

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO**

WALTER FERNANDES MEIRELLES

Análise dialéctica de linhagens de milho em diferentes níveis de fósforo

MARINGÁ
PARANÁ-BRASIL
DEZEMBRO – 2013

WALTER FERNANDES MEIRELLES

Análise dialéctica de linhagens de milho em diferentes níveis de fósforo

Tese apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de Doutor.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Scapim.

MARINGÁ
PARANÁ – BRASIL
DEZEMBRO - 2013

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

M514a Meirelles, Walter Fernandes
Análise dialélica de linhagens de milho em diferentes níveis de fósforo / Walter Fernandes Meirelles. -- Maringá, 2013.
95 f. : il. color., figs. quadros

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Scapim.
Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, 2013.

1. Milho (*Zea mays* L.) - Análise dialélica. 2. Milho (*Zea mays* L.) - Capacidade geral de combinação. 3. Milho (*Zea mays* L.) - Capacidade específica de combinação. 4. Solução nutritiva. 5. Eficiência a fósforo. I. Scapim, Carlos Alberto, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento. III. Título.

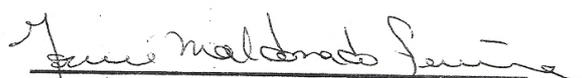
CDD 21.ed. 633.15
MN-002045

WALTER FERNANDES MEIRELLES

Análise dialéctica de linhagens de milho em diferentes níveis de
fósforo

Tese apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, na área de concentração em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de Doutor.

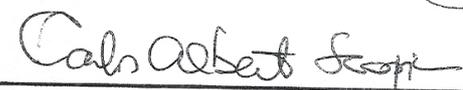
APROVADA em 18 de dezembro de 2013.


Prof. Dr. Josué Maldonado Ferreira


Prof. Dr. Ronald José Barth Pinto


Prof. Dr. Carlos Alberto de Bastos Andrade


Dr. Lauro José Moreira Guimarães


Prof. Dr. Carlos Alberto Scapim
(Orientador)

Perguntaram a um filósofo o quanto ele sabia e ele respondeu: o que tenho de conhecimento cabe num livro do tamanho de uma casa e o que não conheço caberia num livro do tamanho do Universo.

Os pesquisadores nem sempre conseguem explicar tudo, mas têm a obrigação de buscar a Verdade.

Aos meus pais, Joaquim e Antônia, e a meu irmão, Wolney (*in memoriam*).

Aos meus irmãos, Wanda, Vânia, “Quinca”, Jaime e Jacqueline.

À minha esposa, Luzia, e aos meus filhos, Vinícius e Bruno.

Com carinho, dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Grande Arquiteto do Universo: Deus.

À Universidade Estadual de Maringá (UEM) e ao Programa de Pós Graduação em Genética e Melhoramento (PGM), pela oportunidade de realização do doutorado.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), pela oportunidade de treinamento e auxílio financeiro.

Ao professor doutor Carlos Alberto Scapim, pela confiança, orientação, apoio e ensinamentos.

À Embrapa Milho e Sorgo (CNPMS), pela oportunidade de realização dos trabalhos de pesquisa, e à Dra. Vera Maria Carvalho Alves, pela liberação para cursar a pós-graduação.

Ao professor doutor Pedro Soares Vidigal Filho, pela orientação nos primeiros anos do curso.

Ao professor doutor Ronald José Barth Pinto, pelos ensinamentos nas disciplinas e pela valiosa coorientação.

Aos professores do Programa de Genética e Melhoramento (PGM) da Universidade Estadual de Maringá, pela contribuição direta na minha formação profissional.

Ao Dr. Sidney Netto Parentoni, conselheiro acadêmico na Embrapa, pela sugestão do trabalho com fósforo, pela amizade, divisão de conhecimentos e motivação constantes.

Aos pesquisadores da Embrapa Milho e Sorgo, Dr. Antonio Carlos de Oliveira, pelas rotinas da análise estatística, ensinamentos, paciência, tolerância e atenção, e Dr. Lauro José Moreira Guimarães, pelo auxílio nas análises e interpretações estatísticas.

Aos colegas pesquisadores da Embrapa Milho e Sorgo, em especial, ao Cleso Pacheco, Adelmo Resende, Jane Machado e Paulo Evaristo, pela ajuda na condução dos experimentos, e ao Daniel Pereira Guimarães, pelos dados climatológicos de Sete Lagoas.

Aos colegas da Embrapa Produtos e Mercado - Escritório de Negócios de Ponta Grossa, Osmar Paulo Beckert e José Luciano Bail, pelo apoio e condução dos experimentos.

À chefia e pesquisadores da Embrapa Soja, pela convivência e apoio da Unidade nos experimentos. Ao técnico Rubson Natal Ribeiro Sibaldelli pelos dados climatológicos de Londrina e Ponta Grossa.

À Dra. Sylvia Moraes de Sousa pelos experimentos em câmara de crescimento e dados da morfologia radicular, e à Dra. Flavia Ferreira Mendes pelo apoio nas avaliações no Cerrado.

Aos funcionários da Embrapa Milho e Sorgo, aos estagiários Quênia Grazielle, Quênia Gisele, Rafaela Barbosa, Denize Pacheco, Pedro Henrique, Tales Souza, e a todos do galpão de melhoramento, pela colaboração nos plantios e colheitas.

Aos técnicos Orismar Aparecido Espíndola da Silva, Fábio Rabello Soares e Eduardo Elias de Faria, um especial agradecimento pelo apoio constante na execução dos cruzamentos e por não medirem esforços em prol da qualidade experimental.

À Gislene Rodrigues Braga Cristeli e Barbara França Negri e ao Fabiano Melo de Matos, pelas análises em câmara de crescimento. À Cristiane Guimarães e Eneir Lopes F. Oliveira, ao Paulo Eduardo de Aquino Ribeiro e Múcio da Silva Vila Nova, pelas análises laboratoriais.

Ao Secretário do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, Francisco José da Cruz e à Maria Valquíria Magro, pela atenção e auxílio constantes.

Ao colega Marlon Coan, pelo convívio e ajuda na informática e aos demais colegas do PGM e PGA, pela agradável convivência, em especial ao moçambicano Leonel Domingos Moiana.

À minha incansável esposa, Luzia, pelo apoio, carinho, compreensão, motivação, dedicação e companheirismo que permitiram este trabalho.

Aos meus filhos, Vinícius e Bruno, pela colaboração imprescindível na informática.

Finalmente, meu agradecimento sincero a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desta tese.

BIOGRAFIA

WALTER FERNANDES MEIRELLES, filho de Joaquim Cândido Meirelles e de Antônia Fernandes Meirelles, nasceu no dia 24 de março de 1961, na cidade de Ceres- Goiás.

