário se levar em consideração, além do teste de germinação, outros testes relativos ao vigor das sementes.

Os híbridos CD3121-2xAG8080, FlashxStrike e FlashxCD3121-2 apresentaram as melhores médias em quase todos os testes, com exceção do teste de frio. No entanto, segundo Grabe (1976), os lotes de qualidade adequada devem apresentar, no mínimo, 70 a 80% de plântulas normais como resultado do teste de frio. Portanto, apesar das diferenças significativas entre os híbridos citados, para o teste de frio, todos podem ser considerados de alta qualidade fisiológica.

Em geral, o híbrido que apresentou as melhores médias em todos os testes foi o FlashxAG8080. Os híbridos CD3121-1x8330, Flashx8330, SpeedxCD3121-1, FlashxDekalb350, FlashxStrike e FlashxSpeed também se sobressaíram em seis dos testes avaliados. Logo, tais híbridos são valiosos quando se busca estabelecer campos de sementes com elevada qualidade, mesmo em condições adversas de ambiente, como baixa temperatura durante a semeadura.

3.1.3 Análise da capacidade combinatória

Os quadrados médios da CGC, CEC e ER para os caracteres avaliados foram significativos pelo teste F a 1% de probabilidade em quase todas as características avaliadas, exceto nos testes de VE e IVE, que não foram significativos para CEC e ER (Quadro 6). Desta forma, a CEC tem pouca importância nesses caracteres.

Os quadrados médios significativos revelam a existência de variabilidade, resultante da ação de efeitos aditivos e não-aditivos no controle da expressão gênica. A significância dos quadrados médios dos ER indica a existência de diferenças significativas quanto à qualidade fisiológica das sementes dos híbridos e dos híbridos recíprocos (efeito maternal).

De acordo com Cruz et al. (2004), a ocorrência de significância das variações atribuídas aos efeitos não-aditivos viabiliza o uso de cruzamentos entre os materiais avaliados na obtenção de híbridos comerciais, fundamentado na manifestação do efeito heterótico dessas combinações. Já a ocorrência de significância das variações atribuídas aos efeitos aditivos viabiliza a indicação de genitores a serem utilizados em programas de melhoramento intrapopulacional.

Quadro 6 – Análise de variância para os testes de primeira contagem (PC), contagem final da germinação (GER), classificação do vigor das plântulas (PNF), frio modificado (FRIO), condutividade elétrica (COE), emergência das plântulas em areia (EA), velocidade de emergência (VE) e índice de velocidade de emergência (IVE), para um dialelo que envolve híbridos (F_1 's e recíprocos) de nove genitores de milho.

Fontes de variação	GL	Quadrados médios						
		PC (%)	GER (%)	PNF (%)	FRIO (%)	EA (%)	VE (dias)	IVE
CGC	8	884,66*	46,42*	209,08*	289,05*	32,25*	0,80*	3,74*
CEC	27	166,45*	45,10*	85,60*	207,17*	14,86*	0,09 ^{ns}	0,50 ^{ns}
ER	36	168,32*	56,67*	121,39*	94,61*	22,40*	0,16 ^{ns}	1,04 ^{ns}
Resíduo	216	12,74	7,92	11,77	11,43	3,55	0,19	0,75
Médias dos quadrados dos efeitos fixos								
CGC		15,57	0,69	3,52	4,96	0,51	0,011	0,05
CEC		19,21	4,65	9,23	24,47	1,41	-	-
ER		19,45	6,09	13,70	10,40	2,36	-	-

* Significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

^{ns} Não-significativo.

Os componentes quadráticos associados ao efeito da capacidade específica (CEC) foram maiores do que aqueles associados à capacidade geral de combinação (CGC) para os caracteres PC, GER, PNF, FRIO e EA, evidenciando a maior importância dos efeitos não-aditivos, em relação aos demais. Esses resultados se contrapõem aos encontrados por Odiemah (1989), em que a herança desse caráter ocorreu em virtude principalmente dos genes de efeito aditivo e parcialmente em consequência dos genes de efeito não-aditivo e também dos observados por Barla-Szabo et al. (1989), em que a herança genética do vigor de sementes foi influenciada pelos genes de efeito aditivo. Antuna et al. (2003) também observaram maior importância dos efeitos aditivos na germinação e vigor de sementes de milho. No entanto, esses resultados concordam com os observados por Gomes et al. (2000) e Cervantes-Ortiz et al. (2007), que constataram maior importância dos genes de efeito não-aditivo no controle genético da qualidade fisiológica de sementes de

milho. Rahman et al. (1994) também observaram maiores magnitudes para os genes de efeito dominante, ao estudarem o padrão de herança para características das radículas de plântulas de milho.

Os componentes quadráticos, pelos efeitos recíprocos (ER), apresentaram-se quase sempre superiores aos efeitos da CEC, evidenciando maior importância dos genes de efeito materno. Resultados esses que se contrapõem aos observados por Gomes et al. (2000), em que tais componentes quase sempre se apresentaram inferiores aos efeitos da CEC no controle genético da qualidade fisiológica de sementes de milho.

3.1.4 Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC)

As estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) e da capacidade específica de combinação (CEC) dependem do conjunto particular das linhagens incluídas nos híbridos sob avaliação. Portanto, inferências válidas podem ser feitas somente acerca do material experimental utilizado (GRIFFING, 1956).

As estimativas $\hat{g}_{i's}$ variaram entre os testes empregados (Quadro 7). Isso pode ser explicado em razão dos princípios em que cada teste se baseia.

Na característica PC, os genitores Flash, CD3121-1, 8330 e CD3121-2 apresentaram efeitos positivos de $\hat{g}_i$, em magnitudes decrescentes, nesta ordem, indicando que são genótipos de interesse para contribuir para aumentos no vigor de sementes observados a partir da porcentagem de plântulas normais na primeira contagem da germinação. A amplitude de variação dos $\hat{g}_{i's}$ observada neste teste foi de 21,69 vezes o desvio-padrão da diferença entre as linhagens de maior (Flash) e menor (Dekalb350) estimativa. O valor observado foi a maior amplitude obtida (Quadro 7).

No teste de GER, a amplitude de variação foi de 5,49. As linhagens Flash, Dekalb350, 30F80, Speed e CD3121-2, em ordem decrescente, apresentaram valores positivos para as estimativas da CEC.

A amplitude de variação dos $\hat{g}_{i's}$ para PNF foi de 9,43 vezes o desvio-padrão. A linhagem Flash, 30F80, Speed, CD3121-1, 8330 e CD3121-2 foram as que se destacaram neste teste, com valores positivos das estimativas.

Quadro 7 – Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação ($\hat{g}_i$) e desvio-padrão (DP) de nove linhagens de milho, para caracteres* relacionados à qualidade fisiológica das sementes.

Linhagens genitoras	PC (%)	GER (%)	PNF (%)	FRIO (%)	EA (%)	VE (dias)	IVE
8330	1,31	-0,35	0,32	0,58	-0,33	0,03	-0,10
CD3121-1	2,53	-0,10	0,57	0,69	0,38	-0,03	0,11
AG8080	-1,76	-1,74	-2,40	2,26	-1,29	0,04	-0,22
Flash	7,28	1,18	3,71	0,37	1,06	-0,22	0,57
Dekalb350	-7,47	0,83	-2,40	2,58	1,09	0,22	-0,32
30F80	-0,65	0,51	0,89	1,65	-0,37	-0,01	-0,02
Strike	-1,97	-0,92	-1,65	-3,09	-0,44	0,07	-0,15
Speed	-0,58	0,51	0,82	-1,20	0,02	-0,04	0,03
CD3121-2	1,31	0,08	0,14	-3,84	-0,12	-0,06	0,10
DP ($\hat{g}_i$)	0,45	0,354	0,432	0,426	0,237	0,055	0,109
DP ($\hat{g}_i - \hat{g}_j$)	0,68	0,532	0,648	0,639	0,356	0,082	0,164

* PC: Primeira contagem; GER: Contagem final da germinação; PNF: Plântulas normais fortes; FRIO: Frio modificado; EA: Emergência das plântulas em substrato de areia; VE: Velocidade de emergência; IVE: Índice de velocidade de emergência (IVE).

No teste de frio as linhagens que se destacaram, em ordem decrescente, foram Dekalb350, AG8080, 30F80, CD3121-1, 8330 e Flash. A amplitude de variação foi de dez desvios-padrão entre Dekalb350 e CD3121-2, apresentando, respectivamente, o maior valor positivo e negativo.

Da mesma forma que no teste de frio, em relação ao teste de EA, o genitor Dekalb350 também foi o que teve o maior efeito positivo e a amplitude de variação foi de 6,68 vezes o desvio-padrão.

Os efeitos da CGC para VE apresentaram a menor amplitude, ou seja, 5,36. Essa amplitude corresponde a Dekalb350 e a Flash, linhagens com maior resultado positivo e negativo, respectivamente. As melhores foram Flash, CD3121-2, Speed e CD3121-1 e a pior, Dekalb350, lembrando que, para tal característica, consideram-se mais promissoras as linhagens com menor

estimativa, visto que a VE indica o número de dias que as plântulas levam para emergirem.

No teste IVE, a amplitude de variação foi de 5,43 vezes o desvio-padrão. As linhagens Flash, CD3121-1, CD3121-2 e Speed, em ordem decrescente, apresentaram estimativas positivas, e a linhagem Dekalb350, a maior estimativa negativa.

Percebe-se que, em geral, a linhagem Flash destacou-se por apresentar altas estimativas de $\hat{g}_{i's}$ para todos os testes. A linhagem Dekalb350 destacou-se nos testes de FRIO e EA.

Em comum, as linhagens 30F80, 8330 e CD3121-1 apresentaram valores positivos nos testes de PC e FRIO. Desta forma, como a capacidade geral de combinação, que corresponde aos efeitos aditivos, também foi significativa (Quadro 7), tais linhagens parecem ser promissoras para a obtenção de híbridos com sementes de qualidade superior.

