

HABILIDADE DE COMBINAÇÃO PARA A INCIDÊNCIA E  
SEVERIDADE DE *Fusarium* spp. NA ESPIGA EM MILHO-PIPOCA

**ISMAEL ALBINO SCHWANTES**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE  
DARCY RIBEIRO – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ  
MARÇO – 2016

HABILIDADE DE COMBINAÇÃO PARA A INCIDÊNCIA E  
SEVERIDADE DE *Fusarium* spp. NA ESPIGA EM MILHO-PIPOCA

**ISMAEL ALBINO SCHWANTES**

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas”.

Orientador: Prof. Antônio Teixeira do Amaral Júnior

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ  
MARÇO – 2016

HABILIDADE DE COMBINAÇÃO PARA A INCIDÊNCIA E SEVERIDADE DE *Fusarium* spp NA ESPIGA EM MILHO-PIPOCA

**ISMAEL ALBINO SCHWANTES**

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas”.

Aprovada em 01 de março de 2016.

Comissão Examinadora:

---

Prof. Adésio Ferreira (D.Sc. em Genética e Melhoramento) - UFES

---

Prof. Alexandre Pio Viana (D.Sc. em Produção Vegetal) - UENF

---

Prof. Marcelo Vivas (D.Sc. em Genética e Melhoramento) - UENF

---

Prof. Antônio Teixeira do Amaral Júnior (D.Sc. em Genética e Melhoramento) -  
UENF  
Orientador

Ao meu avô, Oswaldo da Fontoura, *in memoriam*,  
**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao nosso bom DEUS, pelo dom da vida e pela presença marcante em minha vida.

Especialmente tenho o dever e a satisfação de agradecer: a toda minha família, alicerce de todo o meu ser, em especial aos meus pais, Clautelio e Marlene, à minha avó Irma, e aos meus irmãos Diogo e Luan.

À minha eterna namorada Andréia, pelo amor, amizade e companheirismo, sempre fundamentais para a realização dos sonhos planejados em conjunto.

Aos amigos para todo sempre Renan, Pelé, Laércio, Ezequiel, Leandro e João, pela amizade e “parceria” ímpares.

Ao professor, amigo e orientador, Antônio Teixeira do Amaral Júnior, idealizador da Dissertação de Mestrado, pela significativa parcela na realização deste trabalho, pela habitual paciência e prontidão em atender a qualquer solicitação, pessoal e profissional e, principalmente, pela credibilidade depositada em mim.

À Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, pela disponibilidade dos Programas de Pós-graduação, capacitando e ampliando as oportunidades dos profissionais que por aqui passam.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa.

Aos docentes, em especial aos professores Alexandre Pio Viana e Marcelo Vivas, pelas críticas e sugestões, essenciais à lapidação do trabalho.

Ao secretário Daniel e a Coordenação do Programa de Genética e Melhoramento de Plantas, agradeço por toda atenção que dispensaram durante o meu Mestrado.

Aos colegas de Laboratório, do Curso de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas e de Produção Vegetal, pela convivência saudável e enriquecedora, alguns deles: Samuel, Valter, Gabrielle, Juliana, Adriano, Railan, Amanda, Cássio, Derivaldo, José, Yure, Pedro, Tales e Gustavo.

Agradecimento especial ao parceiro Ismael Gerhardt e aos pós-doutores Guilherme Pena e Fernando Higino, pela grande ajuda e pelos preciosos conselhos durante o Mestrado.

Aos funcionários de campo da Escola Técnica Estadual Agrícola Antônio Sarlo, em Campos dos Goytacazes, e da Clínica Fitossanitária da UENF; em especial, aos técnicos Geraldo de Carvalho e Vicente Mussi Dias, e ao bolsista Valdinei Cruz, pelo apoio durante a condução dos ensaios.

Por final, agradeço a todos que fizeram parte desta caminhada, contribuindo, física e espiritualmente, na concretização desta importante etapa em minha vida pessoal e profissional.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>VII</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>IX</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
2.1 MILHO-PIPOCA: ASPECTOS RELEVANTES.....	5
2.2 <i>FUSARIUM</i> SPP.: ABORDAGEM GERAL .....	6
2.3 <i>FUSARIUM</i> DE ESPIGA E SUA RELAÇÃO COM A PRESENÇA DE FUMONISINAS.....	8
2.4 <i>FUSARIUM</i> : CONDIÇÕES PARA PROPAGAÇÃO.....	9
2.5 <i>FUSARIUM</i> : CONTROLE CULTURAL .....	11
2.6 <i>FUSARIUM</i> : CONTROLE QUÍMICO.....	11
2.7 <i>FUSARIUM</i> : CONTROLE GENÉTICO .....	12
2.8 ANÁLISE DIALÉLICA .....	14
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>18</b>
3.1. OBTENÇÃO DOS HÍBRIDOS E AVALIAÇÃO DO DIALELO .....	18
3.2 INSTALAÇÃO DOS EXPERIMENTOS PARA OBTENÇÃO DE HÍBRIDOS F <sub>1</sub> .....	20
3.4 CARACTERÍSTICAS AVALIADAS NOS HÍBRIDOS, GENITORES E TESTEMUNHAS.....	21
3.5 AVALIAÇÕES DE INTENSIDADE DE DOENÇAS .....	21
3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	23
3.6.1 Análise de Variância.....	23
3.6.2 Análise Dialélica: Determinação da capacidade combinatória(Griffing, 1956) .....	23
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>25</b>
4.1 AVALIAÇÃO DOS HÍBRIDOS DIALÉLICOS NA 1ª E 2ª SAFRA.....	25

4.2 ANÁLISE DIALÉLICA DE GRIFFING (1956) PARA 1ª SAFRA .....	38
4.2.1 Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação .....	39
4.2.2 Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação .....	41
4.5 ANÁLISE DIALÉLICA DE GRIFFING (1956) PARA 2ª SAFRA .....	44
4.5.1 Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação .....	46
4.5.2 Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação .....	48
4.6 ANÁLISE DIALÉLICA MÉDIA DE GRIFFING (1956) .....	50
4.6.1. Estimativas dos efeitos médios da capacidade geral de combinação .....	52
4.6.2 Estimativas dos efeitos da capacidade específica média de combinação.....	54
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>58</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>59</b>



## RESUMO

SCHWANTES, Ismael Albino, M.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, março de 2016. HABILIDADE DE COMBINAÇÃO PARA A INCIDÊNCIA E SEVERIDADE DE *Fusarium* spp NA ESPIGA EM MILHO-PIPOCA. Orientador: Antônio Teixeira do Amaral Júnior. Professores Conselheiros: Alexandre Pio Viana, Marcelo Vivas e Adésio Ferreira.

A diversificação agrícola é a estratégia adequada para minimizar os problemas socioeconômicos oriundos de monocultivo de baixa rentabilidade, como ocorre com a cana-de-açúcar nas regiões Norte e Noroeste do Estado do Rio de Janeiro. Dentre as opções, a cultura do milho-pipoca é considerada uma excelente alternativa, por apresentar alta rentabilidade e grande aceitação popular. No entanto, o melhoramento do milho-pipoca ainda necessita superar algumas barreiras, dentre as quais se destaca a incidência de pragas e doenças, que afetam a fisiologia da planta, resultando em perdas para a cultura. Das doenças incidentes na cultura, a fusariose de espiga é uma das principais e apresenta um considerável potencial de danos, pois afeta a produtividade, a capacidade de expansão e a qualidade sanitária das sementes. Neste sentido, o desenvolvimento e uso de híbridos resistentes torna-se a melhor opção para o seu controle. Dessa forma, desenvolveu-se essa pesquisa, que visou estimar os parâmetros genéticos de interesse para a identificação de combinações híbridas e de genitores promissores para o início de um programa de melhoramento de milho-pipoca com enfoque para a resistência a fusariose de espiga. Isto posto,

foram realizados cruzamentos dialélicos completos com o uso de oito linhagens (L76, L88, L70, L77, L55, L61, P1 e P8), previamente selecionadas com base na reação à fusariose, para a obtenção de 56 híbridos ( $F_{1s}$  e recíprocos), cujos genitores,  $F_{1s}$  e testemunhas foram avaliados em delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições, em duas épocas de cultivo: 1ª safra e 2ª safra. As variáveis avaliadas foram: número total de espigas por parcela (NTE), peso médio de espigas com grãos (PE), rendimento de grãos (RG), capacidade de expansão dos grãos (CE), incidência de fusariose nas espigas de milho-pipoca (IEF), severidade de fusariose nas espigas de milho-pipoca (SFE), número total de sementes infectadas por fungos (ISF) e número total de sementes infectadas por *Fusarium* spp. (IFS). Com os resultados, estimaram-se as capacidades combinatórias dos genitores e seus híbridos. As combinações híbridas L70 x P1, L70 x P8, L76 x P8, P8 x L70 e L61 x P8 exibiram os melhores valores para rendimento de grãos, capacidade de expansão e sanidade para fusariose de espiga, tanto no teste de médias, quanto na análise da capacidade específica de combinação. Os efeitos gênicos não-aditivos foram preponderantes na expressão da resistência à fusariose de espiga e no rendimento de grãos; e os efeitos aditivos, os mais proeminentes para a capacidade de expansão. Os resultados obtidos indicam que a melhor estratégia consiste em explorar o uso de híbridos de milho-pipoca, com o uso de genitores que proporcionem um acúmulo de genes aditivos para a capacidade de expansão. Os híbridos com maior resistência genética à fusariose de espiga, também apresentaram maior qualidade e rendimento de grãos. A avaliação de severidade de fusariose na espiga (SFE) não foi satisfatoriamente eficiente para distinguir genótipos resistentes e suscetíveis, indicando a necessidade de aprimoramento da escala utilizada. O índice de sementes infectadas por fungos (ISF), índice de fusariose nas sementes (IFS) e a avaliação de incidência de fusariose na espiga (IEF) foram efetivos para distinguir genótipos quanto à resistência a fusariose de espiga.

## ABSTRACT

SCHWANTES, Ismael Albino, M.Sc., North Fluminense State University - Darcy Ribeiro, march 2016. COMBINING ABILITY FOR THE INTENSITY AND SEVERITY OF *Fusarium* spp IN POPCORN EARS. Advisor: Antonio Teixeira do Amaral Júnior. Committee Members: Alexandre Pio Viana, Marcelo Vivas and Adésio Ferreira.

Agricultural diversification is an appropriate strategy to minimize the socio-economic problems caused by low profitability monoculture, as with sugarcane in the North and Northwest of the State of Rio de Janeiro. Among the options, popcorn is considered an excellent alternative, due to its high profitability and great popular acceptance. However, the popcorn breeding still need to overcome some barriers, among which stands out the incidence of pests and diseases that affect the physiology of the plant, resulting in losses to the culture. Between the diseases incidents in popcorn, *Fusarium* ear rot is a major and presents considerable potential for damage because it affects grain yield, popping expansion and the sanitary quality of the seeds. In this sense, the development and use of resistant hybrids becomes the best option for the control of ear rots. Thus, this research was developed, aiming to estimate genetic parameters of interest for the identification of promising hybrids and parents for the beginning of a popcorn breeding program focusing on resistance to *Fusarium* ear rot. Whereupon, a complete diallel was performed using eight lines (L76, L88, L70, L77, L55, L61, P1 and P8) previously selected based on the reaction of *Fusarium*

ear rot, to obtain 56 hybrids (F1's and reciprocals). These hybrids, the parents and checks were evaluated in randomized complete block design with four replications, in two growing seasons. The variables evaluated were: total number of ears per plot (NTE), weight average of corn ears with grains (PE), grain yield (RG), popping expansion (CE), fusarium incidence in popcorn ears (IEF), fusarium severity in popcorn ears (SFE), total number of seeds infected by fungi (ISF) and total number of seeds infected by *Fusarium* spp. (IFS). With the results, were estimated the combining abilities of the parents and hybrids. The hybrids combinations L70 x P1, L70 x P8, L76 x P8 P8 x L70 and L61 x P8 showed the best values for grain yield, popping expansion and sanity to *Fusarium* ear rot in the mean test, and in the analysis of the specific combination ability. The non-additive genetic effects were prevalent in the expression of resistance to *Fusarium* ear rot and grain yield; and additive effects, the most prominent for the popping expansion. The results indicate that the best strategy is to explore the use of popcorn hybrids, with the use of parents that provide an accumulation of additive genes for popping expansion. Hybrids with greater genetic resistance to *Fusarium* ear rot also present higher quality and yield. The *Fusarium* severity evaluation on the ear (SFE) was not satisfactorily efficient for distinguishing resistant and susceptible genotypes, indicating the need to improve the scale used. The fungus incidence evaluation in the seeds (ISF), *Fusarium* incidence in the seeds (IFS) and the evaluation of *Fusarium* incidence in the ear (IEF) were effective to distinguish genotypes for resistance to *Fusarium* ear rot.

## 1. INTRODUÇÃO

O cultivo de milho-pipoca tem exercido influência positiva em setores da economia nacional. Considerada uma cultura de elevada rentabilidade, seu produto final possui grande aceitação popular e, em muito, movimenta a economia informal, sendo presença garantida nas gôndolas dos mais diversos estabelecimentos comerciais do ramo de alimentos, seja nas grandes ou nas pequenas cidades do país (Vieira et al., 2009). Entretanto, seu cultivo ainda se restringe a pequenas áreas, mas com boas perspectivas de expansão. Atualmente, o milho-pipoca é cultivado, principalmente, por pequenos produtores, com exceção de alguns poucos grandes produtores empresariais que utilizam a irrigação para ter o produto sempre em oferta, atendendo às demandas de cerealistas que empacotam e disponibilizam o produto no comércio (Agrolink, 2015). A área plantada com este tipo de milho varia, de ano para ano, em função da demanda de mercado futuro. Contudo, vem crescendo a necessidade por informações a respeito do cultivo deste tipo de milho, não só pela diversificação agrícola, mas também pelos bons preços ofertados ao produto pelo mercado (Embrapa, 2012).

De acordo com o Grupo de Coordenação de Estatísticas Agropecuárias (GCEA/IBGE, 2013), a produção de milho-pipoca em 2010 e 2011 foi, respectivamente, de 43.403 e 44.475 toneladas. No ano de 2012, houve um incremento considerável de 50.598 toneladas, alcançando uma produção total de 95.073 toneladas. Essa produção se concentra, principalmente, em Mato Grosso,

onde as grandes empresas empacotadoras disponibilizam as sementes e garantem a compra da safra (Carvalho et al., 2013). Já, em 2013, foram cultivados 43.379 mil hectares, e a produção foi de 171.111 toneladas de grãos. Em comparação com o ano anterior, a área plantada cresceu 64,58 %, e o volume colhido, 67,39 %, segundo informações do GCEA/IBGE (2013). Em 2014, a produção chegou ao número recorde de 255.000 toneladas, a qual foi estimulada pela realização da Copa do Mundo de Futebol no Brasil (Agrodebate - G1, 2015).

As principais características das plantas e grãos de milho-pipoca para serem agregadas com o melhoramento genético, são: a alta produtividade, o baixo acamamento e quebramento das plantas, a alta resistência às doenças e às pragas, a alta capacidade de expansão e boas características organolépticas, como maciez, sabor, aroma e cor da flor da pipoca (Alexander e Creech, 1977; Öz e Kapar, 2011). Neste contexto, a implicação do ataque de doenças sobre a cultura do milho-pipoca pode caracterizar, sobretudo, reduções drásticas de rendimento e da qualidade da capacidade de expansão dos grãos, culminando com a depreciação do valor comercial da pipoca, pela presença de níveis acentuados de grãos avariados, agravado, dentre outras causas, pelo ataque de fungos causadores de podridões que afetam diretamente o pericarpo e o endosperma dos grãos (Sawazaki, 2001).

Ressalta-se que no Brasil, a cultura tem a sua produção de grãos reduzidos, em razão do ataque de patógenos causadores de diversas doenças foliares e podridões de espiga, que variam de ano para ano e de região para região, em função das condições climáticas, do nível de suscetibilidade das cultivares plantadas e do sistema de plantio utilizado, merecendo destaque as podridões de colmo, e os grãos ardidos, causados pelo fungo *Fusarium* spp (Embrapa, 2006). Os efeitos deletérios estendem-se do campo ao consumo e, decorrente de sua distribuição mundial, contamina o milho nos principais países exportadores. Para contornar os prejuízos, o domínio sobre princípios básicos referentes à infecção/micotoxicologia é fundamental, sobretudo, visando ao direcionamento adequado de medidas preventivas (Figueira et al., 2003). Neste sentido, a utilização de genótipos com maior nível de resistência é a medida mais vantajosa para o controle dos principais patógenos que causam danos ao milho-pipoca (Vieira et al., 2009). Por conseguinte, o desenvolvimento de programas de melhoramento de milho-pipoca, que visem ao desenvolvimento de populações

melhoradas e/ou híbridos adaptados às condições brasileiras, são imprescindíveis para diminuir a dependência da importação da pipoca (Vilarinho et al., 2003; Leonello et al., 2009).

Uma doença de importância é a fusariose de espiga, pois causa danos como: menor produtividade, menor qualidade, menor palatabilidade e menor valor nutritivo dos grãos; além disso, produz toxinas que podem ter efeito cancerígeno e, até letal a aves, animais e ao homem (Newman, 2000). Deve-se considerar, ainda, que a presença de grãos atacados por fungos está entre os fatores que depreciam a qualidade final da pipoca, os quais limitam o potencial da capacidade de expansão enquanto principal indicador da qualidade do milho-pipoca (Sawazaki, 2001). A fusariose de espiga está relacionada à presença de fumonisinas nas espigas de milho; no entanto, não se pode afirmar que grãos assintomáticos quanto à infecção por *F. verticillioides*, estejam livres de contaminação por fumonisinas (Munhoz et al., 2015).

Na literatura, os trabalhos sobre fusariose na espiga encontrados são, na sua grande maioria, com milho comum, o que eleva a importância do aumento na busca por informações sobre a resistência à fusariose de espiga em milho-pipoca. No que diz respeito ao desenvolvimento de cultivares resistentes, bem como, ao estudo de fontes de resistência às principais doenças foliares da cultura do milho-pipoca, dentre os poucos trabalhos envolvendo a sanidade da cultura, destacam-se as pesquisas desenvolvidas por Arnhold (2008); com *Puccinia sorghi*, *Phaeosphaeria maydis* e *Bipolaris maydis* e *Exserohilum turcicum*; Vieira et al. (2009); com *Puccinia polysora*; e Sanches et al. (2011), com *Physopella zae*. Cabe salientar que Kurosawa (2015), não encontrou trabalhos visando resistência a podridões de espiga para a cultura do milho-pipoca.

Barreto et al. (2012) relataram que no ano agrícola 2010/2011, no mercado nacional, estavam disponíveis apenas sementes de três híbridos de milho-pipoca, a saber: Zélia, IAC 112 e IAC 125. Dentre estas cultivares tem-se apenas a informação da resistência do híbrido IAC125 a fusariose de espiga (Kurosawa, 2015). Desse modo, torna-se fundamental a busca por novas combinações híbridas e de estudos mais aprofundados nesta área.

A Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro vem desenvolvendo, desde 1998 um Programa de Melhoramento Genético de Milho-Pipoca, que culminou com o lançamento da cultivar UENF 14 (Pereira e Amaral

Junior, 2001; Amaral Junior et al., 2013). Dentre as ações desenvolvidas também está à introdução de genótipos provenientes de diferentes regiões/instituições, tais como: Universidade Federal de Viçosa (UFV), Universidade Estadual de Maringá (UEM), Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), EMBRAPA/CNPMS (Freitas Júnior, 2008) e *International Maize and Wheat Improvement Center* (CIMMYT). Tais introduções visam enriquecer o Banco de Germoplasma de Milho-Pipoca da UENF, possibilitando desenvolver cultivares com características agronômicas e comerciais desejáveis e que sejam adaptadas às condições socioambientais das regiões Norte e Noroeste Fluminense. Logo, é indispensável avaliar o desempenho destes genótipos em combinação visando à formação de novos híbridos, que tenham suficiente nível de resistência à fusariose de espiga, uma vez que se trata da forma mais econômica e sustentável de lançamento de novas cultivares superiores para os produtores do Norte e Noroeste Fluminense (Vilarinho et al., 2003; Pinto, 2007).

O Programa de Melhoramento de Milho-Pipoca da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF possui cinco principais linhas de pesquisa: seleção recorrente na população UENF 14; seleção recorrente genômica; melhoramento utilizando cruzamentos dialélicos e *testcrosses* entre linhagens e variedades; investigações da eficiência a estresses abióticos – P, N e *déficit* hídrico; e, por fim, o melhoramento visando à resistência a doenças. Este trabalho se insere na última linha de pesquisa aqui, referenciada e visa a obter informações relevantes ao programa de melhoramento na busca por híbridos superiores, a partir das linhagens disponíveis no banco de germoplasma da UENF, oriundas de diferentes institutos (CIMMYT, UEM, EMBRAPA), com o intuito de disponibilizar cultivares resistentes à fusariose de espiga.



## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Milho-Pipoca: Aspectos relevantes

Pertencente à espécie *Zea mays* L., à família Poaceae, sub-família Panicoideae e tribo Maydeae, o milho-pipoca difere dos outros tipos de milho, devido à capacidade de expandir. As plantas de milho-pipoca se apresentam menos vigorosas que o milho comum, com porte menor, colmo mais fino, menor número de folhas. São comumente prolíficas, ou seja, contêm várias espigas por planta, situadas numa posição mais alta, além de possuírem maior tamanho de pendão (Ziegler e Ashman, 1994). Tais plantas possuem, geralmente, um sistema radicular fasciculado e superficial, o que lhes conferem pouca tolerância à seca (Goodman e Smith, 1987). De forma geral, as plantas de milho-pipoca são mais suscetíveis ao acamamento, a pragas e doenças, ao quebramento dos colmos e à podridão de grãos, necessitando de um cuidado especial durante a colheita e a secagem dos grãos, para evitar danos no pericarpo e ao endosperma (Sawazaki, 2001).

São várias as hipóteses postuladas quanto à origem genética do milho-pipoca; de acordo com Bennetzen et al. (2001), a mais aceita é a que o teosinto atual seja o ancestral silvestre do milho. Outras hipóteses são que o teosinto primitivo seja o ancestral silvestre, tanto do milho comum quanto do teosinto atual; ou, ainda, que uma forma extinta de milho tunicado foi o ancestral do milho, sendo o teosinto uma forma mutante do tipo tunicado (Galinat, 1977). Segundo Goodman e Smith (1987), existem evidências genéticas e citológicas de que o

milho e teosinto são aparentados. Essas evidências consolidam-se pelo fato de que o milho e o teosinto possuem o mesmo número e homologia dos cromossomos, além da facilidade com que se inter cruzam, originando descendentes geralmente férteis.

De acordo com Dalbello et al. (1995), o grão de milho-pipoca estoura devido à fina cápsula que envolve o endosperma. A película do milho-pipoca funciona como uma parede rígida, que se rompe quando a pressão interna aumenta, por causa do calor que é transferido para o interior do grão (Silva et al., 1993).

O valor do milho-pipoca como cultura depende muito de sua qualidade, que é determinada, principalmente, pela capacidade de expansão (CE) e maciez, as quais são altamente correlacionadas (Lira, 1983).