Concluiu o Ensino Fundamental no Educandário Bueno, Primeiro Grau no Colégio Estadual Bandeirantes e Segundo Grau no Curso Pré-Universitário e Colégio Objetivo, em Goiânia, estado de Goiás, onde ingressou no Curso de Agronomia, em 1979, na Universidade Federal de Goiás, obtendo o título de Engenheiro Agrônomo em 1982.

Participou do programa Bolsa de Trabalho do MEC, na área de Melhoramento de Milho, no Departamento de Agronomia da UFGO, entre 1980 e 1981, sob orientação do Prof. Dr. Lázaro José Chaves.

Obteve o título de Mestre em Agronomia pelo Programa de Genética e Melhoramento da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo-USP/Piracicaba- SP, em 18 de abril de 1989, sob orientação do Prof. Dr. José Branco de Miranda Filho.

Trabalhou, de 1986 a 1995, com pesquisa em milho, na Cooperativa Agrícola de Cotia-Cooperativa Central, nos municípios de Ponta Grossa e Cambé, Paraná.

Prestou serviços de pesquisa em convênio com a Secretaria de Agricultura do Paraná, de 1995 a 1997, exercendo atividades como autônomo no Programa de Milho do IAPAR.

Em 1997, ingressou como pesquisador B na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas-MG. Atualmente, exerce suas funções de Melhorista na Unidade da Embrapa Soja de Londrina, Paraná.

Em março de 2010, ingressou no Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento (PGM), da Universidade Estadual de Maringá - UEM, em Maringá, estado do Paraná, Brasil.

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xiv
RESUMO.....	xv
ABSTRACT.....	xvii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Importância do P para as plantas.....	3
2.2. Disponibilidade de P e sua relação com a acidez e alumínio no solo	4
2.3. Fertilizantes fosfatados mais utilizados no milho e fontes alternativas de P	5
2.4. Eficiência quanto ao uso de P.....	6
2.5. Avaliação da morfologia radicular em solução nutritiva	9
2.6. Cruzamentos dialélicos e capacidade combinatória	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1. Materiais genéticos e obtenção dos F ₁ 's.....	16
3.1.1. Material genético utilizado.....	16
3.1.2. Obtenção de F ₁ 's e número de tratamentos	18
3.2. Locais, épocas de semeadura, adubação e tratos culturais	18
3.2.1. Locais e épocas de semeadura dos experimentos.....	18
3.2.2. Adubação utilizada nos experimentos	23
3.3. Experimentos para avaliação fenotípica	24
3.3.1. Avaliação dos F ₁ 's em solução nutritiva em câmara de crescimento	24
3.3.1.1. Quantificação do conteúdo de P	26
3.3.1.2. Avaliação morfológica do sistema radicular	26
3.3.2. Avaliação de campo, delineamento experimental e população de plantas.....	27
3.4. Análises estatístico-genéticas	31
3.5. Avaliação da capacidade combinatória das linhagens	32
3.6. Estudos genéticos da eficiência no uso de P.....	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1. Estande médio, produtividade média e CV nos dois anos agrícolas	35

4.2. Quadrados médios residuais e homogeneidade de variâncias	40
4.3. Rotina das análises estatísticas	41
4.4. A interação genótipos x ambientes (GxA).....	43
4.5. Análises dialélicas individuais (Griffing, 1956)	55
4.6. Análise dialélica conjunta e componentes quadráticos.....	55
4.7. Estimativas da capacidade geral (g_i) e específica de combinação (s_{ij}).....	61
5. CONCLUSÕES	82
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Lista de genitores (linhagens endogâmicas), sua origem, ano de obtenção e nível de eficiência no uso de P	17
Quadro 2 - Lista de tratamentos, respectivos cruzamentos, origem e testemunhas .	19
Quadro 3 - Análise de solo (níveis de P, pH e matéria orgânica-M.O.), tipo de solo e altitude de seis localidades	20
Quadro 4 - Datas de semeadura dos experimentos de campo realizados nos anos agrícolas de 2010-11 (seis ambientes) e 2011-12 (cinco ambientes)	24
Quadro 5 - Lista de tratamentos, respectivos cruzamentos e genitores, origem e testemunha, nos experimentos de câmara de crescimento.....	25
Quadro 6 - Esquema dialélico apenas com híbridos F ₁ 's entre nove genitores.....	33
Quadro 7 - Esquema da Anava para dialelos balanceados envolvendo apenas híbridos F ₁ 's, segundo metodologia de Griffing (1956), para modelo fixo.....	33
Quadro 8 - Médias de produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) de 36 híbridos entre nove linhagens endogâmicas de milho para avaliação da eficiência a P. Dados de três repetições para 42 tratamentos em seis localidades (ano 2011) e cinco localidades (ano 2012), obtidos no delineamento em blocos casualizados, com e sem P na adubação de semeadura, incluindo seis testemunhas comerciais	36
Quadro 9 - Estande médio e média geral de produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) nos anos agrícolas de 2011 (seis localidades) e 2012 (cinco localidades), com e sem P na adubação de semeadura.....	38
Quadro 10 - Coeficiente de variação experimental (CV %) nos anos agrícolas de 2011 (seis localidades) e 2012 (cinco localidades), nos experimentos com e sem P na adubação de semeadura.....	40
Quadro 11 - Quadrados médios residuais (QMe) dos experimentos com e sem P na adubação de semeadura, nos anos agrícolas de 2011 (seis localidades) e 2012 (cinco localidades), obtidos das análises preliminares	42
Quadro 12 - Análise de variância da produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) de 36 F ₁ 's e seis testemunhas no delineamento em blocos casualizados. Dados de três repetições, em seis locais (ano 2011) e cinco locais (ano 2012) , em experimentos com e sem P na adubação de semeadura (Programa Genes), considerando o efeito de tratamentos fixo.....	44
Quadro 13 - Anava conjunta da produtividade de grãos para médias (kg ha ⁻¹) de seis locais (ano 2011) e de cinco locais (ano 2012), nas situações com e sem P na adubação de semeadura, em experimentos que avaliaram 36 F ₁ 's e seis testemunhas para eficiência a P (<i>Proc Anova</i> do SAS), considerando modelo fixo..	45