3.1.5 Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (CEC)

As estimativas dos efeitos da CEC ($\hat{s}_{ij}$) e os desvios-padrão referentes aos 36 híbridos simples de milho estão apresentados no Quadro 8.

Quanto aos efeitos da capacidade específica de combinação (CEC) estimados como desvio do comportamento de um híbrido, em relação ao que seria esperado com base na CGC de seus genitores, são medidas dos efeitos gênicos não-aditivos. Os melhoristas procuram obter combinações híbridas com estimativa de CEC mais favoráveis, que envolvam pelo menos um dos genitores com o mais favorável efeito de CGC (CRUZ et al., 2004).

Os híbridos de maiores efeitos positivos para o teste PC, em ordem decrescente, foram FlashxDekalb350, CD3121-1xSpeed, 8330xCD3121-1 e CD3121-1x30F80. A amplitude de variação foi de 13,38 vezes o valor do desvio-padrão entre FlashxDekalb350 e CD3121-1xFlash, híbridos com maior valor positivo e negativo, respectivamente. Todos os valores para esse caráter estão afastados de zero. Isso indica que maior é a divergência do genitor em relação à frequência média dos alelos favoráveis, de todas as linhagens genitoras envolvidas no cruzamento dialélico.

Quadro 8 – Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação ($\hat{s}_{ij}$) e desvio-padrão (DP), para caracteres* relacionados à qualidade fisiológica das sementes.

Híbridos	PC (%)	GER (%)	PNF (%)	FRIO (%)	EA (%)
8330xCD3121-1	5,41	4,39	4,39	4,39	1,10
8330xAG8080	-0,06	2,28	2,11	3,32	0,78
8330xFlash	-2,60	0,11	-0,25	4,96	0,17
8330xDekalb350	-1,60	-1,28	-1,64	-1,75	0,38
8330x30F80	3,33	-1,21	1,07	-0,32	-1,15
8330xStrike	-2,10	-2,53	-2,64	-9,07	-1,33
8330xSpeed	3,01	0,53	0,64	-0,96	0,20
8330xCD3121-2	-5,38	-2,28	-3,68	-0,57	-0,15
CD3121-1xAG8080	-2,03	0,53	1,11	-3,03	1,31
CD3121-1xFlash	-13,81	-6,39	-9,75	-15,14	-3,29
CD3121-1xDekalb350	1,19	1,21	2,86	-0,61	0,42
CD3121-1x30F80	3,87	2,28	2,57	3,32	0,88
CD3121-1xStrike	0,19	-2,53	-2,89	1,57	-0,29
CD3121-1xSpeed	5,54	1,03	3,14	3,68	-0,01
CD3121-1xCD3121-2	-0,35	-0,53	-1,43	5,82	-0,12
AG8080xFlash	3,47	2,25	2,71	3,03	1,63
AG8080xDekalb350	-4,53	-2,14	-3,68	-4,43	0,35
AG8080x30F80	0,40	-1,32	-0,21	-3,25	-1,69
AG8080xStrike	3,22	1,86	2,07	3,75	0,13
AG8080xSpeed	-3,42	-3,07	-4,64	2,11	1,17
AG8080xCD3121-2	2,94	-0,39	0,53	-1,5	-3,69
FlashxDekalb350	8,19	-0,32	2,71	1,21	-1,01
Flashx30F80	1,87	0,00	0,18	-3,61	0,70
FlashxStrike	1,69	1,93	2,96	4,39	0,78
FlashxSpeed	-0,45	0,25	0,00	4,75	0,06
FlashxCD3121-2	1,65	2,18	1,43	0,39	0,95
Dekalb350x30F80	-6,13	-0,64	-3,46	-0,82	-0,33
Dekalb350xStrike	2,94	1,28	0,82	0,68	0,24
Dekalb350xSpeed	0,54	0,61	1,11	2,78	-0,72
Dekalb350xCD3121-2	-0,60	1,28	1,28	2,93	0,67
30F80xStrike	-0,88	1,86	2,03	5,11	1,45
30F80xSpeed	-1,57	1,43	-0,18	1,21	-0,51
30F80xCD3121-2	-0,92	-2,39	-2,00	-1,64	0,63
StrikexSpeed	-5,70	-2,39	-3,14	-7,28	-1,44
StrikexCD3121-2	0,65	0,53	0,78	0,86	0,45
SpeedxCD3121-2	2,01	1,61	3,07	-6,28	1,24
DP ($\hat{s}_{ij}$)	1,093	0,862	1,050	1,035	0,580
DP ($\hat{s}_{ij} - \hat{s}_{jk}$)	1,652	1,303	1,588	1,565	0,872
DP ($\hat{s}_{ij} - \hat{s}_{kl}$)	1,508	1,189	1,450	1,429	0,796

* PC: Primeira contagem; GER: Contagem final da germinação; PNF: Plântulas normais fortes; FRIO: Frio modificado; EA: Emergência das plântulas em substrato de areia.

Os híbridos de maiores efeitos positivos para o teste de GER, em ordem decrescente, que apresentam pelo menos um genitor com alto valor de CGC, foram CD3121-1x30F80, AG8080xFlash e FlashxCD3121-2. A amplitude de variação foi de 6,65 desvios-padrão entre CD3121-1x30F80 e CD3121-1xFlash. A linhagem em comum para dois dos três híbridos citados, que obtiveram maiores efeitos positivos, foi a Flash. Esses resultados concordam com os encontrados por Reyes et al. (2004) e Cervantes-Ortiz et al. (2007), que destacaram que o cruzamento resultando em híbridos simples tenderá a um alto valor de CEC se pelo menos um de seus genitores apresentou alto valor de CGC.

No teste de classificação do vigor das plântulas (PNF), os híbridos de maiores efeitos positivos, em ordem decrescente, foram 8330xCD3121-1, CD3121-1xSpeed, SpeedxCD3121-2 e FlashxStrike. A amplitude de variação foi de 8,9 desvios-padrão entre os híbridos 8330xCD3121-1 e CD3121-1xFlash. Nota-se que dois dos quatro híbridos simples obtidos tiveram em comum a CD3121-1 e mais dois, a Speed, como linhagem genitora.

Quanto ao teste de FRIO, os híbridos CD3121-1xCD3121-2, 30F80xStrike, 8330xFlash e FlashxSpeed apresentaram a maior estimativa de $\hat{s}_{ij}$. A amplitude de variação encontrada nesse teste foi de 13,39 vezes o desvio-padrão entre os híbridos CD3121-1xCD3121-2 e CD3121-1xFlash. Em dois dos quatro híbridos, pode ser observado que dois deles têm a linhagem Flash como genitora.

Os três híbridos que apresentaram maiores efeitos de $\hat{s}_{ij}$ para EA foram, em ordem decrescente, AG8080xFlash, CD3121-1xAG8080, SpeedxCD3121-2 e AG8080xSpeed, ao passo que a amplitude de variação foi de 6,10 desvios-padrão. Em três dos quatro híbridos que obtiveram maior efeito de $\hat{s}_{ij}$, a linhagem AG8080 foi umas das genitoras.

O híbrido CD3121-1xFlash apresentou baixas estimativas para os efeitos da capacidade específica de combinação em todos os testes, principalmente nos testes PC, GER, PNF e FRIO. Por outro lado, o híbrido CD3121-1x30F80 destacou-se por apresentar a melhor estimativa no teste de GER e pelo seu bom desempenho nos demais testes. Destacou-se, também, o híbrido 8330xCD3121-1, pela sua boa performance na maioria dos testes.

Concordando com esse trabalho, Cervantes-Ortiz et al. (2007) verificaram maiores magnitudes para genes de efeitos dominante em caracteres de plântulas de milho. Os resultados encontrados por Gomes et al. (2000), ao estudarem a herança para qualidade fisiológica de sementes de milho, por Rahman et al. (1994), para características da radícula de plântulas de milho e por McConnel e Gardner (1979), para emergência e crescimento das plântulas no campo, também corroboram os observados no presente estudo. Desta forma, é possível inferir que as combinações híbridas CD3121-1x30F80 e 8330xCD3121-1 são promissoras quando se buscam produzir materiais com alta qualidade fisiológica de sementes.

3.1.6 Estimativas dos efeitos recíprocos (ER)

Os efeitos da capacidade específica de combinação, apesar de serem úteis na indicação das melhores combinações híbridas, não evidenciam se o comportamento dos híbridos, ora utilizando os parentais como fêmea ou como macho, apresentaram variação para a característica em questão. Para fazer tal inferência, utilizam-se as estimativas dos efeitos recíprocos $\hat{r}_{ij}$ (Quadro 9). Assim, considerando-se, por exemplo, os híbridos CD3121-1x30F80 e 8330xCD3121-1, que se destacaram na capacidade específica de combinação, não houve diferenças significativas quando este foi utilizado como fêmea ou macho, não havendo para estes híbridos a necessidade de cruzamentos recíprocos.

Atenção especial deve ser dada ao híbrido CD3121-1xCD3121-2, que se destacou pela maior estimativa da CEC no teste de frio (Quadro 9). Com tal híbrido, quando submetido ao teste de frio, ou quando suas sementes foram submetidas a baixas temperaturas, o melhor desempenho ocorreu quando o CD3121-1 foi utilizado como macho e o CD3121-2, como fêmea.

Quadro 9 – Estimativas dos efeitos recíprocos da capacidade específica de combinação ($\hat{r}_{ij}$) e desvio-padrão (DP), para caracteres** relacionados à qualidade fisiológica das sementes.