Quanto ao formato, tamanho e cor do grão, o milho-pipoca apresenta alta variabilidade. As formas de maior aceitação comercial são os de grãos redondos, tipo pérola, e com endosperma alaranjado (Ziegler e Ashman, 1994). Segundo Zinsly e Machado (1987), o milho-pipoca apresenta, em termos de comercialização, uma classificação de mercado do seguinte tipo: pipoca americana extra, pipoca americana especial, pipoca amarela extra e pipoca amarela especial. Essa classificação orienta o comércio das principais variedades de milho-pipoca, já que existem outras variedades de aceitação local ou regional que são também comercializadas. A comercialização dos grãos é feita por peso e uma proporção do produto final é vendida pelo volume (pipoca). Por isso, a capacidade de expansão (CE) da pipoca é um dos fatores mais importantes, quando se faz referência a sua qualidade. Segundo alguns melhoristas de milho-pipoca o valor mínimo de CE, para lançamento de uma cultivar é de  $30 \text{ mL.g}^{-1}$  (Matta e Viana, 2001; Sawazaki, 2001).

## **2.2 *Fusarium* spp.: Abordagem geral**

O gênero *Fusarium* foi criado, descrito e classificado pelo Micólogo Link, em 1809, sendo que existem cerca de 780 espécies e subespécies identificadas (Zipcodezoo, 2010). Caracteriza-se como um fungo cosmopolita, sendo encontrado no solo, ar, plantas e alimentos (Urban et al., 2010). A maioria das espécies são sapróbios inofensivos, absorvendo substâncias orgânicas

provenientes de matéria orgânica em decomposição. Abundantes no solo, algumas espécies produzem micotoxinas em cereais que, se entrarem na cadeia alimentar, podem afetar a saúde humana e animal. As principais toxinas produzidas por *Fusarium* são fumonisinas e tricotecenos (Zipcodezoo, 2010).

As espécies de *Fusarium* mais importantes, comercialmente, são:

i) *Fusarium oxysporum f.sp. vasinfectum* W.C. Snyder e H.N. Hansen 1940 (murcha-de-fusarium ou fusariose), que se hospeda no algodão (*Gossypiumm alvaceae*), causando redução no crescimento e desenvolvimento da planta, murcha de folhas e ramos e perda de folhas e de novas brotações;

ii) *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici*, que no tomate (*Solanum lycopersicum*) W.C. Snyder e H.N. Hansen 1940, causa murcha nas folhas, redução do desenvolvimento dos frutos e morte prematura das plantas, sendo uma das doenças mais importantes do tomateiro (Urban et al., 2010);

iii) *Fusarium solani* (Mart.) Sacc. 1881 (podridão-seca), doença que afeta os tubérculos da batata (*Solanum tuberosum* L.), provocando o seu apodrecimento antes, mas principalmente após a colheita, pela infecção que se dá principalmente através de ferimentos mecânicos ou provocados por insetos;

iv) *Fusarium graminearum* Schwabe 1839 (giberela ou fusariose), que ocorre no trigo (*Triticum* spp.), apresentando sintomas como espiguetas despigmentadas, grãos pequenos danificados e chochos; e

v) *Fusarium moniliforme* J. Sheld. 1904 ou *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg 1976 (podridões de colmo e espiga), sendo um fungo comumente encontrado na cultura do milho e que associado ao apodrecimento de sementes, pode interferir na qualidade fisiológica das sementes e prejudicar o estande da lavoura (Goulart, 1998). Outras espécies de *Fusarium* podem estar associadas à podridão-de-fusarium do milho, incluindo *Fusarium subglutinans* (Wollenw. e Reinking) P.E. Nelson, Toussoun e Marasas 1983, *Fusarium proliferatum* (Matsush.) Nirenberg ex Gerlach e Nirenberg 1982 e *Fusarium graminearum* Schwabe 1839.

Focando-se nos danos de *Fusarium* em milho, destacam-se as podridões de colmo e espiga. No mundo, estão entre as mais importantes doenças que atacam a cultura do milho, por causarem redução de produção e de qualidade de grãos e silagens. Sua ocorrência, no Brasil, tem aumentado significativamente nas últimas safras em todas as regiões de plantio. Os plantios sucessivos, a

ampla adoção do sistema de plantio direto sem rotação de culturas e a utilização de genótipos suscetíveis favorecem a ocorrência da doença em função da elevada capacidade dos patógenos de sobreviverem no solo e em restos de cultura, resultando no rápido acúmulo de inóculo nas áreas de cultivo.

Têm sido relatadas, no Brasil, incidências de podridão de colmo acima de 70% e perdas de produtividade em torno de 50 % em cultivares suscetíveis sob condições ambientais favoráveis (Embrapa, 2010). Levando-se em conta que a USDA reportou uma produção mundial de 991,92 milhões de toneladas de milho para a safra de 2014/2015 e que o Brasil é o terceiro maior produtor mundial do grão, totalizando 75 milhões de toneladas aproximadamente na safra 2014/2015 (USDA, 2015); tem-se uma dimensão do tamanho do prejuízo que essas doenças fúngicas podem causar.

### **2.3 *Fusarium* de espiga e sua relação com a presença de fumonisinas**

Buscando-se na literatura os termos *Fusarium* de espiga, encontra-se que a principal espécie é o fungo ascomiceto *Gibberella zae* (Schwein.) Petch, que na forma assexual se designa *Fusarium graminearum*. A doença manifesta-se pela presença de um mofo rosado em milho, iniciando geralmente na ponta da espiga e progredindo em direção à base. Quando a infecção ocorre no início do ciclo reprodutivo, a podridão pode tomar conta de toda a espiga. A infecção também pode acontecer pela base da espiga, quando ocorre acúmulo de água entre a bainha foliar e a espiga (Reis et al., 2004). A podridão de espiga de giberela pode também estar associada a injúrias por pássaros e insetos (Chungu et al., 1996; Embrapa, 2010). A podridão de giberela envolve o ataque direto do fungo aos grãos, os quais podem exibir sintomas da colonização com grãos arroxeados e/ou rosados, perdendo a coloração característica, sendo um dos responsáveis pela denominação de grãos ardidos (Casa et al., 2010).

O fungo *Fusarium verticillioides*, é um dos maiores causadores de danos na cultura do milho, no Brasil. *Fusarium verticillioides* é um fungo de distribuição mundial com alta ocorrência e infecção atingindo mais de 90 % do milho, em que 90 % das linhagens isoladas de *Fusarium verticillioides* produzem fumonisina (Bacon e Nelson, 1994). Fumonisina é uma toxina que se estiver em alta concentração no milho causa grandes prejuízos à saúde das aves, suínos,

equinos e, também, para os humanos. A presença de toxinas nos grãos e nas sementes de milho reduz o valor comercial destas, podendo até inutilizar o produto (Newman, 2000;).

A podridão de *Fusarium* é encontrada em praticamente todas as áreas produtoras do país e está diretamente relacionada às condições edafoclimáticas nas regiões de cultivo (Reis et al., 2004). Ferreira et al. (2013), analisando marcas comerciais de fubá, farinha de milho e canjiquinha, em Minas Gerais, encontraram contaminação por fumonisinas em todos os produtos; no entanto, os produtos analisados apresentaram concentrações abaixo dos limites máximos tolerados, não oferecendo riscos para a saúde. Figueira et al. (2003), encontraram uma média de 93,8 % das amostras contaminadas por *Fusarium verticillioides*, no Paraná e em São Paulo. Os níveis mais elevados de fumonisinas (valores máximos entre 49,31 mg/g a 129,16 mg/g) foram detectados em São Paulo (Orsi et al., 2000), em relação ao valor máximo detectado de 10,59 mg/g, no Paraná (Hirooka et al., 1996).

Procedendo-se um estudo detalhado sobre os níveis de contaminação por fumonisina, em três regiões no Estado do Paraná, foi detectada maior concentração nas amostras de milho provenientes da Região Norte (6,92 mg/g a 14,36 mg/g), seguida da Região Centro-Oeste (5,17 mg/g a 10,67 mg/g) e menor concentração na Região Centro-Sul de (1,14 mg/g a 2,52 mg/g) (Ono et al., 1999). Esses dados fornecem uma base de como é o comportamento do fungo com relação à distribuição e ao nível de infestação.

De modo geral, a ocorrência de *Fusarium verticillioides* e fumonisina no milho abrange os cinco continentes, citando-se países como Canadá (Miller et al., 1995), Portugal (Doko et al., 1995), Uruguai (Pintero et al., 1997), China (Groves et al., 1999), Taiwan (Tseng e Liu, 1999), Irã (Shepard et al., 2000), dentre outros. Nota-se que esta ampla distribuição geográfica se entende desde regiões de clima temperado e tropical úmido a subtropical, causando podridão de raiz, colmo, espiga e deterioração de grãos armazenados.

#### **2.4 *Fusarium*: Condições para propagação**

A podridão de *Fusarium* é mais comum em locais de clima mais quente e seco, onde a temperatura ótima para o patógeno se encontra em

aproximadamente 30 °C e em altitudes inferiores a 700 metros (Munkvold et al., 1997). As podridões causadas por *Fusarium* spp são favorecidas por condições mais secas no início do ciclo da cultura, o que resulta em menor solubilidade e disponibilidade dos nutrientes para as plantas, tornando-as mais vulneráveis à doença. Após a polinização, temperaturas elevadas entre 28 e 30 °C e alta umidade favorecem o ataque dos referidos patógenos (Costa et al., 2005). Isto é o que torna o fungo mais fácil de ser encontrado em regiões de clima tropical e subtropical; porém, também pode ocorrer em climas temperados.

As espécies de *Fusarium* sobrevivem muito bem em resíduos de colheita e nas sementes, na forma de micélios, peritécios e hifas. Com o grande uso do plantio direto que ocorre na produção de milho, há um grande volume de resíduos disponível para estes microorganismos. Soma-se a isto, o fato de que geralmente as rotações de cultura ocorrem entre o milho e mais uma ou, no máximo, duas culturas. Isso diminui a diversidade e aumenta a quantidade de resíduos de hospedeiros no solo, constituindo-se em uma imensa fonte de inóculo (Kimati et al., 2005).

*Fusarium verticillioides* produzem macroconídeos e microconídeos. Esses microconídeos são produzidos em grande quantidade nos resíduos do solo e são muito facilmente dispersos pelos insetos, pela chuva e em grandes distâncias pelo vento, o que o torna um foco de inóculo muito variável e de difícil quantificação (Maiorano et al., 2008). A infecção pode se iniciar pelas raízes ou por qualquer outra parte da planta e está associada a ferimentos causados por nematóides, pragas e pássaros (Stumpf, 2011).

Após as fases de polinização e fertilização, inicia-se o período de enchimento dos grãos, que se estende até a maturidade fisiológica. Esse período é bastante crítico para uma boa produção, por isso, todo o sistema envolvido na fotossíntese precisa estar funcionando. Qualquer fator que interfira negativamente no processo de fotossíntese nessa fase, como “*stress*” hídrico, temperaturas elevadas, desequilíbrios nutricionais, redução da radiação solar e perda de área foliar devido ao ataque de pragas e doenças, resultam em inadequado suprimento de carboidratos para enchimento dos grãos (Embrapa, 2010). E é neste momento que os patógenos se aproveitam da debilidade da planta e causam injúrias que facilitam a entrada do *Fusarium* spp (Mendes et al., 2012).

## **2.5 *Fusarium*: Controle cultural**

Buscando-se o controle de *Fusarium* de espiga do milho, pode-se usar uma série de alternativas de manejo que diminuem a sua incidência. *Fusarium* spp. é um fungo de hábito saprofítico que sobrevive nos restos culturais; portanto, uma das alternativas é realizar o manejo destes resíduos. Utilizar rotação de culturas com plantas não-hospedeiras e não realizar cultivos sucessivos de milho em uma mesma área, são alternativas viáveis (Agrolink, 2015).

Trento et al. (2002) estudaram o efeito da rotação de culturas sobre a incidência de grãos ardidos e notaram diferença significativa sobre as taxas de crescimento de podridões de espiga e de grãos ardidos entre os sistemas de rotação de cultura e monocultura, atribuindo maiores incidências dos gêneros *Fusarium* e *Diplodia* spp ao sistema de monocultura pela disponibilidade de fontes de inóculo. Segundo Casa et al. (2007), o aumento na densidade de plantas é uma das maneiras para aumentar a interceptação da luz solar e, portanto, elevar o rendimento de grãos na cultura do milho; entretanto, tal prática pode favorecer a incidência de podridões de espiga e grãos ardidos, pois, maior densidade populacional de plantas resulta em acréscimo da competição intraespecífica por água, luz e nutrientes, o que pode elevar a predisposição das plantas ao ataque de patógenos.

Pelo exposto, algumas práticas de manejo são importantes e, se utilizadas em conjunto com formas de controle genético e químico, podem eliminar ou, ao menos reduzir bastante, a incidência de *Fusarium* spp. em espigas de milho. Essas práticas culturais são: controle de plantas daninhas, utilização de sementes com qualidade sanitária e que foram corretamente beneficiadas e armazenadas, utilização de cultivares que tenham espigas com anatomia que dificulte a infecção, controle de insetos, não retardamento da colheita, realização de adubações de acordo com as recomendações técnicas e, sobretudo evitando desequilíbrios nutricionais (Embrapa, 2010).

## **2.6 *Fusarium*: Controle químico**

Buscando-se relatos de controle químico para *Fusarium verticillioides* em milho, existem formas de controle utilizáveis nas sementes e, para a aplicação

foliar, basta verificar dentre uma série de produtos, qual apresenta o melhor controle.

Para aplicação foliar, de acordo com Stefanello et al. (2012), a realização de duas aplicações (V8 + pré-pendoamento), ou uma aplicação no pré-pendoamento, via foliar, do fungicida azoxistrobina + ciproconazol (300,0 mL ha<sup>-1</sup> + 0,5 % de óleo mineral) resultou em menor incidência do fungo *Fusarium* spp, nos grãos colhidos.

Para tratamento de sementes, segundo Lasca et al. (2005), trabalhando com sementes do híbrido DAS 9560, após o tratamento com fungicidas, houve uma redução acentuada, estatisticamente significativa, do fungo *Fusarium verticillioides* nas sementes tratadas, em que se destacou o tratamento com *carbendazim* + *thiram* (150 + 350) SC (200 mL). Os fungicidas *tolyfluanid* 500 PM (150 g) e *captan* 750 TS (160 g), também se mostraram eficientes, não diferindo, estatisticamente, do citado anteriormente.

Estas são algumas provas de que o controle químico é possível, porém, sempre deve-se usá-lo de forma integrada com os controles culturais e genéticos. De acordo com Stefanello et al. (2012), que avaliaram o efeito de fungicidas aplicados em sementes de milho para controle de *Fusarium verticillioides*, os autores constataram que os fungicidas foram eficientes no controle, no entanto não conseguiram erradicar totalmente o fungo.

## **2.7 *Fusarium*: Controle genético**

O controle genético é realizado pela geração de híbridos de milho com resistência ou tolerância a *Fusarium* spp. Segundo Michereff (2001), três etapas básicas devem ser consideradas em qualquer programa de obtenção e utilização de variedades resistentes: i) identificar fontes de resistência, ou seja, identificar no Banco de Germoplasma, genótipos que possuam genes de resistência; ii) incorporar estes genes em cultivares comerciais por meio dos métodos de melhoramento; e iii) após a obtenção de uma cultivar resistente, estruturar a melhor estratégia para que a resistência seja durável face à natureza dinâmica das populações patogênicas.

Um dos problemas que os melhoristas têm que enfrentar é a ocorrência de variabilidade dos organismos fitopatogênicos (fungos, bactérias, vírus e nematóides). O termo raça fisiológica vem sendo utilizado para descrever os



patógenos da mesma espécie, morfologicamente semelhantes e com mesma virulência. Patógenos de distintas raças fisiológicas apresentam diferentes níveis de virulência. As raças fisiológicas são identificadas ou diferenciadas pela reação que causam em um grupo selecionado do hospedeiro, cujos componentes são denominados “variedades diferenciadoras” (Bueno et al., 2001).

A resistência pode ser classificada de acordo com sua efetividade contra raças do patógeno. Segundo Vanderplank (1963), existem resistências que são efetivas contra algumas raças do patógeno e resistências que são efetivas contra todas as raças. No primeiro caso, têm-se as resistências verticais, ao passo que no segundo caso, há as resistências horizontais. Na maioria dos casos, a resistência vertical é do tipo monogênica, ao passo que a resistência horizontal é do tipo poligênica. De forma geral, a resistência vertical é de curta duração, pois os patógenos têm capacidade de quebrá-la, quando aparecem ou são introduzidas novas raças para as quais as cultivares não tem resistência. Já, a resistência horizontal, parece ser mais durável, pois se mantém mesmo com o aparecimento de novas raças do patógeno. A resistência vertical, por ser efetiva apenas contra algumas raças do patógeno, agindo no sentido de reduzir a quantidade de inóculo inicial, faz com que o início da epidemia seja retardada. Já, a resistência horizontal, reduz a taxa de desenvolvimento da doença, sem afetar significativamente o inóculo inicial. A resistência horizontal está presente em maior ou menor grau em todas as espécies de hospedeiros. Os genes que determinam este tipo de resistência não são específicos, mas sim genes que normalmente existem em plantas sadias, regulando os processos fisiológicos (Bespalhok Filho et al., 2015).

O controle da doença torna-se mais efetivo se concomitantemente com o controle genético, também se realizam boas práticas de manejo, o que torna a planta ainda menos suscetível à doença. De forma análoga às doenças foliares, o controle de podridões de espiga a partir da seleção e desenvolvimento de cultivares resistentes, constitui a alternativa mais promissora (Pinto, 2007b). Segundo Mendes et al. (2012) genótipos de milho com alto teor de ácido linoleico, principal ácido graxo, bem como alta atividade da enzima lipoxigenase, possuem maior capacidade de resistirem ao ataque fúngico, resultando em menores índices de grãos ardidos na colheita.

O desenvolvimento de cultivares resistentes constitui um trabalho intenso, envolvendo, *a priori*, identificação de fontes de resistência com posterior elucidação do tipo de controle genético, culminando com a elaboração e execução de medidas estratégicas eficientes como a introgressão de alelos de resistência para genótipos elites (Schuelter et al., 2003). Segundo Silva et al. (2001), a disponibilidade de uma grande diversidade genética contribui, fundamentalmente, no processo de busca pela resistência genética. Neste sentido, os bancos de germoplasma assumem indispensável importância no que tange a congregação da variabilidade genética, sobretudo para subsidiar os programas de melhoramento de plantas na obtenção de genótipos superiores (Quintal et al., 2012)

## 2.8 Análise Dialélica

A análise dialélica consiste do cruzamento entre genitores selecionados, provendo um conjunto particular de combinações híbridas de  $p$  genitores, sejam eles linhagens endogâmicas ou parcialmente endogâmicas, variedades de polinização aberta, compostos, sintéticos ou clones. Consiste em um sistema de cruzamento dialélico pelo qual um grupo de  $n$  genótipos são escolhidos e os cruzamentos são feitos entre eles. Este procedimento dá origem a um máximo de  $n^2$  combinações. As combinações são avaliadas em experimentos com repetições e as médias de tratamentos, representam as combinações mencionadas, que são utilizadas para formar uma tabela dialélica  $n \times n$ . As  $n^2$  combinações podem ser divididas em três grupos: i) as próprias linhas puras; ii) os  $n(n-1)/2$  híbridos  $F_1$ ; e iii) um conjunto de  $n(n-1)/2$  híbridos  $F_1$  recíprocos (Griffing, 1956). A opção por um ou outro método dependerá do material utilizado.

As metodologias de análise dialélica têm por finalidade analisar o delineamento genético, provendo estimativas de parâmetros úteis na seleção e na compreensão dos efeitos genéticos envolvidos na determinação das características e classificam-se como balanceados ou desbalanceados, completos, parciais, circulantes, dentre outros (Cruz et al., 2014).

Em milho comum, por exemplo, para estudar o controle genético da resistência à síntese de fumonisinas em milho temperado, Hung e Holland (2012) utilizaram 18 linhagens contrastantes, considerando distintos grupos heteróticos, para compor um esquema de dialelo completo, obtendo-se também os

cruzamentos recíprocos. Nesse trabalho, os autores identificaram tanto a presença dos efeitos aditivos, quanto de efeitos dominantes, com predominância dos efeitos aditivos. Além disso, as estimativas da correlação da CGC com o desempenho das linhagens foram de alta magnitude, indicando que uma das maneiras de se obter resistência à fumonisina se dá pela avaliação e seleção prévia das linhagens que originarão os híbridos.

Os métodos podem ser analisados como modelo aleatório ou fixo, de acordo com a natureza amostral dos genitores (Ramalho et al., 1993; Cruz et al., 2014). O modelo fixo pressupõe que os efeitos genéticos sejam fixos, no qual os genitores possuem propriedades genéticas particulares e, por isso, não correspondem a uma amostra da população. No entanto, quando os genitores utilizados representam a população, sendo possível estimar parâmetros populacionais, denomina-se o modelo como aleatório (Cruz et al., 2014).

Os cruzamentos dialélicos destacam-se em função de sua importância e abrangência de utilização, uma vez que por meio da metodologia, é possível selecionar os genitores mais promissores com base na sua capacidade geral de combinação, capacidade específica de combinação e potencial heterótico (Griffing, 1956). Para Cruz et al. (2014), dentre as metodologias de análise dialélica, a proposta por Griffing (1956), permite obter as estimativas da capacidade geral de combinação, além de proporcionar informações sobre a concentração de genes predominantemente aditivos em seus efeitos e são de grande utilidade na indicação de genitores a serem utilizados em programas de melhoramento intrapopulacional.

Os cruzamentos dialélicos são de interesse para a obtenção de informações a respeito da resposta dos genitores, dos híbridos, bem como da identificação de grupos heteróticos (Hallauer et al., 2010). As estimativas de capacidade de combinação, obtidas por meio de esquemas de cruzamentos dialélicos, são importantes na escolha de genitores e no entendimento dos efeitos genéticos envolvidos na determinação das características (Cruz et al., 2014). Além disso, são também empregadas em estudos de resistência genética a doenças e na identificação de fontes de resistência (Engelsing et al., 2011).

A capacidade geral de combinação (CGC), que consiste na resposta média de um genitor em uma série de cruzamentos, está associada aos efeitos aditivos dos alelos; a capacidade específica de combinação (CEC) representa o desvio da

resposta esperada de um dado genótipo, tomando como base as capacidades gerais de combinação de seus genitores, e é relativa aos efeitos não-aditivos – de dominância e epistasia (Vencovsky 1987; Ramalho et al., 1993; Hallauer et al., 2010).

Por sua vez, as estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação fornecem informações a respeito da potencialidade do genitor em gerar combinações favoráveis. Uma baixa estimativa dos efeitos de CGC indica que o valor da CGC do genitor, obtida com base em suas combinações híbridas e demais genitores, não difere muito da média geral da população dialélica. Entretanto, quanto mais altas forem essas estimativas, positivas ou negativas, há indício de que o genitor em questão é muito superior ou inferior aos demais genitores do dialelo (Cruz et al., 2014).

Contudo, existem poucos trabalhos em relação à análise dialélica em milho-pipoca, envolvendo caracteres agronômicos, sendo a maioria obtidas de dialelos intervarietais (Andrade, 1995; Andrade et al., 2002; Scapim et al., 2002; Viana e Matta, 2003; Rinaldi et al., 2007; Miranda et al., 2008; Vieira et al., 2009). Em alusão a trabalhos relacionados a informações sobre dialelos entre linhagens de milho-pipoca, podem-se citar os estudos de Larish e Brewbaker. (1999), Pinto et al. (2007), Silva et al. (2010), Sanches et al. (2011), Vieira et al. (2011), Moterle et al. (2012) e Cabral (2013).