Quadro 14 - Anava do desdobramento da interação tratamento com locais, com e sem P na semeadura, na média de cada um dos seis locais do ano 2011 e dos cinco locais do ano 2012 (SAS 9.2), considerando modelo fixo	47
Quadro 15 - Anava do desdobramento dos tratamentos em efeitos de híbridos F ₁ 's, de testemunhas e do contraste entre F ₁ 's e testemunhas, para as médias de seis locais (2011) e cinco locais (2012), com e sem P na semeadura (SAS 9.2), considerando modelo fixo	48
Quadro 16 - Anava com desdobramento da interação tratamentos dentro de locais em efeitos de híbridos F ₁ 's, de testemunhas e do contraste F ₁ 's vs testemunhas, com e sem P na semeadura, na média de seis locais (2011) e de cinco locais (2012) (SAS 9.2), considerando modelo fixo.....	49
Quadro 17 - 1 - Médias de produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) de 42 tratamentos, para cada um dos seis locais do ano de 2011, avaliados na presença de P na semeadura	51
Quadro 17 - 2 - Médias de produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) de 42 tratamentos, para cada um dos seis locais do ano de 2011, avaliados na ausência de P na semeadura	52
Quadro 17 - 3 - Médias de produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) de 42 tratamentos, para cada um dos cinco locais do ano de 2012, avaliados na presença de P na semeadura	53
Quadro 17 - 4 - Médias de produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) de 42 tratamentos, para cada um dos cinco locais do ano de 2012, avaliados na ausência de P na semeadura	54
Quadro 18 - Análises dialélicas individuais da produtividade de grãos (kg ha ⁻¹), usando apenas os híbridos F ₁ 's entre nove linhagens de milho, segundo metodologia de Griffing (1956), utilizando médias de três repetições, com quadrados médios da capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC) para seis locais (ano 2011) e cinco locais (ano 2012), nas condições com e sem P na adubação de semeadura (Programa Genes)	56
Quadro 19 - Análises dialélicas conjuntas para produtividade de grãos (kg ha ⁻¹), usando apenas os F ₁ 's entre nove linhagens de milho (Griffing, 1956, modelo fixo), utilizando médias de seis ambientes (2011) e cinco ambientes (2012), nas condições com e sem P na adubação de semeadura (Programa Genes).....	59
Quadro 20 - Análise dialélica conjunta da produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) para médias dos anos de 2011 (seis ambientes) e 2012 (cinco ambientes), e a decomposição dos efeitos de tratamentos (Griffing,1956, modelo fixo), em função dos 11 ambientes testados, com e sem P na adubação de semeadura. Componentes quadráticos médios de dois anos de avaliação nas condições com e sem P na adubação de semeadura (Programa Genes)	60

Quadro 21 - Efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) para produtividade de grãos de milho no dialelo com F_1 's (Griffing, 1956) nos ambientes individuais, e utilizando médias de seis ambientes (ano 2011) e cinco ambientes (ano 2012), nas situações com e sem P na adubação de semeadura	67
Quadro 22 - Efeitos médios da capacidade específica de combinação (CEC) para produtividade de grãos de milho no dialelo com F_1 's (Griffing, 1956), utilizando médias de seis ambientes (2011) e de cinco ambientes (2012), com presença de P na adubação de semeadura.....	68
Quadro 23 - Efeitos médios da capacidade específica de combinação (CEC) para produtividade de grãos de milho no dialelo com F_1 's (Griffing, 1956), usando médias de seis ambientes (ano 2011) e de cinco ambientes (ano 2012), na ausência de P na adubação de semeadura.....	68
Quadro 24 - 1 - Comparação média de nove linhagens parentais de milho, eficientes e não eficientes a P, desenvolvidas em câmara de crescimento, para comprimento, diâmetro, volume e volume de raízes finas, aos 12 dias após a germinação (DAG), em solução nutritiva, com baixo e alto nível de P	70
Quadro 24 - 2 - Médias de três repetições de 46 genótipos de milho (36 F_1 's, nove linhagens parentais e uma testemunha), desenvolvidos em câmara de crescimento, aos 12 dias após a germinação, para comprimento, diâmetro, volume, volume de raízes finas, massa seca de raiz, de parte aérea e da relação MSR/MSPA, em solução nutritiva, com baixo e alto P.....	72
Quadro 25 - 1 - Anava da morfologia e volume radicular de experimento conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em câmara de crescimento contendo solução nutritiva, até 12 dias após a germinação. Genótipos de milho constituídos de 36 F_1 's, nove linhagens parentais e uma testemunha. Caracteres de comprimento, diâmetro, volume e volume de raízes finas, em dois níveis de P (Programa Sisvar)	74
Quadro 25 - 2 - Anava para massa seca de raízes (MSR), parte aérea (MSPA) e para a relação MSR/MSPA de experimento conduzido em solução nutritiva até 12 dias após a germinação. Genótipos constituídos de 36 F_1 's, nove linhagens parentais e uma testemunha, em dois níveis de P (Programa Sisvar).....	75
Quadro 25 - 3 - Anava para conteúdo de P na raiz e na parte aérea da planta, de experimento conduzido em solução nutritiva até 12 dias após a germinação. Genótipos constituídos de 36 F_1 's, nove linhagens parentais e uma testemunha, em dois níveis de P (Programa Sisvar).....	76
Quadro 26 - Médias de 46 genótipos de milho (36 F_1 's, nove linhagens e uma testemunha) desenvolvidos em solução nutritiva, em câmara de crescimento, para comprimento, diâmetro, volume, volume de raízes finas, massa seca de raiz, massa seca de parte aérea, da relação MSR/MSPA, e do conteúdo de P na raiz e na parte aérea, aos 12 dias após a germinação, nos níveis baixo e alto de P	76
Quadro 27 - Médias de 46 genótipos de milho (36 F_1 's, nove linhagens parentais e	

uma testemunha), desenvolvidos em solução nutritiva, em câmara de crescimento, para comprimento, diâmetro, volume, volume de raízes finas, massa seca de raízes e de parte aérea e da relação MSR/MSPA, aos 12 dias após a germinação, em dois níveis de P.....79

Quadro 28 - Médias de 46 genótipos (36 F₁'s, nove linhagens parentais e uma testemunha), desenvolvidos em câmara de crescimento, para comprimento, volume e massa seca de raízes, aos 12 dias após a germinação, em baixo e alto P80

Quadro 29 - Conteúdo médio de P na raiz e na parte aérea, e o desdobramento em baixo e alto P para o conteúdo de P na parte aérea, de 46 genótipos (36 F₁'s, nove linhagens parentais e uma testemunha), desenvolvidos em solução nutritiva, em câmara de crescimento, aos 12 dias após a germinação80

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Precipitação pluvial (mm) dos anos agrícolas de 2010-11 (seis localidades) e 2011-12 (cinco localidades).21
- Figura 2 - Temperatura média (°C) nos anos agrícolas de 2010-11 (seis localidades) e 2011-12 (cinco localidades)22
- Figura 3 - Papel mata-borrão, contendo plântulas de milho (a); plântulas recém germinadas (b) e plântulas uniformemente selecionadas (c).28
- Figura 4 - “Pasta arquivo” com três plântulas de milho selecionadas (a); bandeja para embebição da “pasta arquivo” em solução nutritiva (b); “pasta arquivo” submersa em recipientes contendo três cm de solução nutritiva (c); e disposição dos recipientes contendo as “pastas arquivo” em delineamento inteiramente casualizado em câmara de crescimento (d). Fotos: Sylvia Morais de Sousa.....28
- Figura 5 - “Pastas arquivo” com plântulas de milho em desenvolvimento (a); plântulas em solução nutritiva aos 12 dias após a emergência (b); e coleta do sistema radicular (c).29
- Figura 6 - Equipamentos para quantificação da morfologia radicular por meio da análise de imagens de raízes, utilizando fotografia digital e os processos de projeção e limiarização. Fotos: Sylvia Morais de Sousa.....29
- Figura 7 - Morfologia do sistema radicular de nove linhagens em solução nutritiva, em baixo (P-) e alto (P+) fósforo, em câmara de crescimento (a); linhagem L3, eficiente a P, com maior comprimento total de raízes (b); linhagem L22, não eficiente a P, com menor comprimento total de raízes (c).30

RESUMO

MEIRELLES, Walter Fernandes, D.Sc. Universidade Estadual de Maringá, dezembro de 2013. **Análise dialéctica de linhagens de milho em diferentes níveis de fósforo**. Orientador: Carlos Alberto Scapim. Conselheiros: Ronald José Barth Pinto e Pedro Soares Vidigal Filho.