Híbridos	PC (%)	GER (%)	PNF (%)	FRIO (%)	EA (%)
8330xCD3121-1	-1,25	0,25	-0,25	2,25	-0,25
8330xAG8080	2,50*	2,00*	4,00*	2,75*	1,75*
8330xFlash	-2,00	1,75	0,25	1,00	0,00
8330xDekalb350	2,25	0,00	-0,75	-5,50*	0,25
8330x30F80	-2,00	1,25	-0,25	3,00*	2,75*
8330xStrike	-1,25	1,00	0,00	-7,00*	1,50*
8330xSpeed	-0,75	2,00*	1,25	-6,00*	1,00
8330xCD3121-2	1,25	0,75	3,75*	-2,75*	-2,50*
CD3121-1xAG8080	-0,75	1,50	-0,25	1,50	1,00
CD3121-1xFlash	-2,00	5,00*	2,50*	5,50*	1,25
CD3121-1xDekalb350	7,25*	1,25	2,50*	1,75	0,00
CD3121-1x30F80	-0,25	0,00	-1,00	-1,25	-1,00
CD3121-1xStrike	-1,75	-0,25	-1,50	-5,25*	-0,75
CD3121-1xSpeed	-2,00	-0,75	-1,50	-2,75*	0,00
CD3121-1xCD3121-2	-1,00	-1,75	-2,25	-3,25*	-1,25
AG8080xFlash	-3,50*	-0,50	-2,00	0,25	0,00
AG8080xDekalb350	-5,25*	-4,75*	-7,00*	-5,50*	-1,75*
AG8080x30F80	-8,00*	-4,75*	-7,75*	-5,75*	-2,75*
AG8080xStrike	2,00	3,50*	3,00*	3,00*	2,50*
AG8080xSpeed	-11,75*	-6,50*	-9,75*	-4,25*	-2,00*
AG8080xCD3121-2	-10,00*	-5,25*	-5,75*	0,50	-6,50*
FlashxDekalb350	1,00	0,00	0,50	-1,25	0,75
Flashx30F80	1,00	0,00	0,75	-0,50	0,50
FlashxStrike	6,00*	1,00	2,00	-0,25	0,00
FlashxSpeed	2,25	2,25*	3,50*	2,00	0,75
FlashxCD3121-2	3,25*	0,25	2,75*	-1,00	0,00
Dekalb350x30F80	-1,25	3,00*	3,50*	2,00	1,50*
Dekalb350xStrike	1,50	2,00*	3,25*	2,25	1,00
Dekalb350xSpeed	-8,00*	-0,25	-3,50*	0,75	0,50
Dekalb350xCD3121-2	3,25*	1,50	5,00*	3,25*	0,25
30F80xStrike	-3,50*	1,75	2,25	1,25	-0,25
30F80xSpeed	-1,25	0,25	2,00	0,25	-0,25
30F80xCD3121-2	5,75*	5,00*	7,50*	5,25*	0,75
StrikexSpeed	-11,25*	-5,50*	-9,50*	-5,00*	-2,25*
StrikexCD3121-2	-1,50	0,00	0,25	5,00*	-1,00
SpeedxCD3121-2	-3,75*	-1,00	0,50	0,75	-0,25
DP($\hat{r}_{ij}$)	1,262	0,995	1,213	1,195	0,666

** PC: Primeira contagem; GER: Contagem final da germinação; PNF: Plântulas normais fortes; FRIO: Frio modificado; EA: Emergência das plântulas em substrato de areia; VE: Velocidade de emergência; IVE: Índice de velocidade de emergência.

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

No teste de EA, o híbrido AG8080xSpeed que apresentou a quarta maior estimativa da CEC também apresentou diferença significativa na comparação entre F_1 e recíproco. Neste caso, para maior emergência das plântulas em leito de areia, o AG8080 deve ser utilizado como macho e o Speed, como fêmea. Tais exemplos demonstram a complexidade pela variabilidade existente nos materiais, bem como a diferença existente entre os diversos princípios dos testes de germinação e vigor que podem ser utilizados, como ressaltado por Gomes et al. (2000).

3.2 Características agronômicas

3.2.1 Análise de variância conjunta

As análises de variância (Quadros 10 e 11) revelaram que, para as fontes de variação Tratamento e Safra houve significância em nível de 1% pelo teste F, para todas as características agronômicas avaliadas. Deste modo, preconiza-se a alta variabilidade existente entre os genótipos e, também, que houve diferença entre as safras estudadas.

Em relação à fonte de variação T x S, apenas SF e NPQ não apresentaram significância, indicando que estas duas características não sofreram variações quando avaliadas nas diferentes safras. Todavia, para as demais características, a presença de interação indica a necessidade de desdobramento das análises, ou seja, as médias dos híbridos obtidos devem ser avaliadas dentro de cada safra.

Quadro 10 – Quadrados médios da altura de plantas (AP), altura de espigas (AE), do estande final (SF) e número de plantas acamadas (NPA), de 81 híbridos simples de milho, nas safras 2008/2009 e 2009 em Maringá, PR.

Fontes de variação	GL	Quadrados médios ^{1/}		
		AP	AE	SF
Tratamentos (T)	80	1054,58*	709,11*	7,43*
Safras (S)	1	27393,33*	5613,40*	530,99*
T x S	80	124,89**	75,89*	4,65 ^{ns}
Resíduo ef. médio	272	93,06	45,13	3,89
Média	-	224,80	121,06	23,34
CV (%)	-	4,14	5,23	8,37

* Significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

** Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Quadro 11 – Quadrados médios do número de plantas quebradas (NPQ), número de espigas mal empalhadas (NEME) e rendimento de grãos (RG), de 81 híbridos simples de milho, nas safras 2008/2009 e 2009 em Maringá, PR.

Fontes de variação	GL	Quadrados médios ^{1/}		
		NPQ	NEME	RG
Tratamentos (T)	80	4,53*	1,42*	5830795,33*
Safras (S)	1	35,31*	15,93*	1191946149,80*
T x S	80	2,07 ^{ns}	1,17*	1226898,69*
Resíduo ef. médio	272	2,06	0,28	527718,04
Média	-	0,97	0,31	6314,66
CV (%)	-	138,92	261,20	10,57

* Significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

^{ns} Não-significativo.

3.2.2 Teste de agrupamento de médias

As estimativas de médias das características avaliadas em 72 híbridos e nove testemunhas, em dois ambientes, seguidas pelo agrupamento entre médias de Scott e Knott (1974), em 5% de probabilidade, estão contidas nos Quadros 12, 13 e 14.

As características AP e AE apresentaram grande diversidade entre os híbridos avaliados. Seis e oito grupos de médias foram observados para AP, na safra e safrinha, respectivamente. Todos os híbridos revelaram média superior a 200 cm, na safra 2008/09, enquanto que na safra 2009 nove genótipos, inclusive uma testemunha, apresentaram altura inferior a esse valor. Os híbridos produzidos ficaram com porte relativamente baixo, o que é uma característica desejável nas cultivares modernas de milho.

Na safra 2009 houve a formação de seis grupos de médias para o número de plantas acamadas, entretanto, os valores encontrados podem ser considerados de baixa relevância e não constituem entraves para a recomendação dos híbridos em questão.

Como não houve interação significativa ($p > 0,05$) T x S para as características SF e NPQ, estas podem ser avaliadas pela média das duas safras (Quadro 13). Assim, quanto à SF, observou-se a formação de quatro grupos e, para NPQ, cinco grupos de médias. Apesar das diferenças significativas, o número de plantas quebradas pode ser considerado de baixa magnitude, demonstrando a boa resistência da maioria dos materiais ao quebramento.

Quadro 12 – Médias das características altura de plantas (AP), altura de espigas (AE) e número de plantas acamadas (NPA), avaliadas em um dialelo completo com nove genitores de milho, nas safras 2008/2009 e 2009 em Maringá, PR.