Dentre os trabalhos citados anteriormente, pode-se destacar o estudo desenvolvido por Sanches et al. (2011), que identificaram linhagens e híbridos de milho-pipoca promissores quanto à resistência genética à ferrugem tropical (*Physopella zae*) em cruzamentos dialélicos, envolvendo nove linhagens derivadas de uma grande parte do germoplasma brasileiro de milho-pipoca, e estimaram parâmetros genéticos envolvendo a resistência à ferrugem tropical. A ferrugem tropical foi avaliada pela severidade e pela área abaixo da curva de progresso da doença e as variáveis foram analisadas pelo modelo dialélico de Griffing (1956). As estimativas de herdabilidade foram médias e a capacidade específica de combinação (CEC) teve efeito significativo ( $P < 0,10$ ) para a resistência, sendo de oito a nove vezes maior que a capacidade geral de combinação (CGC) ( $P > 0,10$ ). Essas observações indicam que os efeitos gênicos não-aditivos foram mais importantes na expressão da resistência à ferrugem tropical. Em geral, as possibilidades de melhoramento foram restritas. A linhagem

9 (L7.4, variedade de polinização aberta UEM-M2) teve a mais destacada CGC para a resistência; e os híbridos 1 (L1.1, híbrido 'Zélia'/Pioneer *Hi-Bred*) × 7 (L9.2, híbrido IAC112/IAC) e 3 (L4.4, variedade de polinização aberta CMS 43/Embrapa) × 6 (L9.1, híbrido IAC112/IAC) tiveram destacada CEC e foram recomendados para melhoramento.

Considerando o exposto, o presente trabalho visa utilizar a metodologia de Griffing (1956) como procedimento de análise dialélica, envolvendo genitores e híbridos  $F_{1's}$ , e acrescentando-se os recíprocos, com a finalidade de obter informações acerca da heterose, controle genético das características que possibilitem gerar informações sobre as melhores combinações híbridas e genitores superiores quanto à resistência a fusariose de espiga causada por *Fusarium* spp.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Obtenção dos híbridos e avaliação do dialelo

A obtenção dos híbridos simples e a implementação do experimento de avaliação do dialelo, foram realizadas no decorrer do ano de 2015 e em parte de 2016, no Colégio Estadual Agrícola Antônio Sarlo, em Campos dos Goytacazes, região Norte do Estado do Rio de Janeiro.

Para obtenção das populações híbridas, oito linhagens de milho-pipoca (Tabela 1), previamente identificadas como de interesse para a consecução desta pesquisa em trabalhos desenvolvido por Kurosawa (2015), foram cultivadas em fileiras e cruzadas em esquema dialélico completo com os recíprocos, provendo 56 combinações híbridas.

Na obtenção dos híbridos, a primeira adubação de cobertura foi realizada aos 30 dias após o plantio, utilizando-se 300 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio por hectare, na forma de sulfato de amônio. Todos os tratos culturais foram realizados de acordo com o recomendado por Sawazaki (2001), sendo utilizada irrigação por aspersão, quando necessária.

**Tabela 1.** Genótipos de milho-pipoca utilizados na obtenção dos híbridos simples, incluindo a genealogia, a reação conhecida à fusariose e a adaptação climática.

Genótipos	Tipo	Variedade Originária	Reação à fusariose*	Adaptação Climática
L 88	Linhagem S <sub>7</sub>	Viçosa: UFV	Suscetível	Temperado/ Tropical
L 70	Linhagem S <sub>7</sub>	Angela: EMBRAPA	Resistente	Tropical
L 77	Linhagem S <sub>7</sub>	Viçosa: UFV	Resistente	Temperado/ Tropical
L 76	Linhagem S <sub>7</sub>	Beija-flor: UFV	Resistente	Temperado/ Tropical
L 55	Linhagem S <sub>7</sub>	Beija-flor: UFV	Suscetível	Temperado/ Tropical
L 61	Linhagem S <sub>7</sub>	Angela: EMBRAPA	Intermediária	Tropical
P1	Linhagem S <sub>7</sub>	Zélia	Resistente	Temperado/ Tropical
P8	Linhagem S <sub>7</sub>	IAC112	Suscetível	Temperado/ Tropical

\* Classificação da reação a fusariose de espiga segundo Kurosawa, 2015.

No florescimento, as polinizações foram feitas manualmente para cada par de linhagens. Para a condução das polinizações, foi realizada a cobertura da espiga apta para polinização pelo uso de saco plástico; após corte de cerca de 0,05 m dos estiletes. Estas espigas foram protegidas do pólen de plantas indesejáveis, anteriormente ao aparecimento dos estilo-estigmas. Posteriormente, os pendões maduros foram cobertos com saco de papel *kraft*, de determinada planta de uma fileira, correspondente a uma linhagem. Certificou-se que as sacolas foram bem colocadas, com o intuito de prevenir contaminação por pólen de outras plantas. Foram realizados 20 cruzamentos de cada híbrido, com a finalidade de obter quantidades suficientes de sementes para a continuidade do processo (Tabela 2).

**Tabela 2.** Linhagens e cruzamentos no esquema de dialelo completo, incluindo os recíprocos.

Linhagens	L76	L88	P8	L61	L70	L77	L55	P1
L76	L76	L76 x L88	L76 x P8	L76 x L61	L76 x L70	L76 x L77	L76 x L55	L76 x P1
L88	L88 x L76	L88	L88 x P8	L88 x L61	L88 x L70	L88 x L77	L88 x L55	L88 x P1
P8	P8 x L76	P8 x L88	P8	P8 x L61	P8 x L70	P8 x L77	P8 x L55	P8 x P1
L61	L61 x L76	L61 x L88	L61 x P8	L61	L61 x L70	L61 x L77	L61 x L55	L61 x P1
L70	L70 x L76	L70 x L88	L70 x P8	L70 x L61	L70	L70 x L77	L70 x L55	L70 x P1
L77	L77 x L76	L77 x L88	L77 x P8	L77 x L61	L77 x L70	L77	L77 x L55	L77 x P1
L55	L55 x L76	L55 x L88	L55 x P8	L55 x L61	L55 x L70	L55 x L77	L55	L55 x P1
P1	P1 x L76	P1 x L88	P1 x P8	P1 x L61	P1 x L70	P1 x L77	P1 x L55	P1

### 3.2 Instalação dos experimentos para obtenção de híbridos F<sub>1</sub>

Os ensaios para avaliação dos genótipos foram compostos por 70 tratamentos, constituídos por 56 híbridos simples (F<sub>1s</sub> e Recíprocos), oito genitores e seis testemunhas, que foram selecionadas de acordo com o seu desempenho quanto a atributos agrônômicos e resistência a doença em estudo, para fins de comparação. As testemunhas utilizadas foram: IAC 125, BRS Angela, UENF 14, UFV M2-Barão de Viçosa, híbrido (L70xL54) e híbrido (P8xL54).

O ensaio da 1ª safra foi realizado no período de março a setembro de 2015 e o ensaio da 2ª safra foi concretizado no período de setembro de 2015 a janeiro de 2016. Os ensaios foram estabelecidos em blocos casualizados, com quatro repetições. Os sorteios das linhagens foram feitos separando estas dos híbridos, para evitar efeito de competição. As parcelas constituíram-se por uma linha de semeadura de 5 m com 25 plantas, sob espaçamento de 0,90 m entre linhas e 0,20 m entre plantas. A semeadura foi realizada a 0,05 m de profundidade com três grãos por cova e, após 30 dias, realizou-se o desbaste, deixando uma planta por cova. As parcelas foram adubadas por ocasião da semeadura com 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, 30 kg ha<sup>-1</sup> de N e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, além de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N. A irrigação utilizada foi por aspersão e as aplicações de herbicidas e inseticidas foram realizadas sempre que necessárias.



### 3.4 Características avaliadas nos híbridos, genitores e testemunhas

As características agronômicas avaliadas foram:

- i. Número total de espigas por parcela (NTE), quantificado pelo número de espigas colhidas em cada parcela;
- ii. Peso médio de espigas com grãos (PE), obtido por pesagem das espigas despalhadas, após a colheita, por unidade de área, expresso em  $\text{kg ha}^{-1}$ ;
- iii. Rendimento de grãos (RG), determinado por meio da pesagem dos grãos após a eliminação do sabugo, por unidade de área, expresso em  $\text{kg ha}^{-1}$ ;
- iv. Capacidade de expansão dos grãos (CE),  $\text{mL.g}^{-1}$ , em que a massa de 30 g de grãos foi levada ao microondas em pote plástico especial para pipocamento, na potência de 1.000 W, por dois minutos. O volume da pipoca foi quantificado em proveta de 2.000 mL, sendo o quociente do volume pipocado dividido por 30 (massa de grão).

### 3.5 Avaliações de intensidade de doenças

A fusariose na espiga foi avaliada após a colheita de acordo com a incidência natural e severidade do patógeno. A incidência de *Fusarium* spp. na espiga foi quantificada pelo número de espigas infectadas por parcela sendo expressa em percentual de espigas atacadas pelo patógeno em relação ao número total de espigas colhidas. Após isso, foi feita a avaliação individual das espigas infectadas, utilizando a escala do CIMMYT (1985). A escala varia de 1 a 5, da seguinte forma:

1 = 0 % de grãos infectados; 2 = 10 % de grãos infectados; 3 = 20 % de grãos infectados; 4 = 30 % de grãos infectados; e 5 = 40 % ou mais de grãos infectados (Figura 1).

Posteriormente, os genótipos foram analisados conforme o método do papel filtro “*blotter test*” (Neergaard, 1979), em que os grãos são, inicialmente, desinfetados em solução de 1 % de cloro (hipoclorito de sódio) e acondicionados em *gerbox* individual com 25 sementes cada, contendo duas camadas de papel filtro umedecidas periodicamente com água destilada. A desinfecção teve por objetivo permitir que a avaliação detectasse apenas os fungos presentes na semente. Os genótipos foram mantidos em temperatura ambiente  $\pm 25$  °C, por um período de sete dias e em regime luminoso de 12 horas de luz. Em seguida, após

a formação das colônias de fungos, devido a esporulação, as estruturas reprodutivas foram observadas em microscópio estereoscópico com aumento de até 60x e identificadas. Foram avaliadas 100 sementes em cada repetição de cada tratamento, perfazendo um total de 400 sementes avaliadas por tratamento em cada época de plantio. As variáveis foram expressas em percentagem do total de 100 sementes avaliadas por repetição.

Portanto, as avaliações realizadas, foram:

- i. Incidência de fusariose nas espigas de milho-pipoca (IEF), quantificada pelo número de espigas infectadas por parcela, sendo expressa em percentual de espigas atacadas pelo patógeno em relação ao número total de espigas colhidas;
- ii. Severidade de fusariose nas espigas de milho-pipoca (SFE), quantificada pela avaliação individual das espigas infectadas, utilizando a escala do CIMMYT (1985);
- iii. Número total de sementes infectadas por fungos (ISF), quantificado pela percentagem de sementes infectadas por repetição; e
- iv. Número total de sementes infectadas por *Fusarium* spp. (IFS), quantificado pela percentagem de sementes infectadas por *Fusarium* spp. em cada repetição.

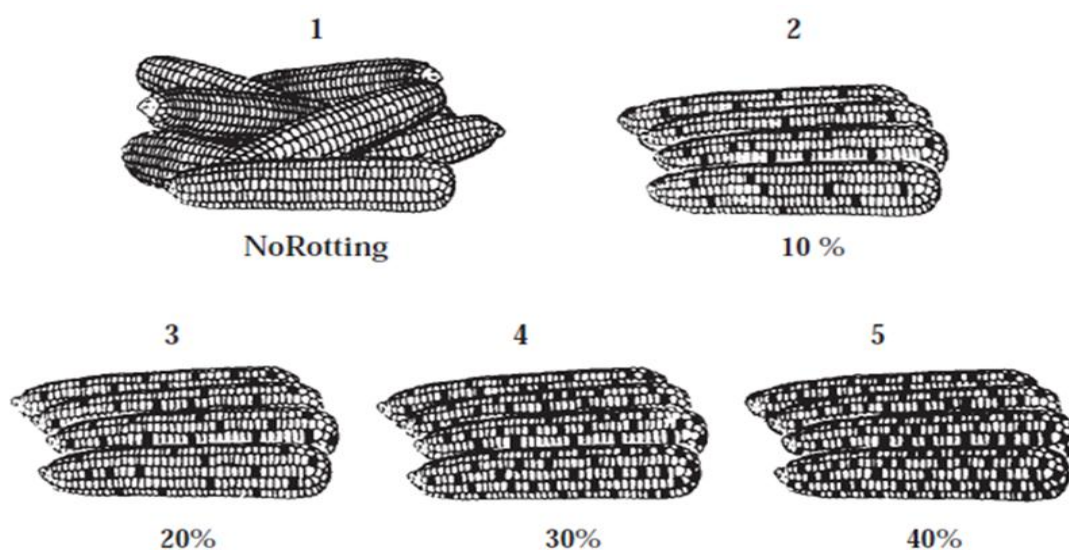


Figura 1. Escala diagramática para avaliações de podridões de espiga causadas por fungos do gênero *Fusarium* spp. (CIMMYT, 1985).

### 3.6 Análise Estatística

Para as análises genético-estatísticas foram utilizados os recursos computacionais do Programa GENES (Cruz, 2013), sendo que para a comparação de médias foi utilizado o agrupamento de Scott-Knott (1974).

#### 3.6.1 Análise de Variância

A partir das oito características mensuradas nos oito genitores, 56 híbridos e seis testemunhas, foi realizada a análise de variância, empregando-se o modelo genético-estatístico estatístico:  $Y_{ij} = \mu + g_i + b_j + \xi_{ij}$ , em que:

$Y_{ij}$  = valor fenotípico da ij-ésima observação referente ao i-ésimo genótipo no j-ésimo bloco;

$\mu$  = constante geral da característica;

$g_i$  = efeito do i-ésimo genótipo;

$b_j$  = efeito do j-ésimo bloco; e

$\xi_{ij}$  = erro experimental médio.

Após foi realizada a análise conjunta para as características avaliadas, considerando-se como fixo os genótipos e os ambientes.

#### 3.6.2 Análise Dialélica: Determinação da capacidade combinatória

Foi utilizado o método dos cruzamentos dialélicos completos de Griffing (1956). Neste procedimento, as análises de capacidade combinatória foram realizadas de acordo com o Método 1, o qual inclui os genitores,  $F_1$ 's e recíprocos, empregando-se o Modelo B, em que se considera o efeito fixo dos genótipos. O modelo estatístico considerado para a análise foi fundamentado na média das repetições, a saber:  $Y_{ij} = m + g_i + g_j + s_{ij} + r_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}$ , em que:

$Y_{ij}$  = é o valor médio da combinação híbrida ( $i \neq j$ ) ou do genitor ( $i = j$ );

$m$  = média geral de todos os tratamentos;

$g_i$  = corresponde ao efeito da capacidade geral de combinação do genitor i;

$g_j$  = corresponde ao efeito da capacidade geral de combinação do genitor j;

$s_{ij}$  = corresponde ao efeito da capacidade específica de combinação para os cruzamentos entre os genitores i e j;

$r_{ij}$  = efeito recíproco, que mede as diferenças proporcionadas pelo genitor  $i$ , ou  $j$ , quando utilizado como genitor masculino ou feminino no cruzamento; e

$\bar{\varepsilon}_{ij}$  = correspondendo ao erro experimental médio.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Avaliação dos híbridos dialélicos na 1ª e 2ª safra de cultivo

Para a fonte de variação genótipos (G), todas as variáveis avaliadas foram significativas em 1 % de probabilidade pelo teste F, ou seja, há diferença estatística entre os genótipos de milho-pipoca avaliados (Tabela 3). A fonte de variação épocas (E) foi significativa para CE, NTE, IFS, IEF e SFE, revelando diferença quando os híbridos foram cultivados na 1ª e na 2ª safra, e que essas características são influenciadas pelo ambiente, diferente de RG, PE e ISF, em que não foi observada significância. Para a interação entre os tratamentos e as épocas (TxE), as características CE, NTE, ISF, IFS e IEF foram estatisticamente significativas, evidenciando resposta diferenciada dos genótipos nas diferentes épocas de semeadura para essas características.

O coeficiente de variação (CVe) observado foi de 8,86 a 22,55 %, para CE e RG, respectivamente (Tabela 3). Cabral (2013) encontrou resultados semelhantes para CE e RG em milho-pipoca, obtendo 10,26 e 18,65 %, respectivamente. Pimentel-Gomes (1985) relata que o CVe proporciona uma ideia da precisão experimental, sendo que quanto mais baixo o CVe, maior a precisão. Comparando-se com outros trabalhos; em geral, os coeficientes de variação foram satisfatórios, destacando-se o baixo valor para a característica capacidade de expansão.

**Tabela 3.** Análise de variância conjunta de 56 híbridos dialélicos, incluindo os recíprocos, além de seis testemunhas, para oito características agrônômicas avaliadas nas épocas de 1ª safra e 2ª safra. Campos dos Goytacazes, RJ. 2015/2016.

FV	GL	Quadrados médios							
		NTE	PE	RG	CE	ISF	IFS	IEF	SFE
G	69	195,30**	9801244,65**	6839813,16**	87,27**	229,51**	216,33**	299,09**	4,11**
E	1	1585,58**	1745390,96 <sup>ns</sup>	2116412,12 <sup>ns</sup>	426,68**	100,21 <sup>ns</sup>	294,64**	3144,51**	17,5**
GxE	69	88,61**	1158350,57 <sup>ns</sup>	775292,38 <sup>ns</sup>	39,47**	117,07**	107,85**	75,13*	2,05 <sup>ns</sup>
Resíduo	417	29,23	930255,51	591918,15	5,99	46,67	35,09	54,16	1,85
M1		32,79	4245,28	3348,85	28,49	7,97	6,76	5,51	1,88
M2		29,42	4356,94	3471,8	26,74	8,82	8,21	10,25	2,23
h <sup>2</sup> 1		0,83	0,78	0,79	0,87	0,49	0,60	0,74	0,52
h <sup>2</sup> 2		0,69	0,88	0,89	0,92	0,84	0,86	0,72	0,23
CVe		17,37	22,42	22,55	8,86	81,31	79,08	93,36	66,12

FV = fontes de variação; GL = graus de liberdade; G = genótipos; E = épocas de cultivo; G x E = interação genótipo *versus* épocas de cultivo; NTE = número total de espigas; PE = peso médio de espiga; RG = rendimento de grãos; CE = capacidade de expansão; ISF = percentagem de sementes com fungo; IFS = percentagem de sementes com fusariose; IEF = percentagem de incidência de fusariose; SFE = índice de severidade de fusariose; M1 = média época 1º de cultivo; M2 = média da época 2º de cultivo; h<sup>2</sup>1 = herdabilidade referente à época 1º de cultivo; h<sup>2</sup>2 = herdabilidade referente à época 2º de cultivo; e CVe = coeficiente de variação experimental. <sup>ns</sup> = não-significativo em nível de 5 % de probabilidade pelo Teste F; \* = significativo em 5% de probabilidade pelo Teste F; e \*\* = significativo em nível de 1% de probabilidade pelo Teste F.

Para NTE, observou-se que o resultado foi inferior na 2ª safra em relação a 1ª safra de cultivo, na comparação entre os valores de 29,42 e 32,79, respectivamente (Tabela 3). Esses resultados podem ser decorridos de uma maior competição entre as plantas na época de cultivo da 2ª safra. Segundo Sangoi et al. (2002), maior competição estimula uma dominância apical de natureza hormonal do pendão sobre as espigas, suprimindo o desenvolvimento das gemas axilares, levando a uma menor quantidade de espigas. A característica NTE proporcionou a formação de cinco grupos de médias na 1ª safra (Tabela 4) e três na 2ª safra (Tabela 5), em que, no geral, destacaram-se as combinações L77 x L70, P8 x L70, L70 x P8, L61 x P8, P8 x L61, L77 x P8 e P8 x P1, por exibirem as mais elevadas estimativas de NTE associadas a preponderantes magnitudes de RG e CE.

Os resultados da análise de variância conjunta entre épocas para PE e RG permitiram verificar ausência de significância na interação Genótipo x Ambiente, o que implica em discutir os resultados em termos de médias entre as épocas, pois

a alteração de época de plantio não influenciou no *ranking* dos genótipos para essas características (Tabela 3). Com relação à característica PE os genitores,  $F_{1s}$ , e testemunhas, constituíram quatro grupos (Tabela 6), com destaque para os híbridos L70 x L77, L88 x L70, L70 x L88, L76 x L70, L77 x L70, P8 x L77, L77 x L88, L77 x L76 e L76 x L61, sobretudo o primeiro e o segundo, devido aos elevados valores de médias que expressaram peso de espigas e, também, decorrente do fato de seus recíprocos deterem consideráveis performances. Para RG, foram formados três grupos (Tabela 6), sendo os híbridos L88 x L70, L70 x L88, L70 x L77 e L77 x L88 os mais produtivos, com estimativas de médias conjuntas de 4.956,62; 4.640,90; 4.540,35 e 4.514,20 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente; sendo estes valores substancialmente superiores à média geral de 3.410,19 kg ha<sup>-1</sup>.

Uma das principais características de uma boa cultivar de milho-pipoca é a elevada capacidade de expansão (CE). No presente trabalho, a CE apresentou diferença entre a média geral na 1ª safra (28,49 mL.g<sup>-1</sup>) e 2ª safra de cultivo (26,74 mL.g<sup>-1</sup>). Na 1ª safra, foi constatada a formação de seis grupos (Tabela 4), sendo o genitor P8 o genótipo de maior desempenho, com estimativas de 36,25 mL.g<sup>-1</sup>. A elevada CE pode ser explicada pela ação aditiva dos genes para esta característica (Pereira e Amaral Júnior, 2001). Merece destaque na 1ª safra o fato desta linhagem estar presente na composição de dois híbridos classificados nos grupos de mais altos valores de CE e RG, sendo esses: L76 x P8 (34,46 mL.g<sup>-1</sup>, 4.018,88 kg ha<sup>-1</sup>) e L61 x P8 (30,73 mL.g<sup>-1</sup>, 3.909,63 kg ha<sup>-1</sup>).

**Tabela 4.** Agrupamento de médias por Skott-Knott (1974) de 56 híbridos dialélicos, inclusos os recíprocos, bem como de seis testemunhas para as oito características agrônômicas avaliadas na 1ª safra de cultivo. Campos dos Goytacazes, RJ. 2015/2016.