O fósforo (P) enfrenta problemas de indisponibilidade nos solos ácidos tropicais. O melhoramento pode desenvolver genótipos com maior eficiência na absorção de P. Em milho, pouco se conhece sobre a genética da eficiência e aproveitamento do P. Este trabalho estudou os efeitos genéticos da eficiência a P avaliando cruzamentos em esquema dialéctico, utilizando nove linhagens de milho previamente caracterizadas para resposta ao nutriente. A produtividade de grãos de 36 cruzamentos foi avaliada em onze ambientes, para determinar os efeitos da capacidade combinatória das linhagens e cruzamentos. O conteúdo de P foi quantificado na parte aérea e raízes das plantas dos cruzamentos e parentais, em solução nutritiva, em dois níveis de P. A morfologia e volume radiculares das plantas também foram avaliados. A análise dialéctica seguiu o modelo de Griffing (1956), método 4, modelo fixo, no qual são utilizados apenas os F_1 's. As linhagens L3 e L51502020 apresentaram os maiores efeitos médios \hat{g}_i , associados à CGC, na ausência e na presença de P na sementeira, indicando maior eficiência e maior responsividade, respectivamente. O cruzamento L51502020 x L22 apresentou o maior efeito \hat{s}_{ij} (CEC), tanto na presença como na ausência de P na sementeira, sendo mais pronunciado na responsividade, mostrando ação complementar de genes. Na média dos ambientes, houve significância para os efeitos de CGC e CEC, na presença e ausência de P na sementeira. O efeito da CGC foi superior ao efeito da CEC e isso se refletiu nos componentes quadráticos elevados para CGC. Houve interação significativa dos efeitos da capacidade combinatória com ambientes. Os efeitos aditivos predominaram na determinação da produtividade, podendo-se utilizar as linhagens com maior efeito \hat{g}_i para formar sintéticos e fazer reciclagem de linhagens. A ausência de P propiciou menores perdas de produtividade, na comparação relativa entre presença e ausência de P na adubação de sementeira, o que pode estar relacionado a um sistema radicular mais desenvolvido. Em solução nutritiva, verificou-se que os níveis de 2,5 μM e 250 μM de P foram adequados para

diferenciar genótipos. Foi observada diversidade fenotípica para comprimento de raízes, diâmetro médio, volume total, volume de raízes finas, massa seca de raiz e de parte aérea, para a relação massa seca de raiz/massa seca de parte aérea e para conteúdo de P na raiz e na parte aérea. O comprimento, o volume total e o volume de raízes finas foram maiores em baixo P do que em alto P. Também foram maiores para híbridos do que para linhagens. O diâmetro médio de raízes foi menor em baixo P do que em alto P e também foi menor para híbridos do que para linhagens. Em baixo P houve aumento de massa seca de raiz e diminuição do conteúdo de P na parte aérea da planta.

Palavras-chave: Capacidade geral de combinação; capacidade específica de combinação; cruzamentos dialélicos; solução nutritiva; eficiência a fósforo.

ABSTRACT

MEIRELLES, Walter Fernandes, D.Sc. Universidade Estadual de Maringá, december 2013. **Diallel analysis of maize lines at different levels of phosphorus**. Adviser: Carlos Alberto Scapim. Committee Members: Ronald José Barth Pinto and Pedro Soares Vidigal Filho.

Phosphorus (P) faces unavailability problems in tropical acid soils. The breeding can develop genotypes with more efficiency in the absorption of P. In maize, little is known about the genetics of efficiency and utilization of P. This paper studied the genetic effects of P efficiency evaluating crosses in diallel, using nine maize lines previously characterized for response to nutrient. The yield of 36 hybrid combinations was evaluated at eleven environments to determine the effects of combining ability of the lines and crosses. The P content was measured in shoot and roots of the plants originated from crossings and parental lines in nutritive solution in two levels of P. The morphology and root volume of the plants were also evaluated. The diallelic analysis followed the Griffing (1956) model, method 4, fixed model, in which only the F_1 's are used. The inbred lines L3 and L51502020 presented the higher medium effects \hat{g}_i , associated with GCA (general combining ability), in the absence and presence of P at the sowing, indicating greater efficiency and greater responsiveness, respectively. The L51502020 x L22 cross presented the greater medium effect \hat{s}_{ij} (SCA - specific combining ability) both in the presence and absence of P at the sowing, being more expressive on responsiveness, showing complementary action of genes. The average across environments indicated significant effects of GCA and SCA, both in the presence and absence of P at the sowing. The effect of GCA was superior to the effect of SCA and this was reflected in the high quadratic components for GCA. There was significant interaction of the effects of combining ability with environments. The additive effects were predominant in determining the yield, allowing the use of the inbred lines with higher \hat{g}_i effect to form synthetics and recycle inbred lines. The absence of P provided lower yield losses, on the relative comparison between presence and absence of P in the sowing fertilization, that can be related to a more developed root system. In the nutritive solution the levels of 2.5 μM and 250 μM of P were appropriate to differentiate genotypes. Phenotypic diversity was observed for length of roots, average diameter,

roots total volume, fine roots volume, dry root and shoot weight, root:shoot dry weight ratio and for P content in the root and shoot. The length, total volume and fine roots volume were higher in low P than in high P. These were also higher for hybrids than for inbred lines. The average root diameter was lower in low P than in high P and was also lower for hybrids than for inbred lines. In low P the dry root weight increased and the shoot P content decreased.