Híbridos	Médias**					
	AP (cm)		AE (cm)		NPA	
	2008/2009	2009	2008/2009	2009	2008/2009	2009
8330xCD3121-1	217,57 e	200,84 f	121,16 f	106,08 f	0,00	0,05 f
CD3121-1x8330	216,89 e	205,04 f	120,80 f	111,53 e	0,00	0,09 f
8330xAG8080	214,71 e	212,56 e	109,92 g	108,30 f	0,00	0,54 f
AG8080x8330	216,92 e	201,19 f	108,20 g	106,63 f	0,00	0,15 f
8330xFlash	234,83 c	202,98 f	122,33 f	112,87 e	0,33	0,05 f
Flashx8330	231,15 d	207,24 f	118,38 f	119,34 d	0,00	0,04 f
8330xDekalb350	216,31 e	196,91 g	110,93 g	104,87 f	0,00	0,09 f
Dekalb350x8330	222,72 d	204,08 f	115,31 f	107,53 f	0,00	0,49 f
8330x30F80	227,15 d	210,94 e	129,98 d	123,42 c	0,00	0,01 f
30F80x8330	229,42 d	195,84 g	133,76 d	117,50 d	0,00	0,15 f
8330xStrike	215,88 e	195,58 g	106,76 g	107,48 f	0,00	0,07 f
Strikex8330	225,35 d	197,39 g	110,48 g	96,97 g	0,00	0,18 f
8330xSpeed	213,91 e	194,23 g	101,74 h	93,23 g	0,00	0,09 f
Speedx8330	223,68 d	201,51 f	104,85 h	97,92 g	0,00	0,52 f
8330xCD3121-2	228,34 d	212,99 e	129,87 d	121,10 d	0,00	0,47 f
CD3121-2x8330	221,80 d	208,06 f	115,94 f	119,67 d	0,00	0,21 f
CD3121-1xAG8080	243,23 b	240,17 b	125,16 e	122,42 d	0,00	0,00 f
AG8080xCD3121-1	234,68 c	228,83 c	124,86 e	130,01 c	0,00	1,12 e
CD3121-1xFlash	257,17 a	244,48 b	151,39 a	128,68 c	0,00	0,83 e
FlashxCD3121-1	246,83 b	226,33 d	139,89 b	122,60 d	0,00	2,74 c
CD3121-1xDekalb350	244,57 b	224,23 d	135,86 c	125,17 c	0,00	0,74 e
Dekalb350xCD3121-1	239,21 c	219,58 e	135,61 c	119,28 d	0,00	0,30 f
CD3121-1x30F80	247,55 b	233,85 c	143,92 b	131,45 c	0,00	0,99 e
30F80xCD3121-1	251,29 a	240,60 b	142,37 b	145,20 a	0,00	0,86 e
CD3121-1xStrike	230,88 d	217,45 e	127,41 e	119,04 d	0,33	0,21 f
StrikexCD3121-1	221,17 d	218,18 e	124,59 e	119,82 d	0,00	0,14 f
CD3121-1xSpeed	237,63 c	239,22 b	134,13 c	123,49 c	0,00	0,14 f
SpeedxCD3121-1	238,54 c	234,27 c	126,50 e	111,78 e	0,00	1,53 d
CD3121-1xCD3121-2	214,12 e	193,36 g	130,02 d	114,96 e	0,00	1,05 e
CD3121-2xCD3121-1	218,94 e	202,60 f	135,93 c	120,92 d	0,00	2,03 d
AG8080xFlash	244,07 b	222,94 d	122,37 f	118,99 d	0,00	1,81 d
FlashxAG8080	238,50 c	219,59 e	118,07 f	113,11 e	0,00	0,49 f
AG8080xDekalb350	228,59 d	206,79 f	112,28 g	106,23 f	0,00	2,27 c
Dekalb350xAG8080	235,59 c	207,12 f	119,08 f	112,19 e	0,00	0,49 f
AG8080x30F80	238,67 c	220,08 e	130,78 d	118,69 d	0,00	0,16 f
30F80xAG8080	237,88 c	214,07 e	122,73 f	121,29 d	0,00	0,36 f
AG8080xStrike	217,89 e	200,11 f	104,34 h	97,66 g	0,00	0,25 f
StrikexAG8080	227,38 d	203,25 f	109,93 g	106,36 f	0,00	0,31 f
AG8080xSpeed	239,22 c	221,62 d	118,64 f	106,90 f	0,00	5,56 a
SpeedxAG8080	233,66 c	215,18 e	120,58 f	110,48 e	0,00	4,00 b
AG8080xCD3121-2	252,47 a	253,60 b	130,75 d	123,90 c	0,00	1,90 d
CD3121-2xAG8080	243,09 b	240,08 b	125,11 e	117,42 d	0,00	1,33 e
FlashxDekalb350	233,66 c	222,29 d	117,67 f	124,97 c	0,00	0,53 f
Dekalb350xFlash	241,93 c	227,85 c	127,25 e	124,25 c	0,00	0,32 f
Flashx30F80	245,59 b	214,96 e	138,72 c	124,90 c	0,00	0,21 f
30F80xFlash	239,60 c	221,05 d	138,87 c	119,29 d	0,00	0,07 f

** Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de agrupamento de Scott-Knott (1974), a 5% de probabilidade.

Quadro 12, Cont.

Híbridos	Médias**					
	AP (cm)		AE (cm)		NPA	
	2008/2009	2009	2008/2009	2009	2008/2009	2009
FlashxStrike	224,61 d	197,71 g	115,75 f	109,92 e	0,00	0,33 f
StrikexFlash	233,13 c	215,57 e	118,20 f	124,67 c	0,00	0,14 f
FlashxSpeed	241,27 c	232,15 c	133,49 d	127,71 c	0,00	0,17 f
SpeedxFlash	248,27 b	242,68 b	141,38 b	126,30 c	0,00	0,39 f
FlashxCD3121-2	251,60 a	244,70 b	144,11 b	150,68 a	0,00	0,05 f
CD3121-2xFlash	249,93 a	245,53 b	135,71 c	139,18 b	0,00	0,90 e
Dekalb350x30F80	229,54 d	213,74 e	122,71 f	121,84 d	0,00	0,01 f
30F80xDekalb350	235,62 c	218,46 e	130,39 d	128,71 c	0,00	0,63 e
Dekalb350xStrike	207,16 f	197,36 g	113,75 f	105,33 f	0,00	0,52 f
StrikexDekalb350	232,18 c	200,90 f	120,16 f	106,45 f	0,00	0,07 f
Dekalb350xSpeed	240,11 c	215,72 e	115,57 f	104,68 f	0,00	1,74 d
SpeedxDekalb350	242,15 c	222,79 d	111,26 g	113,37 e	0,00	1,32 e
Dekalb350xCD3121-2	232,85 c	223,56 d	137,51 c	123,65 c	0,00	0,81 e
CD3121-2xDekalb350	236,60 c	222,36 d	140,17 b	124,97 c	0,00	0,21 f
30F80xStrike	224,30 d	211,29 e	126,81 e	115,99 d	0,00	0,14 f
Strikex30F80	229,45 d	212,23 e	118,97 f	119,27 d	0,00	0,04 f
30F80xSpeed	232,99 c	219,93 e	122,40 f	117,63 d	0,00	0,05 f
Speedx30F80	236,54 c	215,62 e	125,26 e	116,91 d	0,00	0,18 f
30F80xCD3121-2	235,08 c	223,54 d	137,87 c	137,04 b	0,00	0,39 f
CD3121-2x30F80	238,04 c	227,25 c	141,69 b	126,64 c	0,00	0,60 e
StrikexSpeed	229,48 d	207,50 f	116,45 f	111,26 e	0,00	0,38 f
SpeedxStrike	237,42 c	231,21 c	123,10 f	121,85 d	0,00	0,09 f
StrikexCD3121-2	223,75 d	210,47 e	134,68 c	120,53 d	0,00	0,00 f
CD3121-2xStrike	228,54 d	216,85 e	126,81 e	128,50 c	0,00	0,39 f
SpeedxCD3121-2	255,84 a	274,33 a	141,22 b	131,08 c	0,00	1,05 e
CD3121-2xSpeed	246,02 b	246,54 b	132,03 d	126,39 c	0,00	0,69 e
CD 308	205,10 f	206,20 f	100,83 h	111,12 e	0,00	0,42 f
XB 8030	223,32 d	207,23 f	119,76 f	120,06 d	0,00	0,14 f
XB 7253	229,80 d	226,21 d	127,56 e	125,57 c	0,00	0,03 f
XB 6012	235,70 c	204,90 f	135,18 c	119,89 d	0,00	0,41 f
AS 1548	208,05 f	180,91 h	92,01 i	82,53 h	0,00	0,02 f
XB 8010	221,06 d	202,77 f	104,55 h	112,07 e	0,00	0,23 f
DKB 390	227,32 d	215,61 e	131,70 d	116,18 d	0,00	0,10 f
AG 8088	232,82 c	218,32 e	119,94 f	104,04 f	0,00	0,07 f
DKB 177	231,27 d	227,73 c	126,89 e	122,65 d	0,00	0,06 f
Média dos F _{1's}	233,37	218,21	125,32	118,28	0,01	0,53

** Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de agrupamento de Scott-Knott (1974), a 5% de probabilidade.

Quadro 13 – Médias das características estande final (SF) e número de plantas quebradas (NPQ), avaliadas em um dialelo completo com nove genitores de milho, nas safras 2008/2009 e 2009 em Maringá, PR.

Híbridos	Médias**	
	SF	NPQ
8330xCD3121-1	22,95 b	1,82 c
CD3121-1x8330	21,22 d	0,95 d
8330xAG8080	25,13 a	0,10 e
AG8080x8330	22,88 b	0,58 d
8330xFlash	23,27 b	0,20 e
Flashx8330	25,08 a	0,59 d
8330xDekalb350	23,30 b	0,53 d
Dekalb350x8330	24,32 a	0,64 d
8330x30F80	23,30 b	0,92 d
30F80x8330	24,34 a	2,55 b
8330xStrike	23,93 b	2,51 b
Strikex8330	24,50 a	2,32 c
8330xSpeed	19,92 e	2,12 c
Speedx8330	23,65 b	2,67 b
8330xCD3121-2	21,83 c	0,67 d
CD3121-2x8330	23,82 b	0,69 d
CD3121-1xAG8080	23,07 b	0,66 d
AG8080xCD3121-1	23,38 b	0,49 d
CD3121-1xFlash	22,87 b	1,38 c
FlashxCD3121-1	22,59 c	1,66 c
CD3121-1xDekalb350	21,98 c	0,46 d
Dekalb350xCD3121-1	25,23 a	4,59 a
CD3121-1x30F80	23,30 b	3,12 b
30F80xCD3121-1	24,48 a	1,78 c
CD3121-1xStrike	22,33 c	0,51 d
StrikexCD3121-1	23,87 b	1,74 c
CD3121-1xSpeed	21,57 d	0,42 e
SpeedxCD3121-1	21,89 c	0,65 d
CD3121-1xCD3121-2	21,45 d	2,99 b
CD3121-2xCD3121-1	20,98 d	2,11 c
AG8080xFlash	24,21 a	0,57 d
FlashxAG8080	22,60 c	0,26 e
AG8080xDekalb350	24,63 a	0,57 d
Dekalb350xAG8080	23,32 b	0,80 d
AG8080x30F80	23,88 b	0,23 e
30F80xAG8080	23,37 b	0,51 d
AG8080xStrike	23,71 b	0,16 e
StrikexAG8080	23,83 b	0,86 d
AG8080xSpeed	24,03 a	0,54 d
SpeedxAG8080	22,90 b	1,32 c
AG8080xCD3121-2	22,12 c	0,34 e
CD3121-2xAG8080	23,46 b	0,64 d
FlashxDekalb350	23,67 b	0,02 e
Dekalb350xFlash	24,24 a	1,29 c
Flashx30F80	24,58 a	0,10 e
30F80xFlash	25,09 a	0,49 d
FlashxStrike	23,33 b	1,12 d
StrikexFlash	23,92 b	0,66 d
FlashxSpeed	21,63 d	0,16 e

** Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de agrupamento de Scott-Knott (1974), a 5% de probabilidade.

Quadro 13, Cont.