Genótipo	Características avaliadas							
	NTE	PE	RG	CE	ISF	IFS	IEF	SFE
L88xL76	26,33c	5183,53c	4343,93a	24,62d	17,33a	16,68a	-	-
P8xL76	28,68c	4294,05e	3504,58b	33,08a	6,00b	6,00c	3,30c	1,68b
L61xL76	27,00c	4535,75d	3613,18b	26,70c	1,00b	1,00c	4,80c	1,68b
L70xL76	30,25c	4461,88d	3470,20b	30,46b	1,50b	0,50c	5,20c	1,33b
L77xL76	25,50c	5233,20c	4210,50a	30,29b	2,00b	2,00c	2,08c	0,75b
L55xL76	23,50c	4662,63d	3744,30b	30,16b	4,00b	4,00c	3,25c	1,50b
P1xL76	34,00b	5543,55b	4561,10a	29,37b	2,68b	-	2,98c	2,33a
L76xL88	27,50c	4479,25d	3645,65b	25,00d	1,00b	-	6,08c	2,25a
L76xP8	38,75a	5204,33c	4313,40a	28,16c	7,00b	6,00c	3,90c	2,63a
L61xL88	41,25a	5051,73c	4118,23a	21,87e	10,5b	10,50b	1,23c	1,00b
L70xL88	36,75b	5168,95c	4311,83a	28,45c	3,00b	3,00c	5,38c	2,93a
L77xL88	34,50b	5681,45b	4648,00a	26,70c	0,68b	0,68c	2,10c	1,50b
L55xL88	37,00b	4456,70d	3742,28b	24,70d	10,00b	9,50b	2,90c	1,75b
P1xL88	38,75a	5267,03c	4254,48a	24,58d	9,00b	7,50c	4,60c	1,13b
L76xP8	27,68c	4944,40c	4018,88a	34,46a	5,00b	4,00c	-	-
L88xP8	38,25a	4936,58c	3879,00a	29,58b	4,50b	3,50c	6,43c	1,65b
L61xP8	40,75a	5132,43c	3909,63a	30,73b	2,50b	0,50c	2,30c	1,88b
L70xP8	36,33b	4576,78d	3545,43b	33,87a	8,50b	7,50c	1,98c	1,33b
L77xP8	35,00b	4674,38d	3553,63b	33,37a	4,00b	2,50c	5,60c	1,88b
L55xP8	26,00c	2685,78g	2038,38c	30,62b	6,00b	3,50c	11,58b	2,70a
P1xP8	36,75b	4483,78d	3611,90b	33,41a	3,50b	3,50c	4,15c	2,25a
L76xL61	23,25c	5162,43c	4089,00a	26,08c	13,00a	12,00b	2,88c	0,58b
L88xL61	36,75b	3929,18e	3097,43b	22,50e	20,68a	20,00a	4,75c	2,88a
P8xL61	29,50c	4748,20d	3755,58b	29,74b	9,50b	8,50b	-	-
L70xL61	37,75a	3424,85f	2557,70c	27,37c	19,50a	10,00b	2,10c	1,75b
L77xL61	28,50c	4983,48c	3871,45a	25,20d	7,50b	4,00c	4,48c	3,00a
L55xL61	44,33a	4245,20e	3199,03b	26,33c	4,68b	4,68c	3,78c	3,33a
P1xL61	38,75a	4653,80d	3290,18b	24,87d	15,5a	10,00b	5,38c	2,50 <sup>a</sup>
L76xL70	18,33d	4808,73c	3830,95a	30,33b	4,00b	1,33c	1,68c	1,68b
L88xL70	36,00b	5392,2b	4502,03a	24,33d	5,00b	5,00c	1,20c	0,50b
P8xL70	36,00b	4738,35d	3625,70b	32,70a	4,00b	0,50c	2,63c	1,08b



Tabela 4. Cont.

Genótipo	Características avaliadas							
	NTE	PE	RG	CE	ISF	IFS	IEF	SFE
L61xL70	33,75b	3324,9f	2477,70c	25,45c	9,50b	8,50b	3,63c	2,50a
L77xL70	37,00b	5098,75c	3960,78a	30,54b	4,68b	4,68c	6,25c	2,58a
L55xL70	29,68c	4191,45e	3246,53b	26,12c	0,68b	-	2,23c	1,00b
P1xL70	36,00b	4875,43c	3758,75b	28,08c	6,00b	6,00c	6,40c	3,68a
L76xL77	18,33d	5395,95b	4388,28a	29,91b	4,00b	1,33c	1,23c	1,00b
L88xL77	35,75b	5453,2b	4495,30a	23,96d	3,50b	3,50c	2,28c	1,75b
P8xL77	33,68b	5486,85b	4316,95a	25,91c	6,68b	6,68c	1,90c	1,33b
L61xL77	28,25c	4218,53e	3106,65b	27,24c	6,00b	3,33c	1,05c	0,50b
L70xL77	33,25b	6113,48a	4433,05a	26,49c	8,00b	6,68c	1,20c	0,50b
L55xL77	31,50b	2862,6g	2199,05c	26,24c	7,00b	7,00c	4,15c	1,00b
P1xL77	33,50b	4013,6e	3046,55b	27,04c	1,50b	1,50c	11,33b	3,33a
L76xL55	14,68d	4822,93c	3910,13a	28,08c	9,00b	6,50c	1,88c	0,68b
L88xL55	35,00b	4047,05e	3247,13b	22,95e	6,68b	6,68c	3,85c	2,50a
P8xL55	33,75b	3223,78f	2432,00c	32,54a	15,00a	12,50b	10,05b	2,58a
L61xL55	41,00a	3515,83f	2635,48c	27,16c	7,00b	6,00c	4,50c	1,95a
L70xL55	38,25a	4636,9d	3513,55b	27,45c	6,50b	5,50c	6,30c	2,58a
L77xL55	35,00b	4324,55e	3341,15b	27,96c	9,00b	8,00c	7,00c	2,75a
P1xL55	33,50b	4119,53e	3208,88b	27,33c	16,00a	16,00a	13,35b	3,35a
L76xP1	18,00d	4917,45c	4035,65a	30,95b	4,00b	4,00c	10,00b	2,00a
L88xP1	40,00a	5662,35b	4767,00a	24,96d	9,50b	9,00b	2,40c	1,63b
P8xP1	37,00b	4350,18d	3382,15b	33,87a	8,00b	8,00c	14,28b	2,73a
L61xP1	42,33a	4953,48c	3830,65a	25,54c	10,68b	10,68b	3,73c	2,10a
L70xP1	35,50b	3815,45e	2897,10b	28,45c	7,50b	7,00c	8,75c	2,65a
L77xP1	31,00b	4160,43e	3359,98b	30,37b	8,00b	6,68c	6,60c	3,00a
L55xP1	43,75a	3860,53e	3001,20b	25,58c	9,00b	9,00b	23,28a	2,85a
L88	35,00b	2261,3h	1670,13d	18,50f	18,50a	17,50a	10,05b	2,50a
L77	20,68d	1505,53i	1071,88d	28,37c	15,33a	10,68b	6,33c	0,78b
L55	27,50c	1521,75i	1521,88d	27,30c	15,50a	12,5b	23,55a	2,88a
L61	9,00e	980,53j	722,88d	22,70e	11,00b	11,00b	-	-
P1	33,75b	2299,88h	1284,85d	28,83c	22,50a	19,50a	21,33a	3,45a
L76	27,50c	2030,98h	1633,28d	30,04b	7,50b	7,50c	7,58c	2,40a
P8	40,25a	1861,48h	1814,40d	36,25a	18,68a	18,68a	9,25b	2,78a

**Tabela 4.** Cont.

Genótipo	Características avaliadas							
	NTE	PE	RG	CE	ISF	IFS	IEF	SFE
IAC 125	36,50b	4074,23e	3215,20b	34,70a	17,50a	15,00a	14,28b	2,35a
ANGELA	31,33b	3309,38f	2560,10c	34,37a	6,68b	6,68c	5,30c	2,68a
L70xL54	41,75a	4854,93c	3797,68b	34,79a	8,50b	6,50c	2,25c	1,00b
P8xL54	41,75a	4701,03d	3762,85b	32,79a	3,50b	3,50c	4,20c	1,53b
UENF 14	38,00a	3943,3e	3191,18b	33,50a	2,00b	2,00c	3,15c	1,50b
B. Viçosa	30,25c	3326,05f	2685,73c	33,71a	5,00b	0,50c	6,78c	1,45b

NTE = número total de espigas; PE = peso médio de espiga; RG = rendimento de grãos; CE = capacidade de expansão; ISF = percentagem de sementes com fungo; IFS = percentagem de sementes com fusariose; IEF = percentagem de incidência de fusariose; SFE = índice de severidade de fusariose; <sup>1</sup> médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem, estatisticamente, em 5 % de probabilidade pelo agrupamento de Scott-Knott (1974).

**Tabela 5.** Agrupamento de médias por Skott-Knott (1974) de 56 híbridos dialélicos, inclusos os recíprocos, bem como de seis testemunhas para as oito características agrônômicas avaliadas na 2ª safra de cultivo. Campos dos Goytacazes, RJ. 2015/2016.

Genótipo	Características avaliadas							
	NTE	PE	RG	CE	ISF	IFS	IEF	SFE
L88xL76	27,25b	4383,00b	3674,23b	18,83d	8,00c	7,00d	14,15d	2,70a
P8xL76	30,00a	4609,73b	3743,55b	26,54b	3,33c	3,33d	13,73d	1,98b
L61xL76	30,75a	5934,58a	4716,68a	29,62a	1,00c	1,00d	3,60e	2,08b
L70xL76	28,50a	5868,13a	4621,05a	25,99b	3,00c	3,00d	2,50e	1,00b
L77xL76	30,25a	5608,68a	4544,85a	25,41b	4,00c	3,00d	1,20e	0,50b
L55xL76	26,00b	3859,18c	3130,33c	21,08c	13,33c	12,68c	18,23c	3,00a
P1xL76	27,00b	4334,25b	3463,95b	25,41b	9,33c	9,33c	17,23c	2,30a
L76xL88	26,00b	5791,75a	4946,63a	19,09d	5,50c	5,00d	15,30d	3,33a
P8xL88	33,25a	4586,38b	3828,58b	23,08b	14,68b	12,68c	11,55d	3,08a
L61xL88	34,75a	5548,88a	4492,78a	24,41b	11,50c	11,50c	1,63e	1,50b
L70xL88	34,25a	6019,68a	4969,98a	22,00c	14,00b	11,00c	7,13e	2,65a
L77xL88	29,25a	5195,50a	4380,40a	17,70d	7,33c	7,33d	3,53e	1,43b
P1xL88	28,75a	5190,50a	3681,28b	22,08c	4,68c	4,68d	8,35d	1,98b
L76xP8	24,25b	5229,98a	4197,93a	28,83a	9,00c	8,00d	6,55e	2,75a
L88xP8	30,50a	4687,65b	3940,50b	23,02b	2,68c	2,68d	13,73d	3,20a
L61xP8	29,00a	4675,08b	3734,13b	31,83a	3,33c	3,33d	5,83e	2,58a
L70xP8	33,50a	5420,78a	4286,40a	30,58a	5,00c	4,00d	5,08e	2,25a

Tabela 5. Cont.

Genótipo	Características avaliadas							
	NTE	PE	RG	CE	ISF	IFS	IEF	SFE
L77xP8	36,00a	4589,60b	3666,80b	30,41a	3,00c	3,00d	7,20e	2,43a
L55xP8	32,25a	3652,83c	2943,90c	25,25b	9,00c	8,50d	29,55b	3,03a
P1xP8	28,50a	3138,43c	2536,98c	30,91a	5,33c	5,33d	15,38d	2,98a
L76xL61	25,25b	5565,93a	4390,85a	28,33a	2,00c	2,00d	1,73e	0,50b
L88xL61	33,00a	5501,23a	4485,48a	24,33b	8,68c	8,68d	10,90d	1,80b
P8xL61	31,50a	4621,25b	3732,35b	31,91a	4,68c	4,68d	4,60e	2,50a
L70xL61	31,50a	3754,15c	2894,30c	30,75a	2,00c	2,00d	3,65e	1,33b
L77xL61	28,75a	5000,10b	3898,30b	31,58a	17,00b	15,00c	3,45e	2,08b
L55xL61	30,50a	4619,63b	3524,20b	27,75a	8,00c	8,00d	11,10d	2,50a
P1xL61	31,00a	4190,80b	3196,98c	31,33a	15,00b	12,00c	15,28d	3,43a
L76xL70	29,50a	6181,85a	4787,83a	26,25b	5,33c	5,33d	2,65e	1,50b
L88xL70	39,00a	6555,65a	5411,23a	22,58b	9,00c	9,00d	5,03e	3,38a
P8xL70	32,00a	5252,03a	4210,63a	30,25a	7,00c	6,50d	1,98e	0,75b
L61xL70	29,00a	3755,90c	2804,78c	31,16a	3,33c	0,68d	2,30e	0,83b
L77xL70	35,00a	5822,90a	4582,80a	30,08a	3,33c	3,33d	7,85e	2,08b
L55xL70	29,75a	4154,88b	3311,00b	24,83b	9,00c	7,00d	7,20e	2,80a
P1xL70	34,00a	4055,05c	3095,55c	30,62a	7,33c	7,33d	8,15d	1,93b
L76xL77	28,00a	5208,45a	4235,65a	22,08c	5,50c	4,50d	4,83e	1,95b
L88xL77	34,00a	4942,78b	4107,80b	23,33b	11,33c	10,00c	2,45e	1,13b
P8xL77	33,00a	5390,65a	4305,63a	30,22a	8,68c	8,00d	5,50e	2,00b
L61xL77	25,75b	5584,70a	4501,48a	31,50a	-	-	2,68e	1,25b
L70xL77	32,00a	5933,38a	4647,65a	30,25a	6,50c	6,00d	3,00e	1,13b
L55xL77	27,5b	3736,83c	3016,15c	24,25b	4,68c	3,33d	7,78e	2,93a
P1xL77	27,25b	3263,70c	2616,88c	30,58a	6,68c	6,68d	12,03d	1,98b
L76xL55	24,75b	4740,15b	3876,65b	21,91c	6,68c	6,00d	10,88d	2,38a
L88xL55	31,75a	4019,43c	3019,10c	21,50c	11,33c	11,33c	10,15d	2,80a
P8xL55	33,00a	3965,28c	3158,95c	22,99b	7,00c	4,00d	20,80c	2,95a
L61xL55	28,25a	4377,75b	3353,60b	29,99a	25,00b	25,00b	14,10d	2,80a
L70xL55	26,50b	4556,03b	3576,33b	23,33b	13,00c	11,50c	5,90e	1,80b
L77xL55	28,25a	3508,83c	2820,78c	22,91b	-	-	12,05d	1,75b
P1xL55	28,75a	3259,35c	2556,73c	26,12b	15,00b	14,00c	32,95b	3,03a
L76xP1	35,00a	4520,88b	3654,50b	25,75b	2,00c	2,00d	4,95e	1,65b
L88xP1	33,75a	4572,75b	3832,43b	22,96b	9,50c	9,50c	11,33d	2,85a

**Tabela 5.** Cont.

Genótipo	Características avaliadas							
	NTE	PE	RG	CE	ISF	IFS	IEF	SFE
P8xP1	29,25a	4485,23b	3673,83b	31,58a	11,50c	11,50c	16,93c	2,18a
L61xP1	30,75a	4968,63b	3916,18b	31,00a	18,00b	18,00b	2,45e	1,75b
L70xP1	34,75a	5864,80a	4538,60a	30,55a	9,33c	8,68d	5,45e	2,00b
L77xP1	25,25b	4198,80b	3230,13c	30,83a	6,00c	5,33d	10,55d	1,45b
L55xP1	36,25a	3060,25c	2394,38c	26,16b	9,50c	9,50c	29,68b	3,15a
L88	12,25c	2483,68c	2031,43c	15,75d	18,50b	18,50b	44,35a	3,53a
L77	19,50c	1416,18d	1035,90d	29,25a	5,33c	5,33d	8,95d	1,75b
L55	19,00c	1050,53d	730,83d	20,50c	22,00b	20,00b	25,80c	3,50a
L70	29,25a	2749,50c	1992,93c	29,91a	12,00c	12,00c	4,40e	2,25a
L61	20,50c	859,78d	475,28d	33,71a	10,00c	10,00c	-	-
P1	18,25c	951,40d	664,68d	29,58a	53,33a	53,33a	21,73c	3,63a
L76	23,50b	2821,63c	1998,30c	23,00b	17,33b	13,33c	9,58d	2,43a
P8	32,25a	3144,35c	2553,23c	31,08a	2,00c	1,00d	11,98d	2,43a
IAC 125	30,25a	3651,10c	2817,63c	33,08a	8,68c	8,68d	22,25c	3,48a
ANGELA	30,00a	3536,80c	2768,63c	28,83a	6,50c	6,00d	15,78d	2,80a
L70xL54	30,00a	4286,60b	3355,38b	25,00b	8,00c	8,00d	5,43e	1,33b
P8xL54	32,75a	3929,03c	3205,60c	31,91a	20,68b	19,33b	8,43d	2,40a
UENF 14	30,50a	4499,70b	3778,18b	28,37a	5,00c	5,00d	6,40e	2,18a
B. Viçosa	31,25a	3830,70c	3142,98c	27,75a	2,68c	2,00d	10,75d	3,08a

NTE = número total de espigas; PE = peso médio de espiga; RG = rendimento de grãos; CE = capacidade de expansão; ISF = percentagem de sementes com fungo; IFS = percentagem de sementes com fusariose; IEF = percentagem de incidência de fusariose; SFE = índice de severidade de fusariose; <sup>1</sup> médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem, estatisticamente, em 5 % de probabilidade pelo agrupamento de Scott-Knott (1974).

Na 1ª safra de cultivo, as melhores combinações híbridas para CE foram: L76 X P8, L70 X P8, P8 X P1, L77 x P8, L77 X P8, P8 X L76, P8 X L70, P8 X L55. Todas apresentaram estimativas superiores a 32 mL.g<sup>-1</sup>, no entanto, apenas L76 x P8, que expressou magnitude de rendimento de grãos de 4.018,88 kg ha<sup>-1</sup> está classificada entre as de maiores estimativas para RG; esse fato pode ser explicado pela correlação negativa entre tais características (Brunson, 1937; Sawazaki, 1996; Daros, 2004; Cabral, 2013). Entretanto, considerando-se que segundo Sawazaki (2001), CE superior a 30 mL.g<sup>-1</sup> é considerada ideal para o lançamento de uma cultivar, pode-se inferir que, para o ambiente da 1ª safra, os híbridos L76 X P1, L61 X P8, L77 x L70, L76 x L70, L77 x L76, juntamente com

L76 X P8, foram as melhores combinações, pois estiveram alocados nos grupos com melhores médias para RG, além de expressarem estimativas de CE superiores a  $30 \text{ mL.g}^{-1}$  (Tabela 4).

A 2ª safra (Tabela 5) proporcionou a formação de quatro grupos, sendo que dentre o grupo com maiores valores de CE, estão os genitores P8 e L61. Estes, apesar de apresentarem valores promissores de CE; para RG, não foram capazes de alcançar resultados satisfatórios, fato que pode ser atribuído à elevada homozigose, favorecendo as características de efeito aditivo nas subseqüentes autofecundações. Para o ambiente da 2ª safra, os pares que apresentaram valores de CE superiores a  $30 \text{ mL.g}^{-1}$ , associados a altos RG, foram, hierarquicamente: L61 x L77, L70 x P8, L70 x P1, L70 x L77, P8 x L70, P8 x L77, L77 x L70. Nota-se, portanto, que os genitores L61 e P8 estão presentes em quatro combinações híbridas de destaque, fato que pode ser explicado pelo efeito da complementação alélica e os efeitos superiores de dominância para a característica RG.

No melhoramento de milho-pipoca busca-se alta CE associada a elevado RG. No entanto, de acordo com Daros et al. (2004), a correlação negativa existente entre as duas principais características de valor econômico - capacidade de expansão e produtividade de grãos - dificulta a seleção de genótipos de interesse para o melhoramento. No presente estudo, houve combinações híbridas com valores de CE superiores a  $30,00 \text{ mL.g}^{-1}$  e de RG maiores que  $3.200,00 \text{ kg ha}^{-1}$ , quais sejam: P8 x P1 ( $32,72 \text{ mL.g}^{-1}$  e  $3527,98 \text{ kg ha}^{-1}$ ), L70 x P8 ( $32,22 \text{ mL.g}^{-1}$  e  $3915,91 \text{ kg ha}^{-1}$ ), L77 x P8 ( $31,89 \text{ mL.g}^{-1}$  e  $3610,21 \text{ kg ha}^{-1}$ ), L76 x P8 ( $31,64 \text{ mL.g}^{-1}$  e  $4108,40 \text{ kg ha}^{-1}$ ), P8 x L70 ( $31,47 \text{ mL.g}^{-1}$  e  $3918,16 \text{ kg ha}^{-1}$ ), L61 x P8 ( $31,28 \text{ mL.g}^{-1}$  e  $3821,87 \text{ kg ha}^{-1}$ ), P8 x L61 ( $30,83 \text{ mL.g}^{-1}$  e  $3743,96 \text{ kg ha}^{-1}$ ), L77 x P1 ( $30,60 \text{ mL.g}^{-1}$  e  $3295,05 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e L77 x L70 ( $30,31 \text{ mL.g}^{-1}$  e  $4271,78 \text{ kg ha}^{-1}$ ) (Tabela 6).

Para a característica ISF, não foi observada significância, considerando a fonte de variação Épocas (E) (Tabela 3). No entanto, para a mesma característica, foi observada a existência da interação genótipo x ambiente, ou seja, houve diferença na resposta dos genótipos em virtude da época de plantio. Ao se analisarem as variáveis nas tabelas de médias, pode-se verificar que ocorreu elevada correlação entre o ISF e os genótipos com altos valores de RG e CE, em que todos os genótipos citados como sendo os de melhores

desempenhos para RG e CE foram alocados nos grupos de menor ISF. Segundo Bento (2012), a identificação de fungos contaminantes é um importante sinalizador da presença de micotoxinas nos substratos e indica o caminho para prevenir sua produção, assim como, para evitar riscos alimentares. Logo, demonstra-se a importância dos resultados obtidos como um guia para pesquisas futuras.

A variável IFS proporcionou médias percentuais distintas entre as duas épocas de plantio, sendo de 6,76% na 1ª safra e 8,21% na 2ª safra. Analisando as médias das safras, pode-se perceber que o pior genótipo para a característica IFS se trata do genitor P1, que foi elencado sempre no grupo de maior IFS, apresentando a maior média percentual geral (36,41%) para a característica. De forma contrastante, o genitor P8 foi inserido no grupo de menor IFS na 2ª safra e, de maior ISF na 1ª safra. Segundo Bento (2012), o *Fusarium* é considerado um fungo de campo, que invade os grãos e sementes durante o amadurecimento, em que as condições de temperatura e umidade são mais elevadas, favoráveis para seu desenvolvimento; e não se desenvolvem durante o armazenamento, exceto, ocasionalmente, em grãos de milho armazenados com alto teor de umidade e/ou que foram reumidificados. Dessa forma, as condições climáticas ou de armazenamento podem explicar a diferença obtida nos resultados discrepantes da presente Dissertação.

A característica IFS, em ambas as épocas de plantio, de maneira semelhante à característica ISF, apresentou correlação com os caracteres RG e CE, em que todos os genótipos já indicados como os melhores para estas características, foram agrupados nos grupos de menores médias percentuais para IFS (Tabelas 4, 5 e 6).