Keywords: general combining ability; specific combining ability; diallel cross; nutritive solution; phosphorus efficiency.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil produziu, na safra 2012/13, 81 milhões de toneladas de milho, e figura como o terceiro maior produtor mundial (DEAGRO/FIESP, 2013), embora com média de produtividade ainda reduzida, alcançando $5,12 \text{ t ha}^{-1}$, em uma área de 15,8 milhões de hectares (Conab, 2013). As causas dessa limitada produtividade são várias, incluindo deficiências minerais, déficit hídrico e elevadas temperaturas durante o ciclo da cultura. Como fatores que limitam a produtividade, considerando-se apenas alguns dos processos ocorridos no solo, podem ser citados a baixa fertilidade dos solos, problemas de correção de solo, toxidez de alumínio e acidez elevada, deficiências de cálcio e magnésio e baixo aproveitamento de nutrientes. Muitos desses fatores, isolados ou em conjunto, contribuem negativamente, de forma direta ou indireta, para a baixa produtividade do milho no Brasil (Parentoni et al., 1999; 2011; Novais e Smyth, 1999). Além disso, nas condições tropicais, é comum a distribuição irregular de chuvas, ocasionando resultados diferentes a cada ano agrícola (Paterniani, 1993).

O fósforo (P) possui grande importância na produção vegetal, devido à sua participação em funções vitais na planta (Buchanan et al., 2001; Taiz e Zeiger, 2009). No entanto, sua disponibilidade no solo é baixa, principalmente em função de sua adsorção na fração argila dos solos tropicais, nos quais forma complexos com ferro (Fe^{+2} ou Fe^{+3}) e alumínio (Al^{+3}) (Baligar e Fageria, 1997). Para aumentar a disponibilidade de P no solo, o agricultor dispõe de algumas opções: a correção do solo com calagem, que libera parte do P fixado, o uso de fertilizantes químicos fosfatados e alterações no sistema de produção, sendo esta última alternativa dependente do nível de tecnologia adotado.

Na produção familiar e de subsistência, predominam os problemas decorrentes de baixa utilização de nutrientes e deficiências na correção do solo. Nesse sistema agrícola, com produtividade de grãos variando de 2 a 5 t ha^{-1} , algumas técnicas agroecológicas e práticas relacionadas à atividade biológica do sistema solo-planta podem propiciar maior aproveitamento do potencial produtivo da planta do milho. Nesta situação, genótipos mais eficientes em absorção de nutrientes, combinados ao uso de biofertilizantes, podem aumentar a disponibilidade de P para a planta, permitindo uma agricultura mais sustentável.

Alguns estudos buscam identificar e caracterizar genótipos mais eficientes na absorção de nutrientes, visando melhor adaptação dos cultivares às diferentes condições de cultivo. Na cultura do milho, pouco se conhece sobre a genética da eficiência à absorção e utilização de P. Os estudos de eficiência no uso de P podem contribuir na redução da dependência de importação de fosfatos, no aumento de produtividade em regiões de baixo uso de insumos e no uso mais sustentável do solo.

Este trabalho tem por objetivo analisar parâmetros genéticos para a eficiência de uso do P em um conjunto de genótipos de milho da Embrapa Milho e Sorgo. Linhagens previamente caracterizadas quanto à eficiência do uso de P foram avaliadas em cruzamentos, por meio de um esquema dialélico, para determinação dos efeitos da capacidade geral e específica de combinação. Para obtenção dos dados, os genótipos foram avaliados a campo e sob condições controladas, em solução nutritiva, em dois níveis de P.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A agricultura brasileira é muito dependente de fertilizantes. As necessidades de suprimento de nutrientes via adubações são elevadas devido às deficiências naturais dos solos e ao baixo aproveitamento dos nutrientes. Os solos brasileiros são predominantemente ácidos e, nesta condição, ocorre elevada fixação de nutrientes (Novais e Smyth, 1999). No caso específico do fósforo (P), a necessidade da planta geralmente não é satisfeita pelas disponibilidades do solo, sendo necessária a utilização de elevadas doses adicionais do nutriente para uma melhoria na produtividade (Coelho, 2008).

Segundo Coelho (2008), cerca de 80% do P aplicado na agricultura brasileira fica retido no solo, em consequência de sua ligação com cátions e compostos orgânicos. Parentoni et al. (2010) comentam a importância do P para o desenvolvimento do milho no Brasil e relatam a redução média de produtividade de 45% em experimentos conduzidos com alto e baixo nível de P no mesmo ambiente.

O Brasil dispõe de algumas fontes naturais de fosfato, como rochas brutas, que podem ser transformadas em pó e misturadas aos microrganismos para posterior aplicação no solo. Essa alternativa poderia ser explorada nas pequenas propriedades. Por outro lado, a variabilidade genética permite explorar genótipos mais eficientes no aproveitamento do P disponível. Nesta revisão, apresenta-se a atuação do P na planta, a atividade microbiológica, a disponibilidade do P e sua relação com a composição química do solo e as principais características da morfologia radicular. Também são feitas considerações sobre cruzamentos dialélicos, capacidade combinatória e aspectos genéticos da eficiência no uso de P em milho.

2.1. Importância do P para as plantas

Prasanna (2012) considera que, para uma boa exploração da diversidade genética do milho, mais que a genotipagem, há necessidade de uma rede global de fenotipagem de alto rendimento e precisão que caracterize, de forma abrangente e eficiente, um conjunto de características importantes, nas quais se incluem a tolerância aos estresses abióticos.

O P é essencial à nutrição dos vegetais e a carência desse nutriente reduz o desenvolvimento da planta e interfere no término de seu ciclo. A sua deficiência é específica, não podendo o P ser substituído; ele participa na armazenagem, transferência e utilização da energia química captada na fotossíntese, sendo constituinte de diversos compostos metabólicos vitais aos diferentes tecidos da planta (Büll, 1993; Buchanan et al., 2001; Taiz e Zeiger, 2009).

O crescimento, desenvolvimento e produtividade da planta dependem do fornecimento direto do fósforo à planta, sob pena da baixa disponibilidade comprometer a produtividade da cultura (Vasconcellos et al., 2000).

O P ocorre naturalmente na forma de fosfato. Os fosfatos estão na solução do solo como íons de fosfato inorgânico, especialmente PO_4^{-3} . Para que o manejo do P seja sustentável, o fosfato precisa passar pelo componente solo, durante seu ciclo de volta para as plantas. No entanto, compostos insolúveis são formados na solução do solo, especialmente com ferro e alumínio, fixando e insolubilizando o fosfato, favorecendo assim a retenção de P nos solos (Baligar e Fageria, 1997; Marschner et al., 2006). Meios biológicos de liberar esse P fixado devem ser estimulados e são mais sustentáveis (Gliessman, 2001).

A atividade microbiológica participa no ciclo do P e o torna disponível às plantas através da imobilização de fosfato solúvel ou pela solubilização de fosfato insolúvel. Exsudados produzidos pelas raízes podem estimular interações das plantas com microrganismos, modificando e promovendo a atividade biológica na rizosfera de plantas eficientes (Marschner et al., 2006), trazendo benefícios à absorção de P.

2.2. Disponibilidade de P e sua relação com a acidez e alumínio no solo

A produtividade agrícola em solos tropicais é limitada pela disponibilidade de P, além de que as plantas possuem baixa eficiência no seu uso (Baligar e Fageria, 1997). O P apresenta baixa mobilidade no solo e, devido à sua alta adsorção, torna-se pouco disponível às raízes (Schachtman et al., 1998). Esta baixa disponibilidade requer adições sucessivas de P disponível na forma de fertilizantes.