Híbridos	Médias	
	SF	NPQ
SpeedxFlash	23,81 b	0,17 e
FlashxCD3121-2	24,15 a	1,63 c
CD3121-2xFlash	25,17 a	1,51 c
Dekalb350x30F80	24,58 a	1,42 c
30F80xDekalb350	22,93 b	1,57 c
Dekalb350xStrike	23,86 b	0,01 e
StrikexDekalb350	22,62 c	1,17 d
Dekalb350xSpeed	22,83 b	1,63 c
SpeedxDekalb350	23,76 b	1,16 d
Dekalb350xCD3121-2	24,45 a	0,22 e
CD3121-2xDekalb350	23,26 b	0,84 d
30F80xStrike	22,60 c	1,38 c
Strikex30F80	23,67 b	1,28 c
30F80xSpeed	23,19 b	0,58 d
Speedx30F80	23,25 b	0,79 d
30F80xCD3121-2	21,35 d	0,78 d
CD3121-2x30F80	24,24 a	0,95 d
StrikexSpeed	23,46 b	1,90 c
SpeedxStrike	24,21 a	0,82 d
StrikexCD3121-2	23,18 b	0,66 d
CD3121-2xStrike	23,83 b	1,68 c
SpeedxCD3121-2	23,39 b	0,75 d
CD3121-2xSpeed	21,06 d	1,21 d
CD 308	24,58 a	1,43 c
XB 8030	21,19 d	0,23 e
XB 7253	24,60 a	0,56 d
XB 6012	24,01 a	0,05 e
AS 1548	22,03 c	0,10 e
XB 8010	24,73 a	0,09 e
DKB 390	23,05 b	0,51 d
AG 8088	23,58 b	0,23 e
DKB 177	23,08 b	0,02 e
Média dos F _{1's}	23,33	1,07

** Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de agrupamento de Scott-Knott (1974), a 5% de probabilidade.

Três e seis grupos de médias foram constituídos para a característica NEME, na safra 2008/09 e 2009, respectivamente (Quadro 14). Na safra normal (2008/09), a maioria dos híbridos agruparam-se juntamente com as testemunhas, revelando baixo número de espigas mal empalhadas, constituindo-se, portanto, em genótipos menos suscetíveis ao ataque de pragas e doenças.

Quadro 14 – Médias das características do número de espigas mal empalhadas (NEME) e rendimento de grãos, avaliadas em um dialelo completo com nove genitores de milho-pipoca, nas safras 2008/2009 e 2009. Maringá, PR.

Híbridos	Médias**			
	NEME		RG (kg ha ⁻¹)	
	2008/2009	2009	2008/2009	2009
8330xCD3121-1	0,11 c	0,92 e	6734,72 g	3861,00 f
CD3121-1x8330	0,01 c	0,27 f	6974,06 f	4783,40 d
8330xAG8080	0,04 c	0,11 f	9096,10 b	5145,16 d
AG8080x8330	1,42 a	0,98 d	7948,93 d	5115,09 d
8330xFlash	0,08 c	0,11 f	7766,08 d	3866,72 f
Flashx8330	0,09 c	0,07 f	7294,15 e	4089,99 e
8330xDekalb350	0,60 b	0,71 e	7509,67 e	3711,65 f
Dekalb350x8330	1,39 a	0,75 e	8429,36 c	4855,06 d
8330x30F80	0,08 c	0,33 f	7034,91 f	4680,14 d
30F80x8330	0,12 c	0,19 f	7467,64 e	3833,03 f
8330xStrike	0,02 c	0,17 f	6090,95 h	3926,10 f
Strikex8330	0,02 c	0,04 f	5735,92 h	3913,52 f
8330xSpeed	0,03 c	0,06 f	6813,25 g	2262,89 g
Speedx8330	0,03 c	0,09 f	6052,81 h	3514,63 f
8330xCD3121-2	0,01 c	0,02 f	7054,78 f	3726,81 f
CD3121-2x8330	0,08 c	0,07 f	6347,95 h	3913,44 f
CD3121-1xAG8080	0,23 c	1,07 d	7904,77 d	5052,09 d
AG8080xCD3121-1	0,05 c	0,06 f	8422,51 c	5074,39 d
CD3121-1xFlash	0,04 c	0,10 f	9120,38 b	5084,95 d
FlashxCD3121-1	0,17 c	0,21 f	8965,15 b	4486,17 e
CD3121-1xDekalb350	0,04 c	2,57 b	9370,67 b	5503,20 c
Dekalb350xCD3121-1	0,02 c	0,97 d	8609,93 c	4428,53 e
CD3121-1x30F80	0,04 c	0,07 f	8249,58 d	3843,28 f
30F80xCD3121-1	0,06 c	0,10 f	9434,28 b	4816,47 d
CD3121-1xStrike	0,05 c	0,45 f	6930,68 f	5050,27 d
StrikexCD3121-1	0,09 c	0,39 f	7605,60 e	5235,89 d
CD3121-1xSpeed	0,16 c	0,36 f	8613,23 c	5114,98 d
SpeedxCD3121-1	0,12 c	0,11 f	7923,33 d	4373,08 e
CD3121-1xCD3121-2	0,06 c	0,18 f	4046,89 i	1415,28 h
CD3121-2xCD3121-1	0,12 c	0,18 f	3109,13 j	1049,07 h
AG8080xFlash	0,77 b	2,08 c	7944,32 d	5245,39 d
FlashxAG8080	0,02 c	0,74 e	7426,72 e	5067,79 d
AG8080xDekalb350	0,04 c	0,18 f	7791,23 d	4309,55 e
Dekalb350xAG8080	0,01 c	1,10 d	7609,24 e	5120,49 d
AG8080x30F80	0,08 c	0,82 e	8669,04 c	5480,87 c
30F80xAG8080	0,07 c	0,25 f	8399,40 c	5722,69 c
AG8080xStrike	0,10 c	0,61 e	8371,59 c	5023,16 d
StrikexAG8080	0,14 c	1,31 d	8668,78 c	5502,53 c
AG8080xSpeed	0,01 c	0,04 f	9131,81 b	5213,11 d
SpeedxAG8080	0,06 c	0,18 f	8014,74 d	4383,98 e
AG8080xCD3121-2	0,73 b	0,69 e	8190,75 d	4987,62 d
CD3121-2xAG8080	0,02 c	0,16 f	7911,93 d	5537,75 c
FlashxDekalb350	0,03 c	0,68 e	8833,63 b	5136,11 d
Dekalb350xFlash	0,71 b	0,30 f	7914,63 d	5634,32 c
Flashx30F80	0,06 c	0,16 f	8086,06 d	5354,91 c
30F80xFlash	0,06 c	0,21 f	8562,51 c	5261,04 d

** Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de agrupamento de Scott-Knott (1974), a 5% de probabilidade.

Quadro 14, Cont.

Híbridos	Médias**			
	NEME		RG (kg ha ⁻¹)	
	2008/2009	2009	2008/2009	2009
FlashxStrike	0,05 c	0,28 f	7494,26 e	4903,21 d
StrikexFlash	0,13 c	0,70 e	7736,73 d	4311,60 e
FlashxSpeed	0,02 c	0,21 f	7375,63 e	4637,83 d
SpeedxFlash	0,13 c	0,04 f	7014,03 f	4177,64 e
FlashxCD3121-2	0,03 c	0,35 f	7936,65 d	5619,15 c
CD3121-2xFlash	0,01 c	0,09 f	7591,63 e	5721,20 c
Dekalb350x30F80	0,03 c	0,79 e	9134,28 b	4970,73 d
30F80xDekalb350	0,65 b	1,57 d	8073,63 d	5775,78 c
Dekalb350xStrike	1,43 a	0,68 e	8347,17 c	6323,91 b
StrikexDekalb350	0,11 c	0,38 f	8734,77 c	5541,06 c
Dekalb350xSpeed	1,17 a	0,16 f	8635,79 c	5207,33 d
SpeedxDekalb350	0,68 b	0,45 f	8739,09 c	4910,52 d
Dekalb350xCD3121-2	0,06 c	0,90 e	9391,44 b	5595,10 c
CD3121-2xDekalb350	0,06 c	0,54 f	8543,80 c	4745,85 d
30F80xStrike	1,17 a	0,27 f	6311,22 h	3860,83 f
Strikex30F80	0,12 c	0,52 f	6621,03 g	3797,90 f
30F80xSpeed	0,08 c	0,10 f	7551,83 e	4532,97 e
Speedx30F80	0,02 c	0,07 f	8018,84 d	4252,02 e
30F80xCD3121-2	0,06 c	0,10 f	6760,83 g	5566,45 c
CD3121-2x30F80	0,03 c	0,24 f	7129,78 f	4555,88 e
StrikexSpeed	0,10 c	0,17 f	7537,77 e	4154,90 e
SpeedxStrike	0,16 c	0,39 f	6894,38 f	5176,81 d
StrikexCD3121-2	0,08 c	0,01 f	8153,72 d	5318,91 d
CD3121-2xStrike	0,12 c	0,04 f	7652,13 e	4777,41 d
SpeedxCD3121-2	0,08 c	0,47 f	9287,64 b	6419,56 b
CD3121-2xSpeed	0,04 c	0,11 f	7532,40 e	5369,43 c
CD 308	0,02 c	0,47 f	7908,66 d	4893,88 d
XB 8030	0,06 c	1,23 d	8394,90 c	4120,12 e
XB 7253	0,03 c	1,13 d	8934,35 b	4102,38 e
XB 6012	0,08 c	2,65 b	10028,06 a	5437,87 c
AS 1548	0,05 c	0,33 f	6945,97 f	3707,17 f
XB 8010	0,18 c	0,03 f	9153,40 b	4496,19 e
DKB 390	0,03 c	1,04 d	9751,44 a	4744,51 d
AG 8088	0,10 c	0,79 e	10194,29 a	5570,54 c
DKB 177	0,03 c	6,05 a	8643,35 c	8631,68 a
Média dos F ₁ s	0,21	0,43	7755,34	4707,38

** Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de agrupamento de Scott-Knott (1974), a 5% de probabilidade.

A análise das médias do rendimento de grãos (Quadro 14) indicou a formação de dez grupos na safra 2008/09 e oito grupos na safra 2009. Na safra 2008/09, dez híbridos e duas testemunhas destacaram-se com a segunda maior média.