Para a característica IEF, a média percentual da 1ª safra (5,51%) foi inferior à média percentual da 2ª safra (10,25%), o que está em consonância com o observado para IFS (Tabela 3). O teste de médias detectou diferenças significativas entre genótipos resistentes e suscetíveis, havendo a formação de três grupos estatisticamente distintos na 1ª safra, e quatro diferentes grupos na 2ª safra. Para a característica IEF, pode-se notar que as combinações híbridas L76 x L70, L77 x L76, L61 x P8 e L77 x L70, na 1ª safra, e P8 x L70, L61 x L77, L70 x L77, L70 x P8, L70 x P1, P8 x L77 e L77 x L70, na 2ª safra foram classificadas nos grupos de menor IEF e de maior RG e CE (Tabelas 4 e 5). Segundo Santos

et al. (2002), a correlação entre o número de grãos ardidos e a produtividade de grãos é significativa e negativa, mostrando, assim, que esta característica pode afetar a produtividade de grãos em milho. Isto posto, confirma-se o encontrado para as variáveis ISF e IFS, em que os genótipos de maior sanidade para fusariose de espiga apresentam os melhores valores de RG e CE (Tabelas 4, 5 e 6).

**Tabela 6.** Agrupamento de médias por Skott-Knott (1974) de 56 híbridos dialélicos, inclusos os recíprocos, bem como de seis testemunhas para as oito características agrônômicas avaliadas para a 1ª safra (03/2015) e 2ª safra de cultivo (09/2015). Campos dos Goytacazes, RJ. 2015/2016.

Genótipo	Características avaliadas							
	NTE	PE	RG	CE	ISF	IFS	IEF	SFE
L88xL76	26,78b	4783,26a	4009,07a	21,73d	12,66b	11,83b	7,075b	1,35a
P8xL76	29,33b	4451,88a	3624,06a	29,81b	4,66c	4,66c	8,51b	1,82a
L61xL76	28,87b	5235,16a	4164,92a	28,16b	1,00c	1,00c	4,20b	1,87a
L70xL76	29,37b	5165,00a	4045,62a	28,22b	2,25c	1,75c	3,85b	1,16a
L77xL76	27,87b	5420,93a	4377,67a	27,85b	3,00c	2,50c	1,63b	0,62a
L55xL76	24,75b	4260,90a	3437,31a	25,62c	8,66c	8,33c	10,73b	2,25a
P1xL76	30,50a	4938,90a	4012,52a	27,39b	6,00c	4,66c	10,10b	2,31a
L76xL88	26,75b	5135,50a	4296,13a	22,04d	3,25c	2,50c	10,68b	2,78a
P8xL88	36,00a	4895,35a	4070,98a	25,62c	10,83c	9,33c	7,72b	2,85a
L61xL88	38,00a	5300,30a	4305,50a	23,14d	11,00c	11,00b	1,42b	1,25a
L70xL88	35,50a	5594,31a	4640,90a	25,22c	8,50c	7,00c	6,25b	2,78a
L77xL88	31,87a	5438,47a	4514,20a	22,20d	4,00c	4,00c	2,81b	1,46a
L55xL88	32,12a	4358,58a	3678,52a	22,68d	5,00c	4,75c	5,55b	2,21a
P1xL88	33,75a	5228,76a	3967,87a	23,33d	6,83c	6,08c	6,47b	1,55a
L76xP8	25,96b	5087,18a	4108,40a	31,64a	7,00c	6,00c	3,27b	1,37a
L88xP8	34,37a	4812,11a	3909,75a	26,30c	3,58c	3,08c	10,07b	2,42a
L70xP8	34,91a	4998,77a	3915,91a	32,22a	6,75c	5,75c	3,52b	1,78a
L77xP8	35,50a	4631,98a	3610,21a	31,89a	3,50c	2,75c	6,40b	2,15a
L55xP8	29,12b	3169,30b	2491,13b	27,93b	7,50c	6,00c	20,56a	2,86a
P1xP8	32,62a	3811,10a	3074,43b	32,16a	4,41c	4,41c	9,76b	2,61a
L76xL61	24,25c	5364,17a	4239,92a	27,20b	7,50c	7,00c	2,30b	0,53a
L88xL61	34,87a	4715,20a	3791,45a	23,41d	14,67b	14,33b	7,82b	2,33a
P8xL61	30,50a	4684,72a	3743,96a	30,83a	7,08c	6,58c	2,30b	1,25a

Tabela 6. Cont.

Genótipo	Características avaliadas							
	NTE	PE	RG	CE	ISF	IFS	IEF	SFE
L70xL61	34,62a	3589,50b	2726,00b	29,06b	10,75c	6,00c	2,87b	1,53a
L77xL61	28,62b	4991,78a	3884,87a	28,39b	12,25b	9,5c	3,96b	2,53a
L55xL61	37,41a	4432,41a	3361,61a	27,04b	6,33c	6,33c	7,43b	2,91a
P1xL61	34,87a	4422,30a	3243,57a	28,10b	15,25b	11,00b	10,32b	2,96a
L76xL70	23,91c	5495,28a	4309,38a	28,29b	4,66c	3,32c	2,16b	1,58a
L88xL70	37,50a	5973,92a	4956,62a	23,45d	7,00c	7,00c	3,11b	1,93a
P8xL70	34,00a	4995,18a	3918,16a	31,47a	5,50c	3,50c	2,30b	0,91a
L61xL70	31,37a	3540,40b	2641,23b	28,31b	6,41c	4,58c	2,96b	1,66a
L77xL70	36,00a	5460,82a	4271,78a	30,31a	4,00c	4,00c	7,05b	2,32a
L55xL70	29,71b	4173,16a	3278,76a	25,48c	4,83c	3,50c	4,71b	1,90a
P1xL70	35,00a	4465,23a	3427,15a	29,35b	6,66c	6,66c	7,27b	2,80a
L76xL77	23,16c	5302,20a	4311,96a	26,00c	4,75c	2,91c	3,02b	1,47a
L88xL77	34,87a	5197,98a	4301,55a	23,64d	7,41c	6,75c	2,36b	1,43a
P8xL77	33,33a	5438,75a	4311,28a	28,07b	7,67c	7,33c	3,70b	1,66a
L61xL77	27,00b	4901,61a	3804,06a	29,37b	3,00c	1,66c	1,86b	0,87a
L70xL77	32,62a	6023,42a	4540,35a	28,37b	7,25c	6,33c	2,10b	0,81a
L55xL77	29,50b	3299,71b	2607,60b	25,25c	5,83c	5,16c	5,96b	1,96a
P1xL77	30,37a	3638,65b	2831,71b	28,81b	4,08c	4,08c	11,67b	2,65a
L76xL55	19,71c	4781,53a	3893,38a	25,00c	7,83c	6,25c	6,37b	1,52a
L88xL55	33,37a	4033,23a	3133,11a	22,23d	9,00c	9,00c	7,00b	2,65a
P8xL55	33,37a	3594,52b	2795,47b	27,77b	11,00c	8,25c	15,42a	2,76a
L61xL55	34,62a	3946,78a	2994,53b	28,58b	16,00b	15,50b	9,30b	2,37a
L70xL55	32,37a	4596,46a	3544,93a	25,39c	9,75c	8,50c	6,10b	2,18a
L77xL55	31,62a	3916,68a	3080,96b	25,43c	4,50c	4,00c	9,52b	2,25a
P1xL55	31,12a	3689,43b	2882,80b	26,73c	15,5b	15,00b	23,15a	3,18a
L76xP1	26,50b	4719,16a	3845,07a	28,35b	3,00c	3,00c	7,47b	1,82a
L88xP1	36,87a	5117,55a	4299,71a	23,96d	9,50c	9,25c	6,86b	2,23a
P8xP1	33,12a	4417,70a	3527,98a	32,72a	9,75c	9,75c	15,60a	2,45a
L61xP1	36,53a	4961,05a	3873,41a	28,27b	14,33b	14,33b	3,08b	1,92a
L70xP1	35,12a	4840,12a	3717,85a	29,50b	8,41c	7,83c	7,10b	2,32a
L77xP1	28,12b	4179,61a	3295,05a	30,60a	7,00c	6,00c	8,57b	2,22a
L55xP1	40,00a	3460,38b	2697,78b	25,87c	9,25c	9,25c	26,47a	3,00a
L88	23,62c	2372,48c	1850,77c	17,12e	18,50b	18,00b	27,20a	3,01a



Tabela 6. Cont.

Genótipo	Características avaliadas							
	NTE	PE	RG	CE	ISF	IFS	IEF	SFE
L77	20,08c	1460,85d	1053,88c	28,81b	10,32c	8,00c	7,63b	1,26a
L55	23,25c	1286,13d	1126,35c	23,90d	18,75b	16,25b	24,67a	3,18a
L70	31,25a	2529,75b	1815,70c	29,20b	11,00c	10,50b	5,02b	2,37a
L61	14,75c	920,15d	599,07c	28,20b	10,50c	10,50b	-	-
P1	26,00b	1625,63c	974,76c	29,20b	37,91a	36,41a	21,52a	3,53a
L76	25,50b	2426,30c	1815,78c	26,52c	12,41b	10,41b	8,57b	2,41a
P8	36,25a	2502,91c	2183,81b	33,66a	10,33c	9,83c	10,61b	2,60a
IAC 125	33,37a	3862,66a	3016,41b	33,89a	13,08b	11,83b	18,26a	2,91a
ANGELA	30,66a	3423,08b	2664,36b	31,60a	6,58c	6,33c	10,53b	2,73a
L70xL54	35,87a	4570,76a	3576,52a	29,89b	8,25c	7,25c	3,83b	1,16a
P8xL54	37,25a	4315,02a	3484,22a	32,35a	12,08b	11,41b	6,31b	1,96a
UENF 14	34,25a	4221,50a	3484,67a	30,93a	3,50c	3,50c	4,77b	1,83a
B. Viçosa	30,75a	3578,37b	2914,35b	30,73a	3,83c	1,25c	8,76b	2,26a

NTE = número total de espigas; PE = peso médio de espiga; RG = rendimento de grãos; CE = capacidade de expansão; ISF = percentagem de sementes com fungo; IFS = percentagem de sementes com fusariose; IEF = percentagem de incidência de fusariose; SFE = índice de severidade de fusariose; 1 médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem, estatisticamente, em 5 % de probabilidade pelo agrupamento de Scott-Knott (1974).

Para a variável SFE foi observada diferença significativa ( $P < 0,01$ ) para a fonte de variação Épocas. No entanto, a interação GxE não-significativa, indica que os genótipos tiveram comportamento semelhante quando cultivados nas diferentes épocas de plantio (Tabela 3). Analisando-se as médias para ambas as épocas pode-se notar a formação de dois grupos de médias; entretanto, o agrupamento não foi concordante com os resultados obtidos com as variáveis ISF, IFS e IEF, de forma que a maior parte dos genótipos indicados nos grupos de maior sanidade para ISF, IFS e IEF, foi agrupada nos grupos de maior expressão de SFE. Conclui-se, pois, que SFE não foi eficiente para a fidedigna discriminação genotípica, o que possibilita aventar a necessidade de se aprimorar a escala proposta pela CIMMYT (1985) para a quantificação adequada desta patologia, em específico.

Analisando-se as testemunhas verificou-se que apenas o híbrido P8 x L54 e a variedade UENF 14, foram classificados nos grupos de maior CE e RG (Tabela 6); sendo que a variedade UENF 14 foi elencada nos grupos de menor ISF, IFS e IEF, em ambas as épocas de plantio. Estes resultados confirmam a

superioridade, adaptabilidade e estabilidade da variedade UENF 14 para as regiões norte e noroeste fluminense, conforme propalado por Amaral Junior et al.(2013), quando do lançamento da cultivar. Os genótipos IAC 125, BRS Angela e UFV M2-Barão de Viçosa, foram classificados no grupo com médias estratificadas inferiores para RG. Para o IAC 125, resultados semelhantes foram observados por Rangel et al. (2008), indicando que este híbrido não tem boa adaptação para o ambiente de Campos dos Goytacazes, devendo-se repensar em sua continuidade como testemunha nos futuros experimentos com a cultura para o Norte e Noroeste Fluminense.

#### **4.2 Análise dialélica de Griffing (1956) para a 1ª safra**

Com relação ao quadrado médio da fonte de variação Genótipos, todas as características avaliadas revelaram significância em 1% de probabilidade (Tabela 7). O desdobramento dos Genótipos em CGC revelou que as características PE, RG, CE, NTE, IFS, IEF e SFE foram significativas em 1 % de probabilidade, exceto para ISF ( $P < 0,05$ ). Para CEC, as características PE, RG, NTE, ISF, IFS e IEF foram significativas em 1 % de probabilidade, exceto para SFE ( $P < 0,05$ ). A característica CE foi não-significativa para CEC, indicando o predomínio dos efeitos gênicos aditivos no controle da expressão desta característica (Tabela 7).

Analisando-se as médias dos quadrados dos efeitos pode-se verificar que as estimativas dos componentes quadráticos dos efeitos genéticos não-aditivos foram superiores aos efeitos aditivos para todas as características, exceto para CE (Tabela 7). Corroborou-se, assim, a supremacia da aditividade na expressão da capacidade de expansão, já detectada por alguns autores (Larish e Brewbaker, 1999; Pereira e Amaral Júnior, 2001; Viana e Matta, 2003; Simon et al., 2004; Freitas Júnior et al., 2006; Scapim et al., 2006; Rangel et al., 2008).

**Tabela 7** - Estimativas dos quadrados médios de genótipos de milho-pipoca (genitores,  $F_{1s}$  e recíprocos), das capacidades geral e específica de combinação (CGC e CEC), bem como do resíduo, e das médias dos quadrados dos efeitos da capacidade combinatória para oito características avaliadas em dialelo completo na 1ª safra. Campos dos Goytacazes, RJ. 2015/2016.

FV	GL	Quadrados Médios							
		NTE	PE	RG	CE	ISF	IFS	IEF	SFE
Genótipo	63	206,97**	5287177,11**	3662275,97**	46,65**	113,17**	98,86**	102,03**	3,71**
CGC	7	832,68**	6295232,18**	5330978,35**	350,38**	169,27*	178,23**	440,62**	10,35**
CEC	28	184,96**	9567389,60**	6354082,62**	6,96 <sup>ns</sup>	138,65**	113,96**	85,44**	2,51*
ER	28	72,55**	754950,85 <sup>ns</sup>	553293,74 <sup>ns</sup>	10,40*	73,66 <sup>ns</sup>	63,91*	33,98 <sup>ns</sup>	3,26*
Resíduo	189	28,67	1091195,95	710218,29	6,55	56,87	40,18	23,47	1,59
<b>Médias dos Quadrados dos Efeitos</b>									
	CGC	12,56	81313,06	72199,37	5,37	1,75	2,15	6,51	0,13
	CEC	39,07	2119048	1410966	0,10	20,44	18,44	15,49	0,22
	ER	5,48	-42030,63	-19615,56	0,48	2,09	2,96	1,31	0,20

FV = fontes de variação; GL = graus de liberdade; NTE = número total de espigas; PE = peso médio de espiga; RG = rendimento de grãos; CE = capacidade de expansão; ISF = percentagem de sementes com fungo; IFS = percentagem de sementes com fusariose; IEF = percentagem de incidência de fusariose; SFE = índice de severidade de fusariose; e ER = efeito recíproco. <sup>ns</sup> = não-significativo em nível de 5 % de probabilidade pelo Teste F; \* = significativo em 5 % de probabilidade pelo Teste F; e \*\* = significativo em nível de 1 % de probabilidade pelo Teste F.

Os resultados indicam que o melhoramento por hibridações, com o intuito de aproveitar a heterose é a melhor estratégia para o incremento no RG, bem como para a sanidade de fusariose de espiga; e que o uso de genitores com altos valores de CE é uma estratégia interessante para agregar superioridade aos híbridos, embora não por meio da exploração da heterose, mas sim, por permitir ocorrência de médias superiores nos híbridos, decorrente da aditividade, quando em comparação ao que ocorreria com a junção de pais com valores menos expressivos de CE.

#### 4.2.1 Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação

A capacidade geral de combinação corresponde ao comportamento médio de uma linhagem em uma série de combinações híbridas, sendo expressa pela estimativa  $\hat{g}_i$ . De forma que, baixos valores das estimativas dos efeitos da CGC ( $\hat{g}_i$ ) indicam que a média dos híbridos em que o genitor  $i$  participou, não diferiu muito da média geral do dialelo. Altos valores, positivos ou negativos, revelam

que o genitor  $i$  é melhor ou pior que os demais genitores incluídos no dialelo, com relação à média de seus híbridos (Nihei e Ferreira, 2012). De acordo com Scapim et al. (2002), expressará maior  $\hat{g}_i$  a linhagem que possuir maior frequência de alelos favoráveis.

Para as características PE e RG, destacaram-se as linhagens L88, P8 e L61, por revelarem magnitudes positivas de  $\hat{g}_i$  conjuntamente, com supremacia para L88. Sendo assim, são genótipos de interesse em programas de melhoramento que busquem aumento de rendimento de grãos associado a maiores pesos de espigas. Os genitores L55, L77, e P1, por sua vez, destacaram-se negativamente, com ênfase para P1, de forma que estas linhagens devem ser evitadas em cruzamentos visando o incremento de RG e PE (Tabela 8).

**Tabela 8** - Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação ( $\hat{g}_i$ ) para oito características avaliadas em oito genitores de milho-pipoca em esquema de dialelo completo com os recíprocos na 1ª safra, em Campos dos Goytacazes, RJ. 2015/2016.

Linhagens	Características avaliadas							
	NTE	PE	RG	CE	ISF	IFS	IEF	SFE
L88	3,35	387,23	431,49	-3,64	1,03	1,66	-1,26	-0,08
L77	2,48	-64,83	-17,86	4,18	-0,08	0,04	-0,05	-0,06
L55	-0,48	-274,98	-300,25	-2,21	1,91	1,36	-2,68	-0,29
L70	1,40	62,99	-24,59	0,59	-1,28	-1,60	-1,33	0,04
L61	-2,31	154,45	79,59	0,02	-1,60	-1,86	-1,10	-0,24
P1	0,17	-596,33	-456,18	-0,60	0,79	0,87	3,61	0,38
L76	2,95	64,75	-14,13	0,27	1,68	1,75	4,51	0,75
P8	-7,57	266,71	301,95	1,37	-2,46	-2,22	-1,68	-0,50

NTE = número total de espigas; PE = peso médio de espiga; RG = rendimento de grãos; CE = capacidade de expansão; ISF = porcentagem de sementes com fungo; IFS = porcentagem de sementes com fusariose; IEF = porcentagem de incidência de fusariose; e SFE = índice de severidade de fusariose.

Para CE, as linhagens que apresentaram valores positivos, foram L77, L70, L61, L76 e P8 (Tabela 8), demonstrando que, com o uso destas como genitoras incrementam-se a CE nos híbridos. No entanto, a linhagem L61 conteve  $\hat{g}_i$  muito próximo de zero, não influenciando significativamente no aumento ou diminuição da CE em cruzamentos; em outras palavras, a média dos híbridos em que essa linhagem estiver presente não tende a diferir da média geral do dialelo. As

linhagens L88, L55 e P1 expressaram os menores valores de  $\hat{g}_i$  e devem ser evitadas em cruzamentos para a obtenção de híbridos com alta CE.

A variável NTE revelou as seguintes linhagens como promissoras L88, L77, L70, L76, por proporcionarem valores positivos elevados das estimativas de  $\hat{g}_i$ . Galvão et al. (2000) relataram relação direta entre prolificidade e produtividade, com magnitude de correlação de 0,65 para esses caracteres. O aumento da produtividade por meio do aumento do número de espigas é, pois, uma opção para se conseguir ganhos de produtividade no milho-pipoca (Carpentieri-Pípolo, 2002).

Para as características ISF, IFS e IEF, as linhagens L70, L61 e P8 apresentaram os maiores valores negativos de  $\hat{g}_i$ , sendo, assim, genótipos de interesse para o aumento da sanidade em milho-pipoca. Já, as linhagens L76 e P1 exibiram valores positivos para ISF, IFS e IEF, sendo seu uso não recomendado. As linhagens L55 e L88 detiveram valores positivos de  $\hat{g}_i$  para ISF e IFS, e negativos para IEF, indicando que a avaliação nos grãos e na espiga de milho-pipoca apresenta alguns resultados contraditórios (Tabela 8). Estas divergências podem ser explicadas pelo fato de no *blotter test* realizado nos grãos ter sido feita a desinfecção dos grãos com hipoclorito a 1 % de concentração. Assim, fungos que talvez estivessem presentes nas espigas, foram removidos nos grãos.

Com relação à SFE, as linhagens L76 e P1 expressaram resultados positivos para  $\hat{g}_i$ , sendo, pois, não recomendadas para reduzir a severidade de fusariose em milho-pipoca. De forma contrária, as linhagens P8, L55 e L61, que apresentaram valores negativos para  $\hat{g}_i$ , podem ser recomendadas. Os resultados de SFE corroboram com o encontrado para ISF, IFS e IEF, ao recomendar P8 e L61 e evitar L76 e P1 na busca por maior sanidade em milho-pipoca. Com relação aos outros genitores, os valores foram muito próximos de zero, de forma que não apresentam efeito significativo no incremento ou redução da severidade de fusariose na espiga.

#### **4.2.2 Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação**

A CEC refere-se ao comportamento individual de duas linhagens cruzadas entre si, expressas pela manifestação heterótica do híbrido (Vencovsky, 1987),

expressando os efeitos de dominância dos genes e evidenciando se um híbrido é melhor ou pior que o previsto pela CGC de seus genitores (Cruz, 2014).

Conforme Cruz et al. (2014), para que um cruzamento seja recomendado, o mesmo precisa evidenciar elevada média e CEC, e pelo menos um dos genitores apresentar elevada CGC. Seguindo tais pressupostos, ao analisarem-se os valores de  $\hat{\sigma}_{ij}$ , conjuntamente, para PE e RG, pode-se notar que as melhores combinações híbridas foram: L70 x L61, L88 x L76, L88 x L61, L76 x P8, L88 x L70, P1 x P8, L61 x P8, L77 x L61 e L55 x P8 (Tabelas 8 e 9). Lopes et al. (2007) estimaram correlação positiva significativa de 0,95 entre PE e RG; portanto, pode-se selecionar para estas características conjuntamente. Logo, ao se optar pelas combinações híbridas aqui identificadas, estará se escolhendo realmente as que mais se destacaram para o incremento em RG e PE.

**Tabela 9.** Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação ( $\hat{\sigma}_{ii}$  e  $\hat{\sigma}_{ij}$ ) para oito características avaliadas em dialelo completo incluindo os recíprocos entre oito linhagens de milho-pipoca, para a 1ª safra em Campos dos Goytacazes, RJ. 2015/2016.