A indisponibilidade do P se agrava em solos ácidos onde íons fosfato formam ligações com óxidos de ferro e alumínio, formando complexos insolúveis e indisponíveis à planta (Novais e Smyth, 1999; Buchanan et al., 2001; Kochian et al.,

2004). A tolerância ao alumínio e sua estreita relação com solos ácidos têm sido pesquisadas em condições controladas. Para seleção à acidez, os experimentos são realizados a campo, com alta saturação de alumínio, mas ocorrem interações entre os genótipos e os ambientes, dificultando a seleção de material mais eficiente (Parentoni et al., 2001).

No Brasil, predominam solos intemperizados, com baixo pH, alto conteúdo de alumínio na subsuperfície e baixa disponibilidade nutricional (Parentoni, 2008). Em função dessas características, as plantas ficam estressadas durante seu crescimento. Uma agricultura sustentável deve aliar o uso de genótipos eficientes e adaptados às diversas condições de estresses (Gomes et al., 2010).

Como grande parte dos solos brasileiros são ácidos, ocorre alta fixação do P. No solo de Cerrado, estima-se que a eficiência de utilização do P perfaz apenas 20% do que é aplicado (Baligar e Fageria, 1997; Coelho, 2008). Assim, o conteúdo de P nos solos é muito superior à quantidade disponível para as plantas.

2.3. Fertilizantes fosfatados mais utilizados no milho e fontes alternativas de P

A partir da Revolução Verde, a utilização de doses elevadas de fertilizantes foram preconizadas (Brasil, 2003). No milho, geralmente, são utilizadas fontes de P solúveis em água, principalmente, superfosfatos simples e triplos extraídos de rocha. O ácido fosfórico, H_3PO_4 , é a molécula fosfatada mais importante para a produção de fertilizantes. Por hidrólise, o ácido fosfórico origina três sais, contendo os íons fosfato, sendo um deles o ânion PO_4^{-3} . O fosfato (PO_4^{-3}) se associa aos diversos íons de carga positiva, como cálcio, ferro, alumínio, formando compostos que, dependendo do caso, ora disponibilizam, ora adsorvem o P no solo.

Há necessidade de se investir mais na seleção para maior eficiência no uso de fósforo, pois as reservas mundiais de fosfato de rocha são finitas (FAO, 2004; Fixen, 2009). Entretanto, existem alternativas de adubação utilizando fontes naturais de fosfato pouco solúveis encontradas diretamente no solo. Algumas são alternativas promissoras, como a utilização de microrganismos solubilizadores de fosfato (MSF). Tais microrganismos convivem com as plantas em interações benéficas e, quando bem selecionados e explorados, podem representar ferramentas poderosas na utilização de fosfatos pouco solúveis do solo. De qualquer modo, porém, a questão de uso de fontes fosfatadas mais solúveis ou do

emprego de fontes de menor solubilidade caminham, inevitavelmente, junto à pesquisa e exploração de genótipos mais eficientes ao uso do P.

2.4. Eficiência quanto ao uso de P

A obtenção de cultivares mais eficientes no uso de insumos gera desafios para o melhoramento, para a nutrição vegetal e microbiologia do solo. Em todo o mundo, os fitomelhoristas, em geral, utilizam tecnologias para correção de solos e selecionam genótipos elite cada vez mais produtivos associados à alta adoção de insumos. Nesta situação, a variabilidade genética no sentido da tolerância a estresse pode não ser detectada (Parentoni, 2008).

Em contraposição, a pesquisa nacional busca a tolerância ao Al^{+3} , a adaptação a solos ácidos e a eficiência de absorção a P (Machado et al., 1999; Parentoni et al., 1999; Alves et al., 2000). Nas últimas décadas, algumas metodologias foram desenvolvidas para adaptação de milho a solos ácidos e obtenção de melhor eficiência no aproveitamento do P, de forma que se observa um avanço no esclarecimento dos mecanismos de adaptação ao alumínio tóxico e à eficiência no uso do P (Alves et al., 1988, 1998, 2000; Bahia Filho et al., 1997; Gama et al., 2006; Parentoni et al., 2000; Parentoni e Souza Junior, 2008).

A variabilidade genética e os processos de seleção natural de plantas permitiram a evolução de mecanismos adaptativos a estresses nutricionais. Como o P tem baixa mobilidade no solo, genótipos mais eficientes na aquisição desse nutriente podem explorar melhor o solo incorporando modificações na morfologia radicular e na conversão de formas não aproveitáveis em formas assimiláveis por meio da exsudação de compostos orgânicos ou de simbiose com microrganismos (Rengel e Marschner, 2005). Richardson et al. (2011) fazem críticas sobre as evidências de que mais plantas eficientes a P podem ser desenvolvidas através da modificação do crescimento da raiz e da arquitetura radicular, seja pela manipulação de exsudatos de raiz, ou pelo manejo da associação planta-microbiana, tais como fungos micorrízicos arbusculares- FMA e inoculantes microbianos.

Uma pesquisa nacional inovadora foi a seleção de microrganismos solubilizadores de fosfato (MSF) a partir de cultivares de milho previamente testados e eficientes no uso de P (Parentoni, 2008). Como a maior parte dos MSF está concentrada na rizosfera do milho (Gomes et al., 2010), genótipos eficientes são

pesquisados como fonte de isolamento de MSF, utilizando-se do solo coletado de suas próprias rizosferas (Oliveira et al., 2009).

A baixa disponibilidade de P e o uso crescente de fertilizantes induziram os pesquisadores a ajustar a planta ao solo, buscando genótipos mais adaptados (Vose, 1983). Na absorção de P, os mecanismos chave são a difusão, os processos induzidos pela raiz no reabastecimento da concentração de P na solução do solo, a alongação radicular em direção a novas áreas do solo, a arquitetura radicular, a presença de pelos radiculares, a associação micorrízica e a presença de bactérias solubilizadoras de fosfato (Hinsinger et al., 2006).

Clark e Duncan (1991) definiram plantas eficientes como aquelas plantas capazes de maior produção num dado nível de nutriente no solo. Uma eficiência baseada em biomassa produzida por unidade de nutriente absorvido é aquela que seleciona genótipos mais eficientes na utilização do P do solo. Assim, genótipos eficientes são definidos como os de alta produção de grãos com menor acúmulo de nutrientes. No melhoramento, os conceitos de eficiência e resposta são importantes na seleção de genótipos eficientes e responsivos (Parentoni, 2008; Parentoni et al., 2011). Índices de eficiência dessa natureza têm sido relatados em milho.