O grupo superior, na safra 2009, conteve apenas uma testemunha (DKB 177); enquanto o grupo com a segunda maior média incluiu apenas os

materiais Dekalb350xStrike (6323,91 kg ha⁻¹) e SpeedxCD3121-2 (6419,56 kg ha⁻¹).

Os híbridos mais produtivos diferenciaram-se significativamente das testemunhas que apresentaram o melhor resultado, porém, os que se destacaram com a segunda maior média foram superiores às outras testemunhas comerciais (CD 308, XB 8030, AS 1548 e DKB 177) na safra e na safrinha (CD 308, XB 8030, XB 7253, XB 6012, AS 1548, XB 8010, DKB 390 e AG 8088). Esse fato demonstra a existência de híbridos compatíveis ou superiores aos materiais comerciais disponíveis no mercado, podendo ser passíveis de utilização pelo mercado consumidor e produtor.

As médias gerais dos híbridos superiores foram satisfatórias, especialmente se considerando as condições ambientais desfavoráveis a elevados rendimentos, em decorrência de baixas temperaturas, principalmente no período da safrinha.

3.2.3 Análise conjunta da capacidade combinatória

Com base nos quadrados médios da fonte de variação Tratamentos, observou-se significância em 1% de probabilidade para as características AP, AE e RG (Quadro 15). Tais características estão entre as de maior interesse para programas de melhoramento e, portanto, a variabilidade genética demonstrada por meio do dialelo torna possível a seleção de híbridos promissores.

Com relação às fontes de variação CGC e CEC, constataram-se significâncias para as características AP, AE e RG, revelando-se que houve variabilidade resultante dos efeitos genéticos aditivos e não-aditivos. Entretanto, para a fonte de variação ER, houve significância somente para a característica AP, em nível de 1% de probabilidade, pelo teste F. Desta forma, pode-se afirmar que houve diferença na altura de plantas quando o material foi utilizado, ora como genitor masculino, ora como genitor feminino.

A respeito da interação Tratamento x Safra, detectou-se significância para AE e RG, demonstrando-se que se trata de genótipos que foram influenciados pelas condições ambientais.

Os quadrados médios da CGC x Safras foram significativos para altura de plantas e rendimento de grãos. Para CEC x Safras, foram observadas diferenças significativas para altura de inserção da espiga e rendimento de grãos. Assim, dentro de cada safra, os quadrados médios para ambas as capacidades combinatórias indicam variabilidade entre os efeitos da CGC ($\hat{g}_i$), associados a efeitos gênicos aditivos, e entre os efeitos da CEC ($\hat{s}_{ij}$), associados a efeitos não-aditivos. A variabilidade dos $\hat{g}_{is}$ indica que as linhagens contribuíram diferentemente para os cruzamentos em que estavam envolvidas. A variabilidade entre os efeitos da CEC indica que houve combinações híbridas que tiveram desempenho diferente do esperado somente com base nos efeitos da CGC (PINTO et al., 2007).

Quadro 15 – Análise de variância conjunta para as características altura de plantas (AP), altura de espigas (AE) e rendimento de grãos (RG), avaliadas em dialelo completo, com os recíprocos, entre nove linhagens. Safras 2008/2009 e 2009 em Maringá, PR.

FV	GL	AP (cm)	AE (cm)	RG (kg ha ⁻¹)
Tratamentos (T)	71	1046,47*	651,18*	5511496,60*
CGC	8	5394,77*	4425,46*	14938101,41*
CEC	27	915,72*	293,09*	8941539,86*
ER	36	178,25*	81,01 ^{ns}	844163,08 ^{ns}
Safras (S)	1	24828,52	5339,63	1003322690,86
T x S	71	120,80 ^{ns}	68,20**	861450,96*
CGC X S	8	399,09*	69,25 ^{ns}	1841013,29*
CEC X S	27	131,53 ^{ns}	94,13*	989415,49*
ER X S	36	50,9 ^{ns}	48,52 ^{ns}	547797,05 ^{ns}
Resíduo	272	93,06	45,13	527718,04

* Significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

** Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

^{ns} Não-significativo.

A fonte de variação ER x S não apresentou diferença significativa em nenhuma das características avaliadas, indicando não haver resposta diferenciada dos efeitos recíprocos nas safras avaliadas. Assim, para a característica altura de plantas, os efeitos recíprocos devem ser avaliados em conjunto.

3.2.4 Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação (CGC)

Em função da interação entre CGC e as safras, os efeitos da CGC para as nove linhagens genitoras devem ser analisados local por local para as características AP e RG (Quadros 16 e 17).

As linhagens 8330, Strike e Dekalb350 expressaram valores negativos de $\hat{g}_i$ para AP, em ambas as safras, indicando que estes genótipos contribuem para a redução na altura de plantas. O genitor 8330 foi o que se destacou, com baixas estimativas de $\hat{g}_i$ (-12,67 e -17,43). Os piores genitores foram Flash e CD3121-2, com valores positivos elevados, nas safras 2008/09 e 2009, respectivamente.

Os efeitos da CGC para AE podem ser analisados em conjunto, sendo desejável efetivo médio de $\hat{g}_i$ negativo. Assim, tiveram maior CGC as linhagens 8330, Strike, AG8080, Speed e Dekalb350, em especial 8330, com estimativa média de -10,10. O nível de contribuição gênica positiva dessas linhagens para menor altura de inserção de espiga pode ser facilmente observado ao se verificar sua presença na relação dos melhores híbridos e na quantificação dos efeitos de CEC.

Quadro 16 – Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação ($\hat{g}_i$) para altura de plantas (AP) e altura de espigas (AE) nas safras 2008/09 e 2009 em Maringá, PR.

Linhagens genitoras	Altura de plantas (cm)			Altura de espigas (cm)		
	2008/09	2009	Médio	2008/09	2009	Médio
8330	-12,67	-17,43	-15,05	-10,33	-9,86	-10,10
CD3121-1	1,88	5,55	3,72	8,18	4,28	6,23
AG8080	0,90	1,13	1,02	-7,30	-5,14	-6,22
Flash	9,16	6,91	8,03	5,61	6,78	6,20
Dekalb350	-1,08	-4,83	-2,96	-2,82	-2,79	-2,81
30F80	3,20	0,15	1,67	7,30	6,66	6,98
Strike	-8,96	-11,31	-10,13	-7,63	-5,82	-6,73
Speed	4,49	8,80	6,64	-2,60	-3,68	-3,14
CD3121-2	3,08	11,03	7,06	9,60	9,58	9,59

Quanto ao RG, os genitores AG8080, Flash, Dekalb350, 30F80 e Speed revelaram valores positivos de $\hat{g}_i$, na safra 2008/09, os quais, pela interação, não repetiram o mesmo desempenho parental na safrinha. De fato, na safra 2009, os genitores AG8080, Flash, Dekalb350 e 30F80 confirmaram maiores CGCs ao lado de Strike, que não se destacou na safra normal. Os genitores com $\hat{g}_{is}$ mais elevados foram Dekalb350 (827,35) e AG8080 (529,75), na safra 2008/09, e AG8080 (475,97) seguido pelo Dekalb350 (460,79), na safra 2009, o que indica o aumento da contribuição gênica para rendimento de grãos nos cruzamentos de que participam.

Comparando-se os dados de rendimento com os da qualidade fisiológica das sementes (Quadro 7), é possível se perceber que as linhagens Flash e Dekalb350 foram as que se destacaram. A linhagem Flash apresentou altas estimativas de $\hat{g}_{i's}$ para todos os testes de qualidade fisiológica, enquanto que a linhagem Dekalb350 destacou-se nos testes de FRIO e EA.

A análise unificada das características AE e RG revela que os melhores desempenhos foram expressos por Dekalb350 e AG8080. Em comum, Dekalb350 expressa boa acumulação gênica para aumento no rendimento de

grãos e diminuição da altura de plantas e inserção da espiga, com expectativa de boa complementação gênica nos cruzamentos em que participa para proporcionar ganhos desejáveis nas referida característica.

Por todo o exposto, conclui-se que a linhagem Dekalb350 é de interesse para síntese de híbridos promissores para a safra e safrinha na Região Noroeste do Estado do Paraná.

Quadro 17 – Estimativas dos efeitos médios da capacidade geral de combinação ($\hat{g}_i$) para rendimento de grãos (RG) nas safras 2008/09 e 2009 em Maringá, PR.

Linhagens genitoras	Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)		
	2008/09	2009	Médio
8330	-695,30	-722,82	-709,06
CD3121-1	-147,89	-439,01	-293,45
AG8080	529,75	475,97	502,86
Flash	212,66	234,28	223,47
Dekalb350	827,35	460,79	644,07
30F80	101,39	70,49	85,94
Strike	-371,34	107,13	-132,10
Speed	75,09	-115,46	-20,19
CD3121-2	-531,71	-71,37	-301,54

3.2.5 Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação (CEC)

Os Quadros 18 e 19 contêm as estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação $\hat{s}_{ij}$ para três características avaliadas em dialelo completo, com os recíprocos, em milho.