$\hat{\sigma}_{ii} \times \hat{\sigma}_{ij}$	n x n	Características avaliadas							
		NTE	PE	RG	CE	ISF	IFS	IEF	SFE
L88	1 1	-4,15	--2778,20	-2555,50	-2,20	8,38	7,29	7,15	0,75
L88 X L77	1 2	0,26	483,01	319,95	0,35	-3,25	-3,83	0,99	0,39
L88 X L55	1 3	3,73	113,16	113,94	0,06	4,59	5,35	1,47	0,41
L88 X L70	1 4	-0,80	565,33	637,38	1,46	-3,80	-2,93	0,41	-0,17
L88 X L61	1 5	1,65	760,63	697,93	0,97	-5,38	-4,56	-0,90	0,06
L88 X P1	1 6	0,01	195,96	156,77	0,10	-1,53	-1,31	-4,43	-0,05
L88 X L76	1 7	0,63	747,68	730,77	0,15	-1,52	-2,03	-5,23	-1,23
L88 X P8	1 8	-1,33	-87,58	-101,26	-0,89	2,52	2,03	0,52	-0,17
L77	2 2	2,88	--2273,85	-1512,49	-0,09	10,80	11,74	3,93	1,03
L77 X L55	2 3	0,69	1015,08	788,10	0,28	-3,89	-3,77	-1,58	-0,59
L77 X L70	2 4	-0,18	394,41	265,38	0,53	-0,44	-1,30	-1,79	-0,68
L77 X L61	2 5	1,72	726,05	510,94	-2,53	-1,01	-0,44	-0,56	0,00
L77 X P1	2 6	-5,21	-649,05	-653,37	0,02	1,73	0,21	1,80	0,43
L77 X L76	2 7	-0,99	152,05	166,43	1,20	-3,91	-2,91	-0,69	-0,09
L77 X P8	2 8	0,83	152,32	115,04	0,23	-0,01	0,31	-2,08	-0,48
L55	3 3	-22,48	-2734,57	-2039,20	-0,85	-0,89	1,40	-0,10	-1,32
L55 X L70	3 4	2,43	-678,51	-520,06	0,05	5,80	2,62	1,38	0,49
L55 X L61	3 5	-1,25	456,78	347,13	0,43	-1,61	-2,71	1,11	0,38
L55 X P1	3 6	10,50	486,78	311,07	1,59	-4,91	-3,75	-2,26	0,65

Tabela 9. Cont.

ŝii x ŝij	n x n	Características avaliadas							
		NTE	PE	RG	CE	ISF	IFS	IEF	SFE
L55 X L76	3 7	5,62	748,84	512,22	-0,84	1,43	0,36	-2,76	-0,07
L55 X P8	3 8	0,75	592,33	486,78	-0,74	-0,51	0,49	2,74	0,04
L70	4 4	-1,95	-2081,02	-1674,93	-0,66	4,50	5,34	2,88	0,50
L70 X L61	4 5	3,60	1123,67	779,32	-0,07	1,18	2,30	0,70	-0,15
L70 X P1	4 6	-0,03	682,52	498,20	-1,17	-3,96	-3,38	-3,51	-0,53
L70 X L76	4 7	-1,06	-47,32	4,06	-0,58	-1,71	-0,51	-1,06	0,49
L70 X P8	4 8	-1,98	40,56	10,62	0,44	-1,56	-2,13	0,98	0,05
L61	5 5	-7,13	-3068,43	-2449,91	0,35	10,45	7,56	3,03	-0,62
L61 X P1	5 6	2,93	-229,54	-215,88	-0,29	0,75	1,62	-2,39	-0,14
L61 X L76	5 7	-0,85	-397,23	-224,78	0,42	-3,38	-2,65	0,05	0,73
L61 X P8	5 8	-0,67	628,40	555,23	0,72	-0,98	-1,12	-1,03	-0,25
P1	6 6	-5,30	-1550,55	-928,35	0,54	5,85	3,88	10,88	0,23
P1 X L76	6 7	3,06	256,55	212,75	-1,18	1,96	3,00	4,73	0,10
P1 X P8	6 8	-5,95	807,34	618,81	0,38	0,11	-0,26	-4,81	-0,68
L76	7 7	-4,57	-2094,63	-2049,44	0,29	11,06	9,13	6,78	0,08
L76 X P8	7 8	-1,83	634,05	647,97	0,53	-3,93	-4,39	-1,81	-0,00
P8	8 8	10,19	-2767,45	-2333,21	-0,68	4,36	5,08	5,49	1,50

NTE = número total de espigas; PE = peso médio de espiga; RG = rendimento de grãos; CE = capacidade de expansão; ISF = percentagem de sementes com fungo; IFS = percentagem de sementes com fusariose; IEF = percentagem de incidência de fusariose; e SFE = índice de severidade de fusariose.

Para as estimativas dos efeitos de CEC para a variável NTE, os genótipos L55 x P1, L55 x L76, L88 x L55, L70 x L61, P1 x L76, L61 x P1, L55 x L70 manifestaram valores desejáveis para  $\hat{\sigma}_{ij}$ , com estimativas que representam considerável contribuição para o aumento do número de espigas. No entanto, apenas os híbridos L55 x L76, L88 x L55, L70 x L61, P1 x L76 e L55 x L70 podem ser destacados como combinações promissoras, uma vez que os melhores genitores para a característica número de espigas foram L88, L70, L76, com estimativas positivas de  $\hat{\sigma}_i$  (Tabela 8).

Para as estimativas dos efeitos de  $\hat{\sigma}_{ij}$  das variáveis coletados via *blotter test* (ISF e IFS), buscaram-se combinações híbridas cujos valores de  $\hat{\sigma}_{ij}$  tenham sido negativos, uma vez que refletem a contribuição para reduzir o número de grãos infectados. Neste aspecto, destacaram-se, para ambas as características, os híbridos L88 x L61, L70 x P1, L76 x P8, L88 x L70, L61 x L76, pelas maiores magnitudes negativas de  $\hat{\sigma}_{ij}$ , e por possuírem pelo menos um dos genitores com valores desejáveis de  $\hat{\sigma}_i$ . Dentre estas combinações, os pares L88 x L61, L76 x

P8, L88 x L70 e L61 x L76 apresentaram valores desejáveis de  $\hat{s}_{ij}$  também para RG e/ou CE, o que é altamente interessante para os objetivos deste estudo.

Para as estimativas dos efeitos de CEC das variáveis avaliadas na espiga (IEF e SFE), da mesma forma que para ISF e IFS, buscam-se híbridos com valores de  $\hat{s}_{ij}$  elevados, porém, negativos e que contenham pelo menos um genitor com estimativa desejável de  $\hat{g}_i$ . Por conseguinte, os híbridos que se destacaram foram: L88 x L76, P1 x P8, L88 x P1, L70 x P1, L55 x L76, L61 x P1, L55 x P1, L77 x P8, L76 x P8, L77 x L70, L77 x L55, nesta ordem.

Então, para a 1ª safra, analisando-se a CEC das oito características conjuntamente merece destaque os híbridos L77 x L55, L88 x L76, L88 x L61, L76 x P8, L61 x P8, L77 x L70, L77 x L76, L88 x P1 e L77 x P8; por apresentarem valores positivos de  $\hat{s}_{ij}$  para as características RG e CE e negativos para ISF, IFS e IEF. Dentre estes os híbridos, L76 x P8, L61 x P8 e L77 x L70 foram alocados nos grupos das melhores médias para rendimento de grãos, capacidade de expansão e sanidade para fusariose de espiga (Tabela 6), e possuem genitores com valores desejáveis de  $\hat{g}_i$  para, ao menos uma das características de maior interesse agrônomo (Tabela 8). Portanto, devem ser recomendados para o ambiente da 1ª safra de cultivo como híbridos promissores para o melhoramento de milho-pipoca.

#### **4.5 Análise dialélica de Griffing (1956) para a 2ª safra**

Houve significância em 1 % de probabilidade para Genótipos em quase todas as características avaliadas; excetuou-se SFE, que sequer foi significativa em 5 %. O desdobramento dos Genótipos em CGC revelou significância para todas as características em 1 % de probabilidade. Para CEC, apenas SFE não permitiu expressar significância, de forma análoga ao que ocorreu para Genótipos, denotando pouca variação entre os genótipos avaliados em conjunto, mas não quando se consideram o grupo de genitores, apenas, decorrente de sua elevada significância revelada para CGC (Tabela 10).



**Tabela 10** - Estimativas dos quadrados médios de genótipos de milho-pipoca (genitores, F<sub>1</sub>s e recíprocos), das capacidades geral e específica de combinação (CGC e CEC), bem como do resíduo, e das médias dos quadrados dos efeitos da capacidade combinatória para oito características avaliadas em dialelo completo na 2ª safra de cultivo. Campos dos Goytacazes, RJ. 2015/2016.

FV	GL	Quadrados Médios Safra							
		NTE	PE	RG	CE	ISF	IFS	IEF	SFE
Genótipo	63	89,32**	6450055,34**	4503662,22**	74,26**	243,57**	235,96**	288,34**	2,70 <sup>ns</sup>
CGC	7	140,41**	14232667,19**	10253888,66**	613,26**	555,60**	588,12**	1341**	11,77**
CEC	28	140,38**	10069998,35**	6957228,07**	8,94**	320,54**	304,68**	262,51**	1,83 <sup>ns</sup>
ER	28	25,48 <sup>ns</sup>	884459,36 <sup>ns</sup>	612539,78**	4,83 <sup>ns</sup>	88,59**	79,20**	50,89 <sup>ns</sup>	1,31 <sup>ns</sup>
Resíduo	189	25,51	740693,51	458241,18	3,91	34,13	28,59	75,58	2,05
<b>Médias dos quadrados dos efeitos</b>									
CGC		1,79	210812,08	153056,99	9,52	8,14	8,74	19,77	0,15
CEC		28,71	2332326,21	1624746,72	1,25	71,60	69,02	46,73	-0,05
ER		-0,00	17970,73	19287,32	0,11	6,80	6,32	-3,08	-0,09

FV = fontes de variação; GL = graus de liberdade; NTE = número total de espigas; PE = peso médio de espiga; RG = rendimento de grãos; CE = capacidade de expansão; ISF = percentagem de sementes com fungo; IFS = percentagem de sementes com fusariose; IEF = percentagem de incidência de fusariose; SFE = índice de severidade de fusariose; e ER = efeito recíproco. <sup>ns</sup> = não-significativo em nível de 5 % de probabilidade pelo Teste F; \* = significativo em 5 % de probabilidade pelo Teste F; e \*\* = significativo em nível de 1 % de probabilidade pelo Teste F.

Assim como para a 1ª safra, os resultados denotam a possibilidade de serem obtidos novos híbridos a partir do germoplasma utilizado, tendo em vista a disponibilidade de variabilidade aditiva e não-aditiva para as características avaliadas. Para a 2ª safra, as médias dos quadrados dos efeitos de CEC foram superiores às análogas para CGC, em relação a PE, RG, NTE, ISF, IFS e IEF; a exceção recaiu para com CE. Pelo exposto, fica evidente a superioridade da aditividade na expressão da capacidade expansão em milho-pipoca, e da dominância para os caracteres de produtividade. E pode-se, propalar, de forma primeira, a superioridade da dominância na expressão da sanidade para fusariose de espiga em milho-pipoca.

O efeito recíproco foi não significativo para a maioria das características, sendo significativo em 1 % de probabilidade apenas para RG, ISF e IFS. Estes resultados demonstram que para essas características, houve diferença significativa entre os híbridos e seus recíprocos e que pode haver ganhos ao se

inverter os genitores no cruzamento. Andrade et al. (2002), avaliando seis variedades de milho-pipoca, em um dialelo completo com recíprocos, também observaram efeito recíproco para rendimento de grãos.

Na Tabela 10, pode-se notar, também, que nos casos em que o efeito recíproco foi significativo, as estimativas dos efeitos dos quadrados médios do ER foram inferiores às de CGC, e muito inferiores aos valores de CEC. Desta forma, pode-se consolidar a afirmação de que a melhor estratégia para ganhos nas características em estudo consiste em explorar os efeitos do vigor híbrido; porém, utilizando-se genitores com altos valores de CGC para CE.

#### **4.5.1 Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação**

Para Cruz et al. (2014), altas estimativas de  $\hat{g}_i$  positivas ou negativas, evidenciam genitores muito superiores ou inferiores aos demais incluídos no dialelo em relação à média dos cruzamentos, enquanto baixas estimativas de  $\hat{g}_i$  indicam genitores em que as combinações não diferem muito da média geral dos cruzamentos dialélicos. De acordo com Ramalho et al. (1993), o conhecimento da capacidade geral de combinação dos genitores possui relevância para os melhoristas, pois os híbridos provenientes de parentais com maiores valores de  $\hat{g}_i$  para a característica desejada são, potencialmente, superiores.

Como já propalado, PE está relacionada com RG. Não por acaso, a maioria das linhagens genitoras exibiram estimativas de  $\hat{g}_i$  positivas, portanto, consideradas promissoras para PE e RG, a saber: L88, L77, L70, L61 e P8. Por sua vez, P1, L76 e L55 apresentaram valores expressivos negativos para RG e PE, sendo consideradas desfavoráveis para aumentos na produtividade de grãos (Tabela 11).

Analisando-se a característica mais relacionada à qualidade dos grãos, CE, verifica-se que as linhagens L77, L55, L70, L61 e L76 expressaram valores positivos de  $\hat{g}_i$  (Tabela 11). Dentre estas, destacam-se L70, L61 e L77, por também expressarem estimativas positivas de  $\hat{g}_i$  para RG. Isto posto, existe a possibilidade de melhoramento para ambas as características no ambiente da 2ª safra para um expressivo conjunto de linhagens incluídas no dialelo.

**Tabela 11.** Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação ( $\hat{g}_i$ ) para oito características avaliadas em oito genitores de milho-pipoca em esquema de dialelo completo com os recíprocos na 2ª safra, em Campos dos Goytacazes, RJ. 2015/2016.

Linhagens	Características avaliadas							
	NTE	PE	RG	CE	ISF	IFS	IEF	SFE
L88	-0,08	369,38	403,65	-5,45	0,85	0,99	3,12	0,38
L77	1,97	17,53	67,31	2,20	-2,70	-2,75	1,25	0,26
L55	-0,50	-30,93	-87,29	3,66	-0,12	0,02	-4,93	-0,52
L70	2,42	523,82	358,40	1,55	-1,28	-1,38	-5,34	-0,33
L61	-0,60	31,51	39,85	0,96	-2,93	-2,84	-3,75	-0,47
P1	-1,25	-777,57	-639,43	-2,78	2,12	1,83	6,75	0,57
L76	-0,11	-581,67	-516,98	1,92	5,88	6,18	4,50	0,29
P8	-1,83	447,92	374,49	-2,07	-1,81	-2,05	-1,59	-0,17

NTE = número total de espigas; PE = peso médio de espiga; RG = rendimento de grãos; CE = capacidade de expansão; ISF = percentagem de sementes com fungo; IFS = percentagem de sementes com fusariose; IEF = percentagem de incidência de fusariose; e SFE = índice de severidade de fusariose.

Para a característica NTE, apenas os genitores L70 e L77 exibiram valores positivos de  $\hat{g}_i$ . No entanto, destaca-se que estes genitores também apresentaram resultados favoráveis para RG, PE e CE, portanto, propensos a incrementar tanto o rendimento de grãos quanto a capacidade de expansão, além da prolificidade.

Para as características de sanidade à fusariose de grãos – ISF, IFS, IEF e SFE – os genitores L70, L61 e P8 se destacaram da mesma forma que para o ambiente da 1ª safra, apresentando valores negativos de  $\hat{g}_i$  em todas essas características. L70 e L61, conforme já propalado, também detiveram resultados favoráveis de  $\hat{g}_i$  para RG e CE.

De forma similar ao que ocorreu na 1ª safra, os genitores P1 e L76 apresentaram os maiores valores positivos de  $\hat{g}_i$  para ISF, IFS, IEF e SFE, seguidos desta vez, pelo genitor L88, que também apresentou resultados desfavoráveis para sanidade de fusariose. No entanto, o genitor P1 destaca-se como o inferior dentre estes, por ainda apresentar valores de  $\hat{g}_i$  negativos para CE e RG (Tabela 11).

#### 4.5.2 Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação

O efeito da CEC é interpretado como o desvio do desempenho do híbrido em relação ao que seria esperado com base na CGC de seus genitores. O híbrido mais favorável deve ser aquele que apresenta maior estimativa da capacidade específica de combinação, na qual um dos genitores apresente maior capacidade geral de combinação (Cruz et al., 2014).

**Tabela 12.** Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação ( $\hat{\sigma}_{ii}$  e  $\hat{\sigma}_{ij}$ ) para oito características avaliadas em dialelo completo incluindo os recíprocos entre oito linhagens de milho-pipoca, para a 2ª safra em Campos dos Goytacazes, RJ. 2015/2016.

$\hat{\sigma}_{ii} \times \hat{\sigma}_{ij}$	n x n	Características avaliadas							
		NTE	PE	RG	CE	ISF*	IFS*	IEF	SFE
L88	1 1	-16,85	-2649,63	-2275,25	0,13	7,94	8,29	28,01	0,51
L88 X L77	1 2	0,68	-144,44	-85,76	-0,22	1,70	1,23	-1,87	0,28
L88 X L55	1 3	5,16	792,02	673,44	-0,35	0,52	0,86	-2,08	-0,42
L88 X L70	1 4	4,98	999,91	929,20	-0,32	3,08	2,17	-1,87	0,78
L88 X L61	1 5	3,01	273,68	301,24	-1,51	2,53	2,28	-6,51	-0,87
L88 X P1	1 6	1,56	153,56	53,38	2,79	-6,17	-5,34	-10,82	-0,42
L88 X L76	1 7	2,18	699,36	370,83	-0,47	-8,48	-8,29	-7,92	-0,44
L88 X P8	1 8	-0,75	-124,48	32,90	-0,03	-1,13	-1,16	3,08	0,57
L77	2 2	-0,97	-1285,25	-1080,77	0,15	-1,43	-1,71	-0,66	-0,34
L77 X L55	2 3	-0,54	267,01	253,88	-0,51	-2,01	-1,49	-1,27	0,59
L77 X L70	2 4	-0,97	400,46	323,43	0,14	1,14	1,16	-2,51	-0,59
L77 X L61	2 5	3,80	546,52	379,68	0,63	2,64	2,87	-1,30	0,19
L77 X P1	2 6	2,60	174,51	124,22	-1,82	-0,26	-1,05	7,04	-0,05
L77 X L76	2 7	-2,28	-18,63	55,71	0,60	-3,62	-3,25	0,24	-0,17
L77 X P8	2 8	-2,31	59,81	29,54	1,03	1,82	2,23	0,34	0,09
L55	3 3	-7,81	-3472,91	-2849,46	-0,14	1,40	1,73	-0,27	-1,15
L55 X L70	3 4	-0,99	-1132,41	-920,90	-0,77	-4,78	-5,50	3,13	-0,30
L55 X L61	3 5	-0,91	897,24	747,98	0,39	2,71	2,10	1,64	0,49
L55 X P1	3 6	1,83	912,63	666,28	1,47	5,65	6,42	0,63	0,38
L55 X L76	3 7	2,20	797,73	661,52	-0,94	1,89	0,57	-0,81	0,62
L55 X P8	3 8	1,06	938,68	767,25	0,86	-5,40	-4,69	-0,96	-0,20
L70	4 4	-4,87	-2692,72	-2223,25	0,30	5,72	6,55	4,93	0,75
L70 X L61	4 5	2,35	928,23	717,64	1,13	0,27	0,66	4,39	0,19
L70 X P1	4 6	-2,35	214,62	225,33	-1,20	1,31	0,58	-5,00	-0,15
L70 X L76	4 7	2,76	623,22	476,33	0,59	-5,14	-5,01	-2,45	-0,22

Tabela 12. Cont.

ŝii x ŝij	n x n	Características avaliadas							
		NTE	PE	RG	CE	ISF*	IFS*	IEF	SFE
L70 X P8	4 8	-0,91	658,67	472,20	0,12	-1,59	-0,63	-0,60	-0,45
L61	5 5	-8,62	-3041,40	-2543,16	0,81	2,32	2,76	6,36	0,54
L61 X P1	5 6	0,42	-25,71	18,73	-1,11	-5,68	-5,55	-3,19	0,03
L61 X L76	5 7	-2,30	-113,16	-98,72	1,30	-5,44	-5,55	0,40	-0,27
L61 X P8	5 8	2,26	534,58	476,60	-1,65	0,65	0,42	-1,79	-0,30
P1	6 6	-7,82	-1788,92	-1489,67	-0,45	8,90	8,11	2,14	0,12
P1 X L76	6 7	4,59	124,52	132,61	0,48	-4,60	-4,48	9,94	0,01
P1 X P8	6 8	-0,83	234,77	269,09	-0,16	0,84	1,35	-0,75	0,08
L76	7 7	-10,78	-2279,82	-1800,68	-0,79	32,68	32,71	2,54	0,80
L76 X P8	7 8	3,63	166,77	202,38	-0,78	-7,26	-6,70	-1,95	-0,32
P8	8 8	-2,15	-2468,82	-2250,03	0,62	12,08	9,18	2,64	0,54

NTE = número total de espigas; PE = peso médio de espiga; RG = rendimento de grãos; CE = capacidade de expansão; ISF = percentagem de sementes com fungo; IFS = percentagem de sementes com fusariose; IEF = percentagem de incidência de fusariose; SFE = índice de severidade de fusariose; e \* Correlação simples de 0,95 entre ISF e IFS.

RG e PE proporcionaram efeitos expressivo de  $\hat{\sigma}_{ij}$  para os pares L88 X L70, L55 X P8, L55 X L61, L70 X L61, L88 X L55, L70 X L76, L61 X P8, L70 X P8, L77 X L61 (Tabela 12). Destacam-se serem combinações em que pelo menos um genitor conteve estimativa favorável de  $\hat{\sigma}_i$  para RG (Tabela 11).

Analisando-se a característica CE, pode-se notar que 18 genótipos detiveram estimativas positivas de  $\hat{\sigma}_{ij}$ ; porém, os que mais se destacaram foram L70 X L61, L55 X P1, L77 X P8, L55 X P8 (Tabela 12); neste caso, por conjugarem resultados também expressivos para RG, sendo os pares com as maiores magnitudes, tanto para capacidade de expansão quanto para rendimento de grãos.

Pelas estimativas dos efeitos de CEC para a característica NTE, os híbridos L88 x L70, L77 x L61, L70 x L76, L77 x P1, L70 x L61 podem ser destacados como combinações promissoras (Tabela 12), pois manifestaram valores desejáveis para  $\hat{\sigma}_{ij}$ , contendo, também, ao menos um genitor favorável (Tabela 11).

Para as características de sanidade de fusariose, coletadas via *blotter test* - ISF e IFS -, sobressaíram os híbridos L76 X P8, L61 X P1, L61 X L76, L55 X P8, L70 X L76, L55 X L70 e L77 X L76, por suas estimativas negativas de  $\hat{\sigma}_{ij}$  (Tabela 12) e por serem constituídos por menos um genitor promissor para o incremento

na sanidade (Tabela 11). Analisando-se a correlação entre as estimativas de ISF e IFS, verifica-se uma associação de 0,95 (Tabela 12), o que possibilita ganhos conjuntos nessas características. Já para IEF, as combinações mais interessantes foram L88 X L61, L70 X P1, L61 X P1, L77 X L70, L70 X L76, L88 X L55, dentre as quais L61 x P1, L70 x L76, estão entre as melhores também para ISF e IFS.

Em suma, para a safra, baseando-se nas estimativas de  $\hat{s}_{ij}$  e  $\hat{g}_i$ , as combinações híbridas que apresentaram resultados favoráveis para RG, CE e sanidade para fusariose de espiga foram: L55 X P8, L88 X P1, L70 X L76 e L70 X P8, com supremacia para L55 X P8.

#### **4.6 Análise dialélica média de Griffing (1956) para os ambientes de 1ª safra e 2ª safra em Campos dos Goytacazes**

Com base nos quadrados médios das fontes de variação Genótipos, CGC e CEC, observou-se significância em 1 % de probabilidade para as características PE, RG, NTE, ISF, IFS e IEF. Estes resultados indicam existência de efeitos aditivos e não-aditivos no controle gênico dessas características. Para SFE, houve significância em 1 % de probabilidade para CGC. No entanto, não foi observada significância para as fontes de variação Genótipos, CEC e ER, indicando sê-la controlada por efeitos aditivos. Com relação à característica CE, observou-se significância em 1 % de probabilidade para as fontes de variação Genótipos e CGC, sendo não-significativa para CEC (Tabela 13). Silva (2009), também observou efeitos não significativos de CEC para CE, ratificando o predomínio dos efeitos gênicos aditivos no controle da expressão desta característica.