Parentoni e Souza Junior (2008) determinaram a importância da eficiência de aquisição e de utilização do P em genótipos tropicais de milho. Concluíram que o melhoramento deve dar maior prioridade para a eficiência de aquisição que para a eficiência de utilização do P. Furlani et al. (1985) e Corrales et al. (2007) atribuíram as diferenças em crescimento de plantas muito mais ao mecanismo de absorção de P que ao de sua utilização. A eficiência de aquisição está relacionada à quantidade de nutriente absorvido, dividido pela quantidade de nutriente disponível à planta, e a eficiência de utilização interna se relaciona com o peso de grãos produzidos por unidade de nutriente absorvido (Moll et al., 1982).

Silva et al. (1992), estudando milho em meio sólido contendo areia quartzosa e alumina ativada, encontraram efeitos gênicos aditivos como predominantes, para acumulação de matéria seca da parte aérea, matéria seca das raízes, conteúdo de P total na planta e na relação raiz:parte aérea, nas condições de baixa disponibilidade de P.

Em um dialelo sob baixo P no solo, Gama et al. (2006) obtiveram efeitos não aditivos com alta importância na expressão do caráter produção de grãos em milho. Parentoni (2008) relata a superioridade de efeitos não aditivos sobre os aditivos para

o quociente de utilização (gramas de grão produzido por grama de P no grão) em ambiente de Cerrado com alto e baixo P.

Segundo Parentoni et al. (2010), não existem muitos estudos sobre herança da eficiência ao uso de P em milho tropical. Esses autores usaram linhagens contrastantes para eficiência a P e concluíram que os efeitos de dominância predominaram na eficiência de aquisição de P, e que diferentes mecanismos atuam na aquisição em baixo e alto P. Também observaram que, para a caracterização da eficiência de aquisição, os ambientes de baixo P são mais importantes, enquanto os ambientes de alto P são indicados para a pesquisa sobre concentração de P no grão e eficiência de utilização.

Fritsche-Neto et al. (2010) verificaram uma predominância de efeitos não aditivos para a eficiência da utilização do P em milho. A importância de efeitos genéticos não aditivos no uso eficiente de P também foi observada por DoVale e Fritsche-Neto (2013). Mendes (2012) identificou QTL's para produtividade em baixo e alto P no solo e observou efeitos aditivos e de dominância, mas com predominância de efeitos de dominância no controle genético para índices de eficiência a P em milho.

Parentoni et al. (2011) comentam sobre a condução de um programa de melhoramento em milho e reforçam a necessidade de obtenção de cultivares com maior eficiência na aquisição de P que na utilização interna do P. Segundo esses autores, a caracterização dos locais de experimentação é importante no processo de avaliação de genótipos quanto à eficiência a P. Os relatos desses autores indicam que os experimentos de campo com estresse pouco acentuado pela baixa disponibilidade de P são mais precisos na determinação da eficiência ao uso de P. Os mesmos autores sugerem ainda que a condução dos experimentos e tratos culturais devem ter boa precisão, com atenção em fatores como correção de solo, deficiência hídrica, número de repetições e controle da heterogeneidade ambiental, como, por exemplo, o uso de delineamentos em látice.

Deve ser considerado também que existe variabilidade espacial em estudos de avaliação de eficiência a P, pois as variações em microescala no solo interferem com as características associadas à eficiência ao P e não se deve assumir homogeneidade entre parcelas (Viana et al., 2009).

2.5. Avaliação da morfologia radicular em solução nutritiva

O screening de genótipos em condições de baixo P em meios artificiais é usado há algum tempo, permitindo discriminação e seleção de genótipos (Silva e Gabelman, 1992).

Em função da baixa disponibilidade de P no solo, as plantas sofrem ajustes bioquímicos, fisiológicos e morfológicos para se adaptar à condição adversa de absorção desse nutriente (Marschner, 1995; Raghothama, 1999; Buchanan et al., 2001; Vance et al., 2003; Lynch, 2007). Nesta plasticidade fenotípica, as raízes assumem tamanhos e formas variadas de acordo com o meio (Epstein e Bloom, 2005; Marschner, 1995) e, em milho, isso é evidente na tentativa da planta em buscar P menos disponível na solução do solo.

Os parâmetros morfológicos radiculares, as metodologias de triagem de diferenças genéticas para seleção de genótipos eficientes na aquisição de P e os mecanismos genéticos envolvidos na modificação da rizosfera de milho foram revisados por Sousa et al. (2010a). Diferenças significativas foram obtidas entre genótipos de milho com soluções nutritivas de 2,5 μM de P a partir de 12 dias de tratamento. Uma dose baixa de P pode ser melhor que uma dose nula para diferenciar os genótipos quanto à eficiência, segundo Parentoni (2008) e Sousa et al. (2010b). Uma dose nula de P pode aniquilar o desenvolvimento das plantas (Fernandes e Muraoka, 2002).

Analisando 24 diferentes características de raiz em solução nutritiva, De Sousa et al. (2012) utilizaram a análise de componentes principais e concluíram que apenas quatro caracteres radiculares são necessários para representar adequadamente a diversidade fenotípica entre os genótipos: comprimento radicular, diâmetro médio de raiz, volume radicular e volume de raízes finas ($1,0 \text{ mm} < \text{diâmetro} \leq 2,0 \text{ mm}$). Esta caracterização permite explorar a variabilidade existente entre as linhagens para a eficiência a P.

A mobilidade dos nutrientes no solo em relação à sua disponibilidade para as plantas foi citada como biodisponibilidade (Marschner, 1995). O P, em especial, tem sua absorção comandada por difusão, o que dificulta ou limita a absorção do P mais distante da rizosfera. Com isso, a interação com microrganismos do solo promove amplos benefícios à absorção do P (Siqueira et al., 2010). Apesar do forte envolvimento dos microrganismos nas transformações do P (solubilização da fração

lável, mineralização e imobilização biológica), a maioria dos estudos de dinâmica do P tem priorizado os eventos químicos, com pouca ênfase nos processos biológicos do solo (Moreira e Siqueira, 2006).

Segundo Brasil (2003), os híbridos sob condições de estresse de P, em solução nutritiva, apresentam maior crescimento radicular e maior diversidade microbiana. Na solução nutritiva, a difusão de P é facilitada, e as plantas não necessitam de maiores gastos de energia para o crescimento radicular. Em condições de campo, a difusão do P é difícil e há necessidade de maior desenvolvimento de raízes. Ao avaliarem o efeito do estresse de P em milho, Brasil et al. (2007) observaram que a insuficiência do P no meio favoreceu o aumento da proporção raiz/parte aérea em todos os genótipos. Parentoni et al. (1999) relatam trabalhos em solução nutritiva, nos quais observaram maior comprimento e peso radicular para genótipos mais eficientes em baixo nível de P. O maior comprimento radicular em genótipos eficientes em baixo P também foi observado por Alves et al. (2000).