As melhores combinações híbridas foram as de maior CEC envolvendo pelo menos um dos genitores com alta CGC (CRUZ et al., 2004). Desta forma, a análise conjunta das estimativas médias da CEC para a característica AP

revelou as combinações 8330xSpeed, FlashxStrike, AG8080xStrike, 8330xCD3121-1 e AG8080xDekalb350, com os melhores resultados, por apresentarem os valores negativos mais elevados de $\hat{s}_{ij}$.

Referindo-se à AE, destacaram-se as combinações 8330xSpeed, Dekalb350xSpeed, FlashxStrike, 30F80xSpeed e FlashxDekalb350 com as estimativas mais elevadas para $\hat{s}_{ij}$, na safra 2008/09. Enquanto que, na safra de 2009, os híbridos 8330xSpeed, AG8080xStrike, 30F80xSpeed, 8330xCD3121-1 e AG8080xFlash foram superiores com valores negativos elevados para CEC.

Da mesma maneira que em altura de inserção de espiga, os efeitos da CEC em rendimento de grãos para as nove linhagens genitoras também devem ser analisados local por local (Quadro 19). Portanto, na safra 2008/09, tiveram maior CEC os híbridos CD3121-1xFlash, CD3121-1x30F80, SpeedxCD3121-2, 8330xAG8080, Dekalb350xCD3121-2 e AG8080xStrike. Na safra 2009, as maiores estimativas $\hat{s}_{ij}$ ocorreram nas combinações FlashxCD3121-2, CD3121-1xStrike, 8330xAG8080 e Dekalb350xStrike. Em comum, o híbrido 8330xAG8080 destacou-se nas duas safras.

Entre as combinações com maior CEC, acima citadas, 8330xCD3121-1 destacou-se também em AP e AE, apresentando bons resultados no teste de GER e bom desempenho nos demais testes de vigor das sementes. CD3121-1x30F80, por sua vez, além de demonstrar alto valor de $\hat{s}_{ij}$ para rendimento, na safra 2008/09, apresentou boa performance na maioria dos testes relativo à qualidade fisiológica das sementes.

Quadro 18 – Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação ($\hat{s}_{ij}$) para altura de plantas (AP) e altura de espigas (AE), nas safras 2008/09 e 2009 em Maringá, PR.

Híbridos	Altura de plantas			Altura de espigas		
	(cm)			(cm)		
	2008/09	2009	Médio	2008/09	2009	Médio
8330xCD3121-1	-5,36	-3,39	-4,38	-2,18	-3,89	-3,04
8330xAG8080	-5,79	4,96	-0,41	1,38	4,19	2,78
8330xFlash	3,13	-2,58	0,27	-0,24	0,90	0,33
8330xDekalb350	-0,11	4,54	2,22	0,96	0,57	0,76
8330x30F80	4,38	2,46	3,42	9,58	5,38	7,48
8330xStrike	8,87	7,01	7,94	1,27	-0,38	0,44
8330xSpeed	-6,40	-11,71	-9,06	-9,09	-9,16	-9,13
8330xCD3121-2	1,29	-1,29	0,00	-1,68	2,39	0,36
CD3121-1xAG8080	2,80	9,61	6,21	-1,19	8,79	3,80
CD3121-1xFlash	7,59	4,74	6,17	6,53	-3,70	1,42
CD3121-1xDekalb350	7,72	2,98	5,35	5,06	2,46	3,76
CD3121-1x30F80	10,97	13,32	12,15	2,35	9,10	5,73
CD3121-1xStrike	-0,28	5,36	2,54	0,13	2,68	1,41
CD3121-1xSpeed	-1,65	4,19	1,27	-0,58	-1,24	-0,91
CD3121-1xCD3121-2	-21,80	-36,81	-29,30	-10,12	-14,20	-12,16
AG8080xFlash	-2,14	-4,98	-3,56	-3,40	-3,87	-3,64
AG8080xDekalb350	-1,10	-7,56	-4,33	0,49	-1,14	-0,33
AG8080x30F80	0,80	-2,42	-0,81	1,45	0,18	0,82
AG8080xStrike	-2,68	-6,35	-4,52	-3,24	-5,32	-4,28
AG8080xSpeed	-2,32	-9,73	-6,03	4,20	-0,77	1,72
AG8080xCD3121-2	10,43	16,47	13,45	0,32	-2,06	-0,87
FlashxDekalb350	-3,66	4,79	0,57	-5,64	2,34	-1,65
Flashx30F80	-3,13	-7,26	-5,20	0,57	-9,63	-4,53
FlashxStrike	-4,70	-7,17	-5,94	-6,32	-1,95	-4,14
FlashxSpeed	-2,25	3,50	0,63	9,12	5,63	7,37
FlashxCD3121-2	5,16	8,96	7,06	-0,62	10,29	4,84
Dekalb350x30F80	-2,91	2,57	-0,17	-3,24	3,12	-0,06
Dekalb350xStrike	-3,67	-2,95	-3,31	2,10	-3,79	-0,84
Dekalb350xSpeed	4,36	-2,92	0,72	-6,48	-2,79	-4,63
Dekalb350xCD3121-2	-0,64	-1,45	-1,05	6,75	-0,76	2,99
30F80xStrike	-0,74	4,71	1,98	-2,10	-1,49	-1,79
30F80xSpeed	-6,29	-9,38	-7,84	-6,18	-3,99	-5,09
30F80xCD3121-2	-3,09	-4,00	-3,54	-2,44	-2,68	-2,56
StrikexSpeed	4,55	3,66	4,10	4,70	7,77	6,23
StrikexCD3121-2	-1,35	-4,28	-2,81	3,46	2,47	2,97
SpeedxCD3121-2	10,00	22,40	16,20	4,31	4,56	4,43

Quadro 19 – Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação ($\hat{s}_{ij}$) para rendimento de grãos (RG), nas safras 2008/09 e 2009 em Maringá, PR.

Híbridos	Rendimento de grãos (kg ha ⁻¹)		
	2008/09	2009	Médio
8330xCD3121-1	-57,76	776,65	359,44
8330xAG8080	932,73	669,59	801,16
8330xFlash	257,41	-240,48	8,47
8330xDekalb350	82,12	-162,00	-39,94
8330x30F80	89,84	201,53	145,69
8330xStrike	-775,27	-171,89	-473,58
8330xSpeed	-702,10	-980,34	-841,22
8330xCD3121-2	173,03	-93,06	39,98
CD3121-1xAG8080	26,45	318,89	172,67
CD3121-1xFlash	1222,66	282,90	752,78
CD3121-1xDekalb350	555,50	236,70	396,10
CD3121-1x30F80	1133,09	-8,99	562,05
CD3121-1xStrike	32,03	767,57	399,80
CD3121-1xSpeed	585,75	591,11	588,43
CD3121-1xCD3121-2	-3497,73	-2964,83	-3231,28
AG8080xFlash	-812,22	-261,04	-536,63
AG8080xDekalb350	-1412,20	-929,12	-1170,66
AG8080x30F80	147,74	347,94	247,84
AG8080xStrike	606,44	-27,64	289,40
AG8080xSpeed	213,11	-269,34	-28,12
AG8080xCD3121-2	297,97	150,71	224,34
FlashxDekalb350	-421,21	-17,24	-219,22
Flashx30F80	254,90	295,82	275,36
FlashxStrike	18,84	-441,39	-211,28
FlashxSpeed	-848,25	-418,47	-633,36
FlashxCD3121-2	327,86	799,89	563,87
Dekalb350x30F80	-80,13	134,59	27,23
Dekalb350xStrike	329,62	657,18	493,40
Dekalb350xSpeed	29,67	6,21	17,94
Dekalb350xCD3121-2	916,64	73,67	495,16
30F80xStrike	-1019,27	-1055,64	-1037,46
30F80xSpeed	-146,48	-269,92	-208,20
30F80xCD3121-2	-379,71	354,66	-12,52
StrikexSpeed	-243,01	-33,20	-138,11
StrikexCD3121-2	1050,63	305,01	677,82
SpeedxCD3121-2	1111,31	1373,94	1242,62

3.2.6 Estimativas dos efeitos recíprocos (ER)

Por meio da análise conjunta dos efeitos recíprocos (Quadro 20) observou-se que os híbridos FlashxStrike, 8330xSpeed e AG8080xStrike, que se destacaram pelos valores negativos elevados de $\hat{s}_{ij}$, apresentaram diferenças significativas na comparação entre F_1 e recíproco, a 1% de probabilidade pelo teste t. Nestes casos, os genitores Flash, 8330 e AG8080 devem ser utilizados como machos e Strike e Speed, como fêmeas, a fim de conferir menor altura de plantas nos respectivos cruzamentos.

Em relação aos híbridos 8330xCD3121-1 e AG8080xDekalb350 que também se destacaram com maiores valores negativos das estimativas de CEC para a característica AP, quando avaliado o efeito recíproco, não se verificaram diferenças significativas. Isso implica inferir que não há necessidade de se avaliar se o material é mais promissor quando utilizado como macho ou como fêmea e, portanto, não são necessários os cruzamentos recíprocos.

Quadro 20 – Estimativas dos efeitos recíprocos da capacidade específica de combinação ($\hat{r}_{ij}$), para altura de plantas (AP), nas safras 2008/09 e 2009 em Maringá, PR.