**Tabela 13.** Estimativas dos quadrados médios de genótipos de milho-pipoca (genitores,  $F_{1s}$  e recíprocos), das capacidades geral e específica de combinação (CGC e CEC), e do resíduo, bem como as médias dos quadrados dos efeitos da capacidade combinatória para oito características avaliadas em dialelo completo nas épocas da 1ª safra – 03/2015– e da 2ª safra – 09/2015. Campos dos Goytacazes, RJ.

FV	Quadrados Médios							
	NTE	PE	RG	CE	ISF	IFS	IEF	SFE
GENÓTIPO	102,04**	5264693,20**	3680620,88**	40,66**	120,33**	112,72**	154,88**	2,11 <sup>ns</sup>
C.G.C.	348,35**	8486362,85**	6664789,74**	338,28**	287,72**	310,88**	756,24**	8,90**
C.E.C.	118,48**	9380925,25**	6363999,77**	3,86 <sup>ns</sup>	154,47**	137,97**	136,19**	1,29 <sup>ns</sup>
ER	24,03 <sup>ns</sup>	343043,74 <sup>ns</sup>	251199,77 <sup>ns</sup>	3,06 <sup>ns</sup>	44,33 <sup>ns</sup>	37,94 <sup>ns</sup>	23,24 <sup>ns</sup>	1,24 <sup>ns</sup>
RESÍDUO	27,09	915944,72	584229,74	5,23	45,50	34,39	49,52	1,82
<b>Médias dos quadrados dos efeitos</b>								
CGC	5,01	118287,78	95008,75	5,20	1,75	4,32	11,04	0,11
CEC	22,84	2116245,13	1444942,50	-0,34	20,44	25,39	21,66	-0,13
ER	-0,38	-71612,62	-41628,74	-0,27	-0,14	0,44	-3,28	-0,07

FV = fontes de variação; NTE = número total de espigas; PE = peso médio de espiga; RG = rendimento de grãos; CE = capacidade de expansão; ISF = percentagem de sementes com fungo; IFS = percentagem de sementes com fusariose; IEF = percentagem de incidência de fusariose; SFE = índice de severidade de fusariose; e ER = efeito recíproco. <sup>ns</sup> = não-significativo em nível de 5 % de probabilidade pelo Teste F; \* = significativo em 5 % de probabilidade pelo Teste F; e \*\* = significativo em nível de 1 % de probabilidade pelo Teste F.

Pelo exposto, pode-se inferir que as características de maior interesse para o melhoramento de milho-pipoca apresentaram variabilidade genética entre os componentes do dialelo, o que torna possível a seleção de híbridos promissores. O efeito recíproco médio foi não significativo para todas as características, revelando que não há diferença significativa entre os híbridos e seus recíprocos e que não se obterão ganhos ao se inverter os genitores nos cruzamentos.

Analisando-se as médias dos quadrados dos efeitos, percebe-se que as estimativas dos componentes quadráticos da CEC foram superiores aos da CGC para as características PE, RG, NTE, ISF, IFS e IEF, o que consolida o observado nas análises individuais da 1ª e 2ª safra, em que o melhoramento por hibridações, com o intuito de aproveitar a heterose é a melhor estratégia para os objetivos deste estudo.

A predominância dos efeitos de dominância para rendimento de grãos e seus componentes, verificada aqui, nessa pesquisa, soma-se aos resultados

consonantes obtidos por Pacheco et al. (1998), Pereira e Amaral Júnior (2001), Andrade et al. (2002), Simon et al. (2004), Freitas Júnior et al. (2006) e Scapim et al. (2006). Já, para as características de resistência a doenças, de forma semelhante, resultados que postulam os efeitos de dominância como predominantes, podem ser aferidos nas pesquisas desenvolvidas por Fronza. (2003) com *Fusarium solani* em soja, Sanches et al. (2011) com *Physopella zea* em milho-pipoca, Nihei et al. (2012) com *E. turcicum*, *P. zea* e *P. polysora* em milho.

A característica CE apresentou estimativa de média dos quadrados dos efeitos da CGC superior à da CEC, estando, pois, em consonância com o propalado por Pacheco et al. (1998), Larish e Brewbaker. (1999), Pereira e Amaral Júnior (2001), Simon et al. (2004) e Scapim et al. (2006), os quais relataram a superioridade dos efeitos genéticos aditivos para CE.

#### **4.6.1. Estimativas dos efeitos médios da capacidade geral de combinação**

As expressões fenotípicas de PE e RG possibilitaram destacar as linhagens L88, L70, L61 e P8, por suas magnitudes médias positivas de  $\hat{g}_i$  (Tabela 14), das quais, L88 e P8 já haviam se sobressaído dentre as melhores na 2ª safra (Tabela 11) e na 1ª safra (Tabela 8). Por sua vez, o genitor P1 exibiu os resultados negativos mais expressivos de CGC em ambas as safras (Tabelas 8 e 11); conseqüentemente, proporcionando os maiores valores negativos de CGC médio (Tabela 14). Conclui-se, pois, que os melhores genitores para proporcionar aumentos no rendimento de grãos e no peso médio de espigas para ambas as épocas de plantio, são L88 e P8, e o pior, P1.

Para CE, L77, L70, L76, L55 e L61 foram às linhagens que detiveram valores positivos de  $\hat{g}_i$ , com ênfase aos genitores L70 e L61, por apresentarem, também, estimativas positivas de  $\hat{g}_i$  para RG e PE, concomitantemente (Tabela 14). Segundo Scapim et al. (2010), de maneira geral, apesar de o rendimento ser o objetivo primordial do melhoramento, a qualidade também é muito importante, e no melhoramento de milho-pipoca, a capacidade de expansão de grãos é tão relevante quanto o rendimento. Logo, genótipos que possuem  $\hat{g}_i$  favorável para ambas as características, são de grande importância para o melhoramento da cultura.



**Tabela 14.** Estimativas dos efeitos da capacidade geral de combinação ( $\hat{g}_i$ ) para oito características avaliadas em oito genitores de milho-pipoca em esquema de dialelo completo com os recíprocos para ambas as épocas de plantio, em Campos dos Goytacazes, RJ. 2015/2016.

Linhagens	Características avaliadas							
	NTE	PE	RG	CE	ISF	IFS	IEF	SFE
L88	1,63	378,31	417,57	-4,54	0,94	1,33	0,92	0,15
L77	2,22	-24,00	24,72	3,19	-1,39	-1,35	0,60	0,10
L55	-0,49	-153,00	-193,77	0,72	0,89	0,69	-3,81	-0,41
L70	1,91	293,41	166,90	1,07	-1,28	-1,49	-3,33	-0,15
L61	-1,45	92,98	59,72	0,49	-2,27	-2,35	-2,43	-0,36
P1	-0,53	-686,95	-547,81	-1,69	1,45	1,35	5,18	0,48
L76	1,42	-258,46	-265,56	1,10	3,78	3,96	4,51	0,52
P8	-4,70	357,32	338,22	-0,34	-2,13	-2,13	-1,64	-0,34

NTE = número total de espigas; PE = peso médio de espiga; RG = rendimento de grãos; CE = capacidade de expansão; ISF = porcentagem de sementes com fungo; IFS = porcentagem de sementes com fusariose; IEF = porcentagem de incidência de fusariose; e SFE = índice de severidade de fusariose.

Na análise da característica NTE, L88, L77, L70, L76 se sobressaíram como os mais promissores; e, de forma idêntica ao que ocorreu na 1ª safra, apresentaram valores positivos das estimativas de  $\hat{g}_i$  (Tabelas 8 e 14). Dentre estas, se destacaram L70 e L77, por apresentarem, também, na 2ª safra, resultados desejáveis para RG e CE (Tabela 11). Segundo Scapim et al. (2002), para programas de melhoramento de milho-pipoca, interessa encontrar populações que reúnam genes favoráveis quanto à produção e capacidade de expansão; logo, os genitores que agreguem essas características, serão os de maior relevância para o melhoramento da cultura.

Para as características de sanidade para fusariose, estimadas a partir do *blotter test* – ISF e IFS – os genitores L77, L70, L61 e P8 se destacaram, expressando valores negativos de  $\hat{g}_i$  em ambas as características, sendo que L70 e L61 também apresentaram resultados favoráveis de  $\hat{g}_i$  para RG, PE e CE. Os genitores L55, L88, L76 e P1 exibiram estimativas positivas para ISF e IFS, sendo, desta forma, desfavoráveis para contribuir com o incremento da sanidade na média das épocas. Dentre estes, acentua-se de forma negativa a linhagem P1, por ainda deter valores de  $\hat{g}_i$  negativos para CE e RG (Tabela 14). Segundo Pinto

et al. (2007), o fungo *Fusarium verticillioides* possibilita a presença de fumonisinas (micotoxinas), que provocam perdas qualitativas por grãos ardidos e são motivos de desvalorização do produto, além de uma ameaça à saúde dos rebanhos e humana. Logo, a identificação de combinações híbridas que apresentem efeitos favoráveis de ISF e IFS associados a valores positivos de  $\hat{g}_i$  para RG e CE são altamente desejáveis.

Para as características de incidência (IEF) e severidade (SFE) de fusariose na espiga, os genitores L55, L70, L61 e P8 foram superiores, por apresentarem valores negativos favoráveis à redução da incidência e severidade. Neste caso, P8, L70 e L61 já haviam se revelado como favoráveis para o incremento na sanidade – ISF e IFS –, o que aumenta a confiabilidade dos genitores indicados como os mais promissores, com base na média das épocas. A linhagem L70 evidenciou-se com primazia, por proporcionar valores favoráveis das estimativas de  $\hat{g}_i$  para todas as características avaliadas. Já, os genitores L76, P1, L77 e L88 expressaram valores desfavoráveis de  $\hat{g}_i$ , com destaque para P1 e L76. Dentre estes, P1, de forma contrastante a L70, apresentou resultados desfavoráveis para todas as características (Tabela 14). Portanto, é possível concluir que há variabilidade nos genótipos estudados e que há genótipos promissores no Banco Ativo de Germoplasma da UENF, quando se preocupa com a resistência genética a *Fusarium* spp.

#### **4.6.2 Estimativas dos efeitos da capacidade específica média de combinação**

Os efeitos de capacidade específica de combinação (CEC) foram significativos em 1 % de probabilidade para as características PE, RG, NT E, ISF, IFS e IEF; porém, não-significativas para CE e SFE (Tabela 15).

Como já mencionado neste estudo, altos valores para  $\hat{\sigma}_{ij}$ , sejam positivos ou negativos, denotam que o comportamento de um híbrido particular é relativamente melhor ou pior do que o esperado com base na CGC dos genitores, ao passo que baixos valores absolutos de  $\hat{\sigma}_{ij}$  demonstram que os híbridos  $F_{1s}$  comportaram-se como o esperado com base na CGC dos genitores (Cruz et al., 2014). E, ainda conforme Cruz (2014), para que um cruzamento seja recomendado, o mesmo precisa evidenciar elevada média fenotípica e de

estimativa de CEC, além do que pelo menos um dos genitores necessita apresentar elevada estimativa de CGC.

**Tabela 15.** Estimativas dos efeitos da capacidade específica de combinação ( $\hat{\sigma}_{ii}$  e  $\hat{\sigma}_{ij}$ ) para oito características avaliadas em dialelo completo entre oito linhagens de milho-pipoca, para as épocas de plantio de 1ª safra – 03/2015 e da 2ª safra – 09/2015. Campos dos Goytacazes, RJ.

$\hat{\sigma}_{ii} \times \hat{\sigma}_{ij}$	nxn	Características avaliadas							
		NTE	PE	RG	CE	ISF	IFS	IEF	SFE
L88	1 1	-10,50	-2713,92	-2415,38	0,33	8,16	7,79	17,58	0,63
L88 X L77	1 2	0,47	169,28	117,09	0,13	-0,77	-1,29	-0,44	0,33
L88 X L55	1 3	4,44	452,59	393,69	-0,88	2,56	3,10	-0,30	-0,00
L88 X L70	1 4	2,09	782,62	783,29	0,72	-0,36	-0,37	-0,72	0,30
L88 X L61	1 5	2,33	517,15	499,59	-0,23	-1,42	-1,14	-3,71	-0,40
L88 X P1	1 6	0,79	174,76	105,07	0,31	-3,85	-3,35	-7,62	-0,24
L88 X L76	1 7	1,40	723,52	550,80	-0,15	-5,00	-5,16	-6,57	-0,83
L88 X P8	1 8	-1,04	-106,03	-34,17	-0,22	0,69	0,43	1,80	0,20
L77	2 2	0,95	-1779,55	-1296,63	-0,37	4,68	5,01	1,63	0,34
L77 X L55	2 3	0,07	641,05	520,99	-1,91	-2,95	-2,63	-1,42	0,00
L77 X L70	2 4	-0,58	397,43	294,41	-0,08	0,35	-0,06	-2,15	-0,64
L77 X L61	2 5	2,76	636,26	445,31	0,28	0,81	1,21	-0,93	0,10
L77 X P1	2 6	-1,30	-237,27	-264,57	-0,91	0,73	-0,41	4,42	0,18
L77 X L76	2 7	-1,63	66,70	111,07	-0,37	-3,76	-3,08	-0,22	-0,13
L77 X P8	2 8	-0,73	106,07	72,32	0,49	0,90	1,27	-0,87	-0,19
L55	3 3	-15,14	-3103,74	-2444,33	0,77	0,25	1,56	-0,19	-1,24
L55 X L70	3 4	0,71	-905,28	-720,48	0,08	0,51	-1,44	2,25	0,09
L55 X L61	3 5	-1,08	676,87	547,56	0,48	0,54	-0,30	1,37	0,43
L55 X P1	3 6	6,16	699,70	488,67	-0,96	0,37	1,33	-0,81	0,52
L55 X L76	3 7	3,91	773,29	586,87	-0,04	1,66	0,47	-1,78	0,27
L55 X P8	3 8	0,91	765,50	627,02	0,07	-2,95	-2,10	0,89	-0,08
L70	4 4	-3,41	-2386,87	-1949,09	-0,03	5,11	5,95	3,90	0,62
L70 X L61	4 5	2,97	1025,95	748,48	0,09	0,72	1,48	2,55	0,02
L70 X P1	4 6	-1,19	448,56	361,77	0,89	-1,32	-1,40	-4,26	-0,34
L70 X L76	4 7	0,85	287,94	240,19	0,92	-3,43	-2,76	-1,76	0,13
L70 X P8	4 8	-1,44	349,61	241,41	-0,42	-1,58	-1,38	0,19	-0,19
L61	5 5	-7,87	-3054,91	-2496,54	0,31	6,38	5,16	4,69	-0,04
L61 X P1	5 6	1,67	-127,62	-98,57	-0,47	-2,46	-1,96	-2,79	-0,05

Tabela 15. Cont.

$\hat{\sigma}_{ii} \times \hat{\sigma}_{ij}$	nxn	Características avaliadas							
		NTE	PE	RG	CE	ISF	IFS	IEF	SFE
L61 X L76	5 7	-1,57	-255,19	-161,75	0,86	-4,41	-4,10	0,23	0,22
L61 X P8	5 8	0,79	581,49	515,91	-0,46	-0,16	-0,35	-1,41	-0,28
P1	6 6	-6,56	-1669,74	-1209,01	0,04	7,38	6,00	6,51	0,17
P1 X L76	6 7	3,82	190,54	172,68	-0,35	-1,32	-0,73	7,34	0,06
P1 X P8	6 8	-3,39	521,05	443,95	0,10	0,47	0,54	-2,78	-0,29
L76	7 7	-7,67	-2187,22	-1925,06	-0,24	21,87	20,92	4,66	0,44
L76 X P8	7 8	0,89	400,41	425,15	-0,12	-5,59	-5,54	-1,88	-0,16
P8	8 8	4,02	-2618,14	-2291,62	-0,03	8,22	7,13	4,07	1,02

NTE = número total de espigas; PE = peso médio de espiga; RG = rendimento de grãos; CE = capacidade de expansão; ISF = percentagem de sementes com fungo; IFS = percentagem de sementes com fusariose; IEF = percentagem de incidência de fusariose; e SFE = índice de severidade de fusariose

Para as características PE e RG, pode-se destacar os híbridos L88 X L70, L70 X L61, L55 X P8, L88 X L76, L55 X L61, L61 X P8, L88 X L61, L77 X L61, P1 X P8 e L76 X P8, por proporcionarem os valores positivos mais expressivos de  $\hat{\sigma}_{ij}$ , e por advirem de ao menos um genitor com  $\hat{\sigma}_i$  favorável para RG e PE. Seguindo-se os mesmos critérios, para a característica NTE, os melhores resultados de  $\hat{\sigma}_{ij}$  foram proporcionados pelas combinações L88 X L55, L55 X L76, P1 X L76, L70 X L61, L77 X L61, L88 X L61, L88 X L76 e L88 X L70, sendo que as cinco últimas também foram as melhores para RG e PE (Tabela 15).

Analisando-se as características mensuradas a partir do *blotter test* (ISF e IFS), verifica-se que as combinações L76 X P8, L61 X L76, L77 X L76, L55 X P8, L77 X L55, L61 X P1, L88 X L61, L70 X P1, L70 X L76, L70 X P8 e L88 X L77 foram as que empreenderam os resultados favoráveis para ambas às características. Destes híbridos, apenas L61 X L76 e L61 X P1 não expressaram resultados favoráveis de CEC, assim como, de RG (Tabela 15). Não por acaso, há que se concluir que híbridos com maior sanidade de espiga tendem a ser mais produtivos.

A característica IEF proporcionou dez pares com valores negativos relevantes para  $\hat{\sigma}_{ij}$ , com ao menos um genitor contendo valores favoráveis de  $\hat{\sigma}_i$ , quais sejam: L70 X P1, L61 X P1, P1 X P8, L77 X L70, L76 X P8, L55 X L76, L70 X L76, L77 X L55, L61 X P8 e L88 X L61. Destes, L76 X P8, L88 X L61, L70 X P1, L61 X P1, L70 X L76 e L77 X L55, também foram classificados dentre os

melhores para as características ISF e IFS (Tabela 15). Estes últimos são, pois, os mais indicados para o melhoramento do milho-pipoca, no intento de explorar os efeitos de dominância para aumentos na resistência à fusariose de espiga.

Em síntese, para a média das épocas, as combinações híbridas que proporcionaram os melhores resultados para RG e para as características de sanidade à fusariose de espiga, foram: L88 X L76, L77 X L55, L88 X L61, L76 X P8, L70 X P1, L70 X L76, L88 X P1, L88 X L70, L55 x P8 e L88 X L77. Dentre estas, o genitor L88 apresentou resultados favoráveis de  $\hat{g}_i$  para RG; no entanto, conteve os valores negativos mais expressivos para a característica CE. A correlação negativa entre RG e CE tem sido verificada por diversos autores (Brunson, 1937; Lima et al., 1971; Zinsly e Machado, 1987; Merlo et al., 1988; Dofing et al., 1991; Andrade, 1995; Daros, 2004 e Cabral, 2013). Há que se destacar que, em milho-pipoca os caracteres capacidade de expansão e rendimento de grãos são de relevante interesse para o melhoramento do milho-pipoca, por atenderem as necessidades do consumidor e do produtor. Portanto, deve-se optar por combinações híbridas que proporcionem ganhos em RG, na sanidade para fusariose, mas também, com expressivos efeitos aditivos para CE. Respeitando-se estes pressupostos, as melhores combinações híbridas para os ambientes de 1ª e 2ª safra em Campos dos Goytacazes, podem ser resumidas pelos pares: L55 X P8, L77 X L55, L61 X P8, L76 X P8, L70 X P1, L70 X P8 e L70 X L76, o que é um *quantum* considerável de opções para serem utilizadas diretamente pelos produtores, ou, então, para originar híbridos triplos – que, talvez seja a alternativa mais viável, considerando-se a incipiência da qualidade dos produtores do Norte Fluminense –; ou, por fim, gerar segregantes superiores em gerações avançadas.

## 5. CONCLUSÕES

As conclusões possíveis com a pesquisa foram:

1. Os efeitos gênicos não-aditivos foram mais importantes na expressão da resistência à fusariose de espiga e de rendimento de grãos, ao passo que os aditivos, foram preponderantes para capacidade de expansão.
2. Os pares L70 X P1, L70 x P8, L76 x P8, P8 x L70, P8 x L61 e L61 x P8 foram superiores, podendo ser avaliados como opções de cultivo.
3. Os híbridos com maior resistência genética à fusariose de espiga tenderam a expressar maior capacidade de expansão e rendimento de grãos.
4. O índice de severidade de fusariose – SFE – não foi notório para distinguir genótipos resistentes e suscetíveis. Desta forma verifica-se a necessidade de aprimoramento da escala diagramática para a fidedigna estimação do índice de severidade de fusariose – SFE.
5. O índice de sementes infectadas por fungos (ISF), índice de fusariose nas sementes (IFS) e a avaliação de incidência de fusariose na espiga (IEF) foram efetivos para distinguir genótipos quanto à resistência à fusariose de espiga.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrodebate. (2015) *Portal G1*. Disponível em <http://g1.globo.com/mato-grosso/agrodebate/noticia/2015/06/area-de-milho-pipoca> acesso em 02/11/2015.
- Agrolink. (2015) *O portal do conteúdo Agropecuário* Disponível em: <[http://www.agrolink.com.br/culturas/milho/fusariose\\_1734.html](http://www.agrolink.com.br/culturas/milho/fusariose_1734.html) >. Acesso em: 20/10/2015.
- Alexander, D. E.; Creech, R. G. (1977) Breeding special industrial and nutritional types. In: Sprague, G. F.; Fuccillo, D. A. *Corn and corn improvement*. 3. ed, Madison: American Society of Agronomy, p. 363- 386.
- Amaral Junior, A. T., Gonçalves, L. S. A., Freitas Júnior, S. P., Candido, L. S., Vittorazzi, C., Pena, G. F., Ribeiro, R. M., Silva, T. R. C., Pereira, M. G., Scapim, C. A., Viana, A. P., Carvalho, G. F. (2013) UENF 14: a new popcorn cultivar. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*. Viçosa, 13:218.
- Andrade, R. A. D.E, C. D., Scapim, C. A., Silvério, L., Pinto, R. J. B., Tonet, A. (2002) Análise dialéctica da capacidade combinatória de variedades de milho-pipoca. *Acta Scientiarum.Agronomy*, Maringá, 24:1197-1204.