2.6. Cruzamentos dialélicos e capacidade combinatória

Denomina-se cruzamento dialélico um conjunto de cruzamentos dois a dois entre “n” genótipos parentais para representar diferentes combinações híbridas (Allard, 1971; Oliveira et al., 1987), muito útil na seleção de parentais (Silva et al., 2013). A análise desse grupo de cruzamentos é chamada de análise dialélica e fornece informações importantes, como a natureza dos parâmetros genéticos e os efeitos de capacidade de combinação (Singh e Chaudhary, 1979; Hallauer e Miranda Filho, 1985; Ramalho et al., 1993).

Sprague e Tatum (1942) expuseram o conceito de capacidade combinatória e foram os primeiros a fracionar o que se chamou de capacidade de combinação das linhagens, com base em seus valores genéticos. Esses autores aperfeiçoaram o conceito inicial de capacidade combinatória e estabeleceram a ideia básica de capacidade geral e específica de combinação. Em seus estudos sobre produtividade em milho, deduziram que a capacidade geral de combinação (CGC) foi relativamente mais importante que a capacidade específica de combinação (CEC) para linhagens endogâmicas sem seleção prévia, e que a CEC foi mais importante que a CGC para linhagens previamente selecionadas, interpretando a CGC como uma indicação de

genes tendo principalmente efeitos aditivos, e a CEC como indicativo de genes expressando efeitos de dominância e epistáticos.

O fundamento básico do trabalho de Sprague e Tatum (1942) serviu de orientação a inúmeras publicações que expuseram estes conceitos e os aplicaram em diversas espécies e características em propósitos distintos (Hallauer e Miranda Filho, 1985; Vencovsky e Barriga, 1992; Ramalho et al., 1993, 2012; Cruz et al., 2004; Cruz, 2006; Silva et al., 2013), inclusive para auxiliar a fase inicial de programas de melhoramento (Scapim et al., 2006b; Gonçalves-Vidigal et al., 2008). O trabalho de Sprague e Tatum teve grande repercussão na avaliação de linhagens endogâmicas e no melhoramento populacional de milho (Hallauer e Miranda Filho, 1985).

Os procedimentos mais utilizados na metodologia dialélica são os desenvolvidos por Griffing, Gardner e Eberhart e Hayman. O procedimento de Griffing muitas vezes é associado à análise de Gardner e Eberhart (1966), permitindo investigar também os efeitos heteróticos das cultivares, tornando a análise mais completa.

Griffing (1956) adotou um processo que estima os componentes de variância referentes à capacidade geral e específica de combinação. O procedimento envolve três conjuntos de genótipos: os parentais, F_1 's e os cruzamentos recíprocos. Griffing indicou quatro diferentes métodos alternativos de dialelo, variando conforme o material genético estudado na análise. O método 4, utilizado no presente estudo, é aquele onde somente os F_1 's estão presentes na análise. A metodologia analítica foi delineada para avaliar a capacidade de combinação, levando em conta o modelo 1 para efeito fixo e modelo 2 para efeito aleatório dos tratamentos (Singh e Chaudhary, 1979).

Quando os efeitos de tratamentos (genótipos) são considerados fixos, admite-se que os genótipos utilizados são os únicos de interesse, e o modelo empregado chama-se modelo fixo (Ramalho et al., 1993; 2012; Gonçalves e Fritsche-Neto, 2012). As conclusões a respeito de um efeito fixo são válidas somente para o próprio material de estudo (Cruz, 2005).

Efeitos fixos ou aleatórios resultam na obtenção de somas de quadrados e quadrados médios de modo semelhante, mas muda a esperança matemática dos quadrados médios, nas análises individuais e conjuntas de ambientes, resultando em valores diferentes para o teste F (Ramalho et al., 2000; Chaves, 2001). Esta

mudança pode alterar a conclusão da existência ou não de diferenças para a capacidade combinatória entre os diferentes ambientes e trazer implicações no desenvolvimento de programas de melhoramento para condições específicas de ambiente (Vencovsky e Barriga, 1992).

Os cruzamentos dialélicos e os estudos de capacidade combinatória têm sido muito utilizados por diversos autores desde as décadas de 1940-50, visando definir, explicar e interpretar os termos que traduzem a concepção desse método de análise. Assim, a capacidade geral de combinação (CGC) foi definida pelo desempenho médio de um parental em cruzamento com outros parentais, transmitindo o valor genético aditivo desse parental aos descendentes. A capacidade específica de combinação (CEC) está relacionada ao rendimento médio da descendência de um cruzamento entre dois progenitores específicos, equivalendo ao desvio entre esse rendimento e o rendimento esperado em razão da CGC dos progenitores envolvidos. A CEC indica os efeitos de dominância provenientes da interação entre alelos procedentes de cada progenitor e os efeitos epistáticos oriundos das interações entre os alelos de diferentes locos envolvidos na transmissão da característica em estudo (Hallauer e Miranda Filho, 1985; Ramalho et al., 1993, 2012; Pinto, 2009; Silva et al., 2013). A capacidade geral e específica de combinação são um exemplo interessante de componentes genéticos de médias (Vencovsky e Barriga, 1992).

Para a obtenção de informações mais completas da análise de cruzamentos no melhoramento, é rotina a condução de experimentos de cruzamentos dialélicos em diversos ambientes, realizando-se posteriormente a análise conjunta com o isolamento do efeito das interações de tratamentos com ambientes (Oliveira et al., 1987)

Para fazer a análise conjunta, realiza-se, inicialmente, a análise preliminar do delineamento experimental utilizado. Em seguida, faz-se a análise de variância (Anava) com os efeitos da CGC e CEC, segundo o modelo genético apropriadamente escolhido e para cada local separadamente. Na Anava conjunta, o quadrado médio (QM) residual é originário da análise preliminar do delineamento utilizado. A análise complementar é baseada em médias de tratamentos de "n" ambientes. Assim, para o desdobramento da soma de quadrados (SQ) de tratamentos na Anava conjunta e obtenção de valores de SQ dos efeitos principais e de suas interações com os ambientes, basta realizar a análise estatístico-genética

com as médias dos tratamentos dos diferentes ambientes. A partir dos quadrados médios das análises de variâncias de cada ambiente, são obtidas as estimativas dos parâmetros genéticos por local e depois para a média de locais (Vencovsky e Barriga, 1992).

Morais et al. (1991) apresentaram uma metodologia de análise conjunta, baseada em Gardner e Eberhart (1966), na qual cruzamentos dialélicos de variedades são repetidos em vários ambientes. Os autores apresentam o modo de obter a estimação de parâmetros e SQ pelo método dos quadrados mínimos. A Anava é contemplada com os efeitos de heterose de Gardner e Eberhart, interagindo com efeitos de ambientes.

A análise conjunta inclui interações de efeitos principais com ambientes. Por isso, Ferreira et al. (1993) apresentaram a metodologia de Griffing (1956) adaptada para vários ambientes, usando médias de tratamentos de todos os ambientes avaliados, resultando numa Anava combinada.

Miranda