Híbridos	Altura de plantas (cm)		
	2008/09	2009	Médio
8330xCD3121-1	0,34	-2,10	-0,88
8330xAG8080	-1,10	5,69	2,29**
8330xFlash	1,84	-2,13	-0,15
8330xDekalb350	-3,21	-3,59	-3,40*
8330x30F80	-1,14	7,55	3,21*
8330xStrike	-4,73	-0,91	-2,82**
8330xSpeed	-4,89	-3,64	-4,26*
8330xCD3121-2	3,27	2,47	2,87**
CD3121-1xAG8080	4,28	5,67	4,97*
CD3121-1xFlash	5,17	9,08	7,12*
CD3121-1xDekalb350	2,68	2,33	2,50**
CD3121-1x30F80	-1,87	-3,38	-2,63**
CD3121-1xStrike	4,86	-0,37	2,24**
CD3121-1xSpeed	-0,46	2,48	1,01
CD3121-1xCD3121-2	-2,41	-4,62	-3,52*
AG8080xFlash	2,79	1,67	2,23**
AG8080xDekalb350	-3,50	-0,17	-1,83
AG8080x30F80	0,40	3,00	1,70
AG8080xStrike	-4,74	-1,57	-3,16*
AG8080xSpeed	2,78	3,22	3,00*
AG8080xCD3121-2	4,69	6,76	5,73*
FlashxDekalb350	-4,14	-2,78	-3,46*
Flashx30F80	2,99	-3,05	-0,03
FlashxStrike	-4,26	-8,93	-6,60*
FlashxSpeed	-3,50	-5,27	-4,39*
FlashxCD3121-2	0,84	-0,42	0,21
Dekalb350x30F80	-3,04	-2,36	-2,70**
Dekalb350xStrike	-12,51	-1,77	-7,14*
Dekalb350xSpeed	-1,02	-3,54	-2,28**
Dekalb350xCD3121-2	-1,87	0,60	-0,64
30F80xStrike	-2,58	-0,47	-1,52
30F80xSpeed	-1,77	2,16	0,19
30F80xCD3121-2	-1,48	-1,86	-1,67
StrikexSpeed	-3,97	-11,86	-7,91*
StrikexCD3121-2	-2,39	-3,19	-2,79**
SpeedxCD3121-2	4,91	13,90	9,40*

* Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

** Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

4 CONCLUSÕES

Houve maior importância dos genes de efeitos não-aditivos no controle genético da qualidade fisiológica de sementes de milho.

As linhagens Flash, Dekalb350, 30F80, 8330 e CD3121-1 são promissoras para a obtenção de híbridos com sementes de qualidade superior.

As combinações CD3121-1x30F80 e 8330xCD3121-1 devem ser utilizadas na obtenção de segregantes superiores para germinação e vigor de sementes de milho.

Nos testes de FRIO e EA, houve efeito recíproco para os híbridos CD3121-1xCD3121-2 e AG8080xSpeed, respectivamente.

As linhagens Dekalb350 e AG8080 são de interesse para síntese de híbridos promissores para safra e safrinha na Região Noroeste do Paraná.

Os híbridos simples CD3121-1x30F80 e 8330xAG8080 se destacaram para AP, AE e RG, mostrando-se promissores para cultivo em duas safras na Região Noroeste do Paraná.

Houve efeito recíproco nos híbridos FlashxStrike, 8330xSpeed para a característica altura de plantas.

As linhagens Flash, Dekalb350 e 30F80 aliaram alta qualidade fisiológica com alto rendimento de grãos.

As combinações CD3121-1x30F80, SpeedxCD3121-2, 8330xAG8080, Dekalb350xCD3121-2 são as mais promissoras entre os híbridos avaliados, com estimativas elevadas de CEC para qualidade fisiológica e rendimento, na safra normal.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, C.G.; SCAPIM, C.A.; PINTO, R.J.B.; AMARAL JUNIOR, A.T.; SILVÉRIO, L.; BASTOS-ANDRADE, C.A. Análise dialélica de linhagens de milho na safrinha. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.6, p.1731-1737, 2004.

ANTUNA, O.G.; RINCÓN, F.S.; GUTIÉRREZ E. DEL R.; RUIZ, N.A.T.; BUSTAMANTE, L.G. Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en líneas de maíz. **Revista Fitotecnia Mexicana**, México, v.26, n.1, p.11-17, 2003.

ARAÚJO, P.M.; MIRANDA FILHO, J.B. Analysis of diallel crosses for the evaluation of maize populations across environments. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v.1, n.3, p.255-262, 2001.

BARLA-SZABO, J.; BOCSI, J.; DOLINKA, B; ODIEMAH. M. Diallel analysis of seed vigour in maize. **Seed Science and Technology**, Zurich, v.18, n.3, p.721-729, 1989.

BARROS, A.S.R.; DIAS, M.C.L.L.; CICERO, S.M.; KRZYZANOWSKI, F.C. Teste de frio. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Eds.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. Cap.5, p.1-15.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399p.

CERVANTES-ORTIZ, F.; SANTOS, G.G.; CARBALLO-CARBALLO, A., BERGVINSON, D.; CROSSA, J.L.; MENDOZA-ELOS, M.; MORENO-MARTÍNEZ, E. Herencia del vigor de plántula y su relación con caracteres de planta adulta en líneas endogámicas de maíz tropical, **Agrociência**, México, v.41, n.4, p.425-433, 2007.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. 2009. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 03 jul. 2009.

CRUZ, C.D. **Programa Genes** - Aplicativo computacional em genética e estatística. Versão 2007. Disponível em: www.ufv.br/dbg/genes/genes.htm. Acesso em: 15 ag. 2008.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3.ed., Viçosa: Imprensa Universitária, 2004. 390p.

CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A. **Cultivares de milho disponíveis no mercado de sementes do Brasil para a safra 2009/2010**. Embrapa, 2009. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/milho/cultivares/index.php>> Acesso em: 20 jan. 2010.

EDMOND, J.B.; DRAPALA, W.J. The effects of temperature, sand and soil, and acetone on germination of okra seeds. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.71, n.2, p.428-434, 1958.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. 2.ed., Embrapa, Brasília, 2006. 306p.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2007. 576p.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 2007. 576p.

GOMES, M.S.; VON PINHO, É.V. de R.; VON PINHO, R.G.; VIEIRA, M. das G.G.C. Estimativas da capacidade de combinação de linhagens de milho tropical para qualidade fisiológica de sementes. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.24 (Edição Especial), p.41-49, 2000.

GRABE, D.F. Measurement of seed vigor. **Journal of Seed Technology**, London, v.1, n.2, p.18-31, 1976.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. **Australian Journal of Biological Sciences**, East Melbourne, v.9, n.4, p.462-93, 1956.

HOECKER, N.; KELLER, B.; PEIPHO, H.P.; HOCHHOLDINGER, F. Manifestation of heterosis during early maize (*Zea mays* L.) root development. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v.112, n.5/6, p. 421-429, 2006.

IAPAR. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná**. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 1987. 35p.

KVITSCHAL, M.V.; SCAPIM, C.A.; TONET, A.; PINTO, R.J.B.; RETUCCI, V.S.; AMARAL JUNIOR, A.T.; BRACCINI, A.L. Análise dialélica de populações de milho a região Noroeste do Paraná, na "Safrinha". **Revista Ceres**, Viçosa, v.51, n.293, p.19-32, 2004.

LOCATELLI, A.B.; FEDERIZZI, L.C.; NASPOLINI FILHO, V. Capacidade combinatória de nove linhagens endogâmicas de milho (*Zea mays* L.) em dois ambientes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.3, p.365-370, 2002.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination: aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v.2, n.2, p.176-177, 1962.

MARCOS FILHO, J. Testes de vigor: Importância e utilização. In: KRZYŻANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Eds.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Abrates, 1999. cap.1, p.1-21.

McCONNEL, R.L.; GARDNER, C.O. Inheritance of several cold tolerance traits in maize. **Crop Science**, Madison, v.19, n.6, p.847-852, 1979.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no crescimento de plantas. In: VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. (Eds.). **Teste de vigor em sementes**. Londrina: ABRATES, 1999, cap.2, p.1-21.

ODIEMAH, M. Quantitative inheritance of seed quality characteristics in maize (*Zea mays* L.). **Cereal Research Communications**, Szeged, v.17, n.1, p.245-251, 1989.

PANDEY, S., VASAL, S.K., DEUTSCH, J.A. Performance of open-pollinated maize cultivars selected from 10 tropical maize populations. **Crop Science**, Madison, v.31, n.2, p.285-290, 1991.

PATERNIANI, M.E.A.G.Z.; GUIMARÃES, P.S.; LÜDERS, R.R.; GALLO, P.B.; SOUZA, A.P.; LABORDA, P.R.; OLIVEIRA, K.M. Capacidade combinatória, divergência genética entre linhagens de milho e correlação com heterose. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.3, p.639-648, 2008.

PINTO, R.J.B.; SCAPIM, C.A.; BARRETO, R.R.; RODOVALHO, M.A.; ESTEVES, N.; LOPES, A.D. Análise dialélica de linhagens de milho-pipoca. **Revista Ceres**, Viçosa, v.54, n.315, p.471-477, 2007.

RAHMAN, H.; WICKS, Z.W.; SWATI, M.S. Generation mean analysis of seedling root characteristics in maize (*Zea mays* L.). **Maydica**, Bergamo, v.39, n.3, p.177-181, 1994.

REYES, D.L.; MOLINA, J.D.G.; OROPEZA, M.A.R.; MORENO, E. del C.P. Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza tuxpeño. **Revista Fitotecnia Mexicana**, México, v.27, n.1, p.49-56, 2004.

SCOTT, A.J.; KNOTT, M.A. Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v. 30, n.3, p.507-512, 1974.

SILVA, H.P.; BARBOSA, M.P.M.; NASS, L.L.; CAMARGO, L.E.A. Capacidade de combinação e heterose para resistência a *Puccinia polysora* Underw. em milho. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, n.4, p.777-783, 2001.

SILVA, R.M.; MIRANDA FILHO, J.B. Heterosis expression in crosses between maize populations: ear yield. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.60, n.3, p.519-524, 2003.

VENCOVSKY, R., BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 486p.