- Andrade, R.A. (1995) *Cruzamentos dialélicos entre seis variedades de milho-pipoca*. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, 79 p.
- Arnhold, E. (2008) Seleção para resistência a doenças foliares em famílias S1 de milho-pipoca. *Revista Ceres*, Universidade Federal de Viçosa - Viçosa, 55(2):89-93.
- Bacon, C. W., Nelson, P. E. (1994) Fumonisin production in corn by toxigenic strains of *Fusarium moniliforme* and *Fusarium proliferatum*. *Journal of Food Protection*, 57(6):514-521.
- Barreto, R. R., Scapim, C. A., Amaral Júnior, A. T. do, Rodovalho, M. A., Vieira, R. A., Schuelter, A. R. (2012) Avaliação da capacidade de combinação de famílias S2 de milho-pipoca por meio de diferentes testadores. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, 33(3):873-890.
- Bennetzen, J., Buckler, E., Chandler, V., Doebley, J., Dorweiler, J. (2001) Genetic evidence and the origin of maize. *Latin American Antiques*, 12:84-86.
- Bento, L., F., Caneppele, M., Albuquerque, M., Kobayashi, L.; Caneppele, C., Andrade, P. (2012) Ocorrência de Fungos e Aflatoxinas em Grãos de Milho. *Revista Instituto Adolfo Lutz*, 71(1):44-9.
- Bespalhok, F.J.C.; Guerra, E.P.; Oliveira, R. (2015) Melhoramento para resistência a doenças. In: Bespilhok F., J.C.; Guerra, E.P.; Oliveira, R. *Melhoramento de Plantas*. Disponível em <[www.bespa.agrarias.ufpr.br](http://www.bespa.agrarias.ufpr.br)> acesso em: 20/11/2015.
- Brunson, A.M. (1937) Popcorn breeding. *Yearbook Agricultural*, 1:395-404.
- Bueno, L.C.S., Mendes, A.N.G., Carvalho, S.P. (2001) *Melhoramento de Plantas*. Lavras: UFLA,. 201p.



- Cabral, P.D.S. (2013) *Análise dialélica em milho-pipoca: capacidade combinatória, análise de trilha e efeito gênico*. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes- RJ, 93 p.
- Carpentieri-Pípolo, V., Takahashi, H.W., Endo, R.M., Petek, M.R.; Seifert, A. (2002) Correlações entre caracteres quantitativos em milho pipoca. *Horticultura Brasileira*, 20(4):551-554.
- Carvalho, C., Vencato, A.Z., Kist, B.B., Santos, C., Reets, E.R., Poll, H., Beling, R.R. (2013) Anuário brasileiro do milho 2013. *Editora Gazeta Santa Cruz*, Santa Cruz do Sul, 1:128.
- Casa, R.T., Moreira, E.N.M., Bogo, A., Sangoi, L. (2007) Incidência de podridões do colmo, grãos ardidos e rendimento de grãos em híbridos de milho submetidos ao aumento da densidade de plantas. *Summa Phytopathologica*, 33:353-357.
- Casa, R, T., Reis, E.M., Junior, P.R.K., Hoffmann L.L. (2010) *Doenças do milho: guia de campo para identificação e controle*. Lages: Graphel, 82p.
- Chungu, C., Mather, D.E., Reid, L.M., Hamilton, R.I. (1996) Comparison of techniques for inoculating maize silk, kernel, and cob tissues with *Fusarium graminearum*. *Plant Disease*, 80:81-84.
- CIMMYT, International Maize and Wheat Improvement Center. (1985) *International Progeny Testing Trials - Repository*. Versão Eletrônica – 1. ed. Disponível em: <<http://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/697/13201.pdf>> Acesso em: 03/10/2015.
- Costa, R. V.; Casela, C. R.; Cota, V. L.(2005) *Podridões do colmo e das raízes*. Disponível em:<[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CO NTAG01\\_64\\_16820051120.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CO NTAG01_64_16820051120.html)>. Acesso em: 15/10/2015.

- Cruz, C. D.; Regazzi, A. J.; Carneiro, P. C. S. (2014) *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 3. ed, Viçosa: UFV, 514p.
- Cruz, C.D. GENES. (2013) A software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum Agronomy*, 35:271-276.
- Dalbello, O., Previero, C. A., Alves, D. G.; Biagi, J. D. (1995) Capacidade de expansão do milho pipoca (*Zeamays L.*) em função de parâmetros de secagem, umidade e armazenamento do produto. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Anais*. Viçosa - MG. Universidade Federal de Viçosa. 415 p.
- Daros, M., Amaral Júnior, A.T., Pereira, M.G., Santos, F.S., Scapim, C.A., Freitas Júnior, S.P; Daher, R.F., Ávila, M.R. (2004) Correlações entre caracteres agrônômicos em dois ciclos de seleção recorrente em milho pipoca. *Ciência Rural*, Santa Maria-RS, 34(5):1389-1394.
- Dofing, S.M., D`Croz-Mason, N., Thomas-Compton, M.A. (1991) Inheritance of expansion volume and yield in two popcorn x dent corn crosses. *Crop Science*, Madison, 31:715–718.
- Doko, M. B., Rapior, S., Visconti, A., Schojoth, J. E. (1995) Incidence and levels of fumonisin contamination in maize genotypes grown in Europe and Africa. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Easton, 43:429- 434.
- Embrapa Milho e Sorgo. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2006) *Doenças na Cultura do Milho*. Versão Eletrônica – 1. ed. Disponível em: <[http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2006/circular/Circ\\_83.pdf](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2006/circular/Circ_83.pdf)> Acesso em: 03/10/2015.
- Embrapa Milho e Sorgo. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2010) *Sistema de Produção*. Versão Eletrônica – 6. ed.. Disponível em:<[http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho\\_6\\_ed/index.htm](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/index.htm)>. Acesso em: 20/10/2015.

- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2012) *Sistemas de produção - Cultivo de milho*, Disponível em: <[http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho\\_7\\_ed/index.htm](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_7_ed/index.htm)>. Acesso em: 20/10/2015.
- Engelsing, M. J., Rozzetto, D. S., Coimbra, J. L. M., Zanin, C. G., Guidolin, A. F. (2011) Capacidade de combinação em milho para resistência a *Cercospora zea-maydis*. *Ciência. Agrônômica*, 42(1):232-241.
- Ferreira, P., Queiroz, A. V, Conceição, R., Miguel, R. (2013) Incidência de aflatoxinas e fumosinas em produtos de milho consumidos no estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 12(1):54-60.
- Figueira, E.L.Z., Coelho, A.R., Ono, E.Y.S., Hirooka, E.Y. (2003) Milho: riscos associados à contaminação por *Fusarium verticillioides* e fumonisinas. *Semina: Ciências Agrárias*, 24(2):359-378.
- Freitas Junior, S.P, Amaral Júnior, A.T., Pereira, M.G., Cruz, C.D., Scapim, C.A. (2006) Capacidade combinatória em milho pipoca por meio de dialelo circulante. Brasília, DF, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41:1599-1607.
- Fronza, V. (2003) *Genética da reação de soja à Fusarium solani f. sp. glycines*. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento), Piracicaba SP. ESALQ, Universidade de São Paulo, 166p.
- Galinat, W. C. (1977) The origin of corn. In: Sprague, G.F. *Corn and corn improvement*. 1. ed, New York: Academic Press, p.1-48.
- Galvão, J.C.C., Sawazaki E., Miranda, G.V. (2000) Comportamento de híbridos de milho pipoca em Coimbra, Minas Gerais. *Revista Ceres*, Viçosa, 270:201-218.
- Goodman, M.M., Smith, J.S.C. (1987) Botânica In: Paterniani, E., Viegas, G. P. *Melhoramento e produção de milho*. Campinas: Fundação Cargil, cap.1, 41-78p,.

- Goulart, A.C.P. (1998) *Tratamento de sementes de soja com fungicidas: recomendações técnicas*. Dourados: Embrapa-cpao, 32p.
- Griffing, B. (1956) Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. *Australian Journal of Biological Science*, 9:463-493.
- Groves, F. D., Zhang, L., Chang, Y. S., Ross, P. F., Casper, H., Norred, W. P., You, W. C., Fraumeni, J. F. (1999) Fusarium mycotoxins in corn and corn products in a high-risk area for gastric cancer in Shandong Province, China. *Journal of AOAC International*, Arlington, 82(3):657-662.
- Grupo de Coordenação de Estatísticas Agropecuárias - GCEA/IBGE, (2013) *Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Levantamento Sistemático da Produção Agrícola*. Disponível em: <[http://ftp.ibge.gov.br/Producao\\_Agricola/Levantamento\\_Sistemático\\_da\\_Producao\\_Agricola\\_%5Bmensal%5D/Fasciculo/lspa\\_201301.pdf](http://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistemático_da_Producao_Agricola_%5Bmensal%5D/Fasciculo/lspa_201301.pdf)>. Acesso em 20/12/2015.
- Hallauer, A.R, Miranda Filho, J.B, Carena, M.J. (2010) *Quantitative genetics in maize breeding*. 3. ed, New York : Springer, 663p.
- Hirooka, E. Y., Yamaguchi, M.M., Aoyama, S., Sugiura, Y., Ueno, Y. (1996) The natural occurrence of fumonisin in Brazilian corn kernels. *Food Additives and Contaminants*, 13(2):173-183.
- Hung, H. Y., Holland, J. B. (2012) Diallel analysis of resistance to fusarium ear rot and fumonisin contamination in maize. *Crop Science*, Madison, 52(5):2173-2181.
- Kimati, H.; Bergamin filho, A., Amorim, L. (2005) *Manual de Fitopatologia*. 3ed. São Paulo: Agronômica Ceres, p.709.
- Kurosawa, R.N.F. (2015) *Fontes de resistência a doenças foliares, podridões de espiga e divergência genética entre genótipos de milho pipoca*. Dissertação

(Mestrado em Genética e Melhoramento)- Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes- RJ, 117p.

Lasca C.C., Vechiato, M.H., Fantin, G.M., Kohara, E.Y. (2005) Efeito do Tratamento químico de sementes de milho sobre a emergência e a produção. *Arquivos do Instituto Biológico*, São Paulo, 72(4):461-468.

Larish, L.L.B., Brewbaker, J.L. (1999) Diallel analyses of temperate and tropical popcorns. *Maydica*, Bergamo, 44:279-284.

Leonello, L.A.F., Cazetta, D.A., Fornasieri Filho, D.F. (2009) Características agrônomicas e qualidade comercial de cultivares de milho pipoca em alta população. *Acta Scientiarum Agronomy*, 31:215-220.

Lima, M., Zinsly, J.R., Vencovsky, R., Melo, M.R. (1971) Resultados parciais de um programa de melhoramento de milho (*Zea mays* L.) visando ao aumento da produtividade, caracteres agrônomicos e capacidade de expansão. In: *Relatório científico do departamento e instituto de genética*. Piracicaba: ESALQ, 5:84-93.

Lira, M. A. (1983) *Seleção entre e dentro de famílias de meios-irmãos para produção e capacidade de expansão e correlações entre alguns caracteres em milho pipoca (Zea mays L.)*. Tese (Mestrado em Fitotecnia) - Lavras - MG, Escola Superior de Agricultura de Lavras, 62p.

Lopes, S.J., Dal'coL, A.L., Storck, L., Damo, H.P., Brum, B., Santos, V.J. (2007) Relações de causa e efeito em espigas de milho relacionadas aos tipos de híbridos. *Ciência Rural*. Santa Maria, 37(6):1536-1542.

Maiorano, A., Blandino, M, Reyneri, A., Vasara, F. (2008) Effects of maize residues on the *Fusarium* spp. infection and deoxynivalenol (DON) contamination of wheat grain. *Crop Protection*. 27:182-188.

- Matta, F. P., Viana, J. M. S. (2001) Testes de capacidade de expansão em programas de melhoramento de milho pipoca. *Scientia Agricola*, 58(4):845-851.
- Mendes, M.C., Pinho, R.G.V., Pinho, E.V.R.V., Faria, M.V. (2012) Comportamento de híbridos de milho inoculados com os fungos causadores do complexo grãos ardidos e associação com parâmetros químicos e bioquímicos. *Ambiência – Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais*, 8:275-292.
- Merlo, E., Fornasieri filho, D., Lam-sánchez, A. (1988) Avaliação de sete cultivares de milho pipoca (*Zea mays*, L.) em três densidades de semeadura. *Científica*, Jaboticabal, 16(2):245–251.
- Michereff, S. J. (2001) *Fundamentos de Fitopatologia*. 1. ed, Recife: UFRPE, 133p.
- Miller, J. D., Savard, M. E., Schaafsma, A. W., Seifeirt, K. A., Reid, L. M. (1995) Mycotoxin production by *Fusarium moniliforme* and *Fusarium proliferatum* from Ontario and occurrence of fumonisin in the 1993 corn crop. *Canadian Journal of Plant Pathology*, Ottawa, 17:233-239.
- Miranda, G. V., Souza, L. V., Galvão, J. C. C., Guimarães, L. J. M., Melo, A. V., Santos, I. C. (2008) Genetic variability and heterotic groups of Brazilian popcorn populations. *Euphytica*, 162(3):431-440.
- Moterle, L. M., Braccini, A. L., Scapim, C. A., Pinto, R. J. B., Gonçalves, L. S. A., Rodrigues, R., Amaral Júnior, A. T. (2012) Combining ability of popcorn lines for seed quality and agronomic traits. *Euphytica*, 185(3):337-347.
- Munhoz, A.T., Carvalho, R.V., Querales, P.J., Gonçalves, F.P., Camargo, L.E.A. (2015) Relação entre resistência de linhagens tropicais de milho à podridão de espiga e ao acúmulo de fumonisinas provocados por *Fusarium verticillioides*. *Summa Phytopathologica*, 41(2):44-148.

- Munkvold, G.P., Carlton, W.M. (1997) Influence of inoculation method on systemic *Fusarium moniliforme* infection of maize plants grown from infected seeds. *Plant Disease*, 81:211-216.
- Neergaard, P. (1979) *Seed pathology*. 1. ed, London: The Macmillan, 839p.
- Newman, K. (2000) The biochemistry behind esterified glucomannans – titrating mycotoxins out of the diet. In: *Biotechnology in the feed Industry*, Proceedings of Alltech's 16<sup>th</sup> Annual Symposium, p.369-382.
- Nihei, T. H., Ferreira, J. M. (2012) Análise dialéctica de linhagens de milho com ênfase na resistência a doenças foliares. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 47(3):369-377.
- Ono, E. Y. S., Sugiura, Y., Homechin, M., Kamogae, M., Vizzone, E., Ueno, Y., Hirooka, E. Y. (1999) Effect of climatic conditions on natural mycoflora and fumonisins in freshly harvested corn of the State of Paraná, Brazil. *Mycopathologia*, Den Haag, 147:139-148.
- Orsi, R.B., Corrêa, B., Pozzi, C.R. (2000) Mycoflora and occurrence of fumonisins in freshly harvested and stored hybrid maize. *Journal of Stored Products Research*, 36:75-87.
- Oz, A., Kapar, H. (2011) Determination of grain yield, some yield and quality traits of promising hybrid popcorn genotypes. *Turkish Journal of Field Crops*, 16: 233-238.
- Pacheco, C.A.P., Gama, E.P., Guimarães, P.E.O., Santos, M.X., Ferreira, A.S. (1998) Estimativas de parâmetros genéticos nas populações CMS-42 e CMS-43 de milho pipoca. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 33:1995-2001.
- Pereira, M, G., Amaral Júnior, A.T. (2001) Estimation of Genetic Components in Popcorn Based on the Nested Design. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, Londrina - PR - Brasil, 1(1): 3-10.

- Pimentel-Gomes, F. (1985) *Curso de estatística experimental*. 11. ed. Piracicaba: Nobel, 466p.
- Piñeiro, M. S., Silva, G. E., Scott, P. M., Lawrence, G. A., Stack, M. E. (1997) Fumonisin levels in Uruguayan corn products. *Journal of AOAC International*, Arlington, 80(4): 825-828.
- Pinto, R.J.B., Kvitschal, M.V., Scapim, C.A., Fracaro, M., Bignotto, L.S., Souza Neto, I.L D.E. (2007) Análise dialélica parcial de linhagens de milho-pipoca. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 6(3):325-337.
- Pinto, N.F.J.A. (2007b) *Reação de cultivares com relação à produção de grãos ardidos em milho*. Comunicado técnico 144, Sete Lagoas – MG: Embrapa, 4p.
- Quintal, S.S.R., Viana, A.P., Gonçalves L.S.A., Pereira, M.G., Amaral Júnior, A.T. (2012) Divergência genética entre acessos de mamoeiro por meio de variáveis morfoagronômicas. *Ciências Agrárias*, 33: 131-142.
- Ramalho, M.A.P.; Santos, J.B.; Zimmermann, M.J. O. (1993) *Genética Quantitativa em Plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro*. 1. ed, Goiânia: UFG, 271p.
- Rangel, R.M., Amaral Júnior, A.T., Scapim, C.A., Freitas Júnior, S.P., Pereira, M.G., (2008) Genetics and parameters in parents and hybrids of circulant diallel in popcorn. *Genetics and Molecular Research*, Ribeirão Preto, 7(4):1020-1030.
- Reis E.M., Casa, T., Bresolin, A. R. (2004) *Manual de diagnose e controle de doenças do milho*. 1. ed, Passo Fundo: PLD, 141p.
- Rinaldi, D. A., Pípolo, V. C., Gerage, A. C., Ruas, C. F., Fonseca Júnior, N. S., Souza, A. de, Souza, S. G. H. DE, Garbuglio, D. D. (2007) Correlação entre heterose e divergência genética estimadas por cruzamentos dialélicos e



marcadores moleculares RAPD em populações de milho-pipoca. *Bragantia*, Campinas, 66:183-192.

Sanches, E. R., Scapim, A. C., Tessmann, J. D., Vieira, A. R. (2011) Análise genética da resistência à ferrugem tropical em linhagens de milho-pipoca. *Ciência Rural*, Santa Maria, 41(6): 967-971.

Sangoi, L., Almeida, M. L., Silva, P.R.F. da., Argenta, G. (2002) Bases morfofisiológicas para maior tolerância dos híbridos modernos de milho a altas densidades de plantas. *Bragantia*, Campinas, 61:101-110.

Santos, P. G., Juliatti, F. C., Buiatti, A. L. (2002) Avaliação do desempenho agrônômico de híbridos de milho em Uberlândia, MG. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, 37(5):597-602.

Sawazaki, E. (2001) A cultura do milho pipoca no Brasil. *O Agrônomo*, 1:11-13.

Scapim, C.A., Pacheco, C.A.P., Tonet, A., Braccini, A.L., Pinto, R.J.B. (2002) Análise dialélica e heterose de populações de milho-pipoca. *Bragantia*, 61:219-230.

Scapim, C.A., Braccini, A.L., Pinto, R.J.B., Amaral Júnior, A.T., Rodovalho, M.A., Silva, R.M. da., Moterle, L.M. (2006) Componentes genéticos de medidas e depressão por endogamia em populações de milho-pipoca. *Ciência Rural*, 36:36-41.

Scapim, C. A., Amaral Júnior, A. T. do., Vieira, R. A., Moterle, L. M., Texeira, L. R., Viganó, J., Sandoval Júnior, G. B. (2010) Novos compostos de milho-pipoca para o Brasil. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, 31:321-330.

Schuelter, A.R., Souza, I.R.P., Tavares, F.F., Santos, M.X., Oliveira, E., Guimarães, C.T. (2003) Genetic control of maize resistance to *phaeophæria* leaf spot. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 02:80-86.

- Scott, A. J.; Knott, M. (1974) A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics*, Washington, 30(3):507-512.
- Shephard, G.S., Marasas, W.F.O., Leggott, N.L., Yasdanpanah, H., Rahimian, H., Safavi, N. (2000) Natural occurrence of fumonisins in corn from Iran. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Easton, 48:1860-1864.
- Simom, G. A., Scapim, C. A., Pacheco, C. A. P., Pinto, R. J. B., Braccini, A. L., Tonet, A. (2004). Depressão por endogamia em populações de milho pipoca. *Bragantia*, 63(1):55-62.
- Silva, V. Q. R. da. (2009). *Melhoramento de milho pipoca: capacidade combinatória de linhagens, parametrização heterótica e herança de características agronômicas*. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF) – Campos dos Goytacazes – RJ, 220p.
- Silva, H.P., Barbosa, M.P.M., Nass, L.L., Camargo, L.E.A. (2001) Capacidade de combinação e heterose para resistência a *Puccinia polysora* Underw. em milho. *Scientia Agricola*, 58:777-783.
- Silva, V.Q.R. DA, Amaral Júnior, A.T. DO, Gonçalves, L.S.A., Freitas Júnior, S.P., Candido, L.S., Vittorazzi, C., Moterle, L.M., Vieira, R.A., Scapim, C.A. (2010) Combining ability of tropical and temperate inbred lines of popcorn. *Genetics and Molecular Research*, 9:1742-1750.
- Silva, W. J., Vidal, B. C., Pereira, A. C., Zerbeto, M., Vargas, H. (1993) What makes popcorn pop? *Nature*, 362:417.
- Stefanello, J., Bachi, L. M. A., Gavassoni, W. L., Hirata, L. M., Pontim, B. C. A. (2012) Incidência de fungos em grãos de milho em função de diferentes épocas de aplicação foliar de fungicida. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, 42(4):476-481.

- Stumpf, R. (2011) *Prevalência, perfil toxigênico e virulência de espécies de Fusarium associados aos grãos de milho no estado do Rio Grande do Sul*. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 132p.
- Trento, S.M., Irgang, H.H., Reis, E.M. (2002) Efeito da rotação de culturas, da monocultura e da densidade de plantas na incidência de grãos ardidos em milho. *Fitopatologia Brasileira*, 27: 609-613.
- Tseng, T. C., Liu, C. Y. (1999) Natural occurrence of fumonisins B1 and B2 in domestic maize of Taiwan. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Easton, 47:4799- 4801.
- Urban, A. F. (2009) *Curso de Taxonomia de Fusarium*, 1. ed, Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1folder.
- USDA, United States Department of Agriculture. (2012) *World Agricultural Supply and Demand Estimates*. WASDE. Disponível em: <<http://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.pdf>> acesso em: 14/12/2015.
- Vanderplank, J.E. (1963) *Plant Diseases: Epidemics and Control*. 1. ed ,New York : Academic Press, 349p.
- Vencovsky, R. (1987) Herança quantitativa. In: Paterniani, E., Viégas, G.P. *Melhoramento e produção do milho*. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill, p.137-214.
- Viana, M. S., Matta, F.P. (2003) Analysis of general and specific combining abilities of popcorn populations, including selfed parents. *Genetics and Molecular Biology*, 26:465-471.

- Vieira, R.A., Rodovalho, M.A., Scapim, C.A., Tessmann, D.J., Amaral Junior, A.T. do, Bignotto, L.S. (2009) Agronomic performance of new popcorn hybrids in Northwestern Paraná State, Brazil. *Acta Scientiarum, Agronomy*, 31:29-36.
- Vieira, R.A., Scapim, C.A., Tessmann, D.J., Hata, F.T. (2011) Diallel analysis of yield, popping expansion, and southern rust resistance in popcorn lines. *Revista Ciência Agronômica*, 42(3):774-780.
- Vilarinho A. A., Viana J. M. S., Santos J., Câmara T. M. M. (2003) Eficiência da seleção de progênies S1 e S2 de milho-pipoca, visando à produção de linhagens. *Bragantia*, 62:9-17.
- Ziegler, K.E., Ashman, B. (1994) Popcorn. In: Hallauer, A. *Specialty corns*. 7. ed, Iowa: CRC Press, p.189-223.
- Zinsly, J.R., Machado, J.A. (1987) Milho-pipoca. In: Paterniani, E., Viégas, G. P. *Melhoramento e Produção do Milho*. 2. ed. Campinas: Fundação Cargill. p. 413-421.
- Zipcodezoo (2010) *Online natural history encyclopedia*. Disponível em:<<http://www.zipcodezoo.com>>. Acesso em: 10/10/2015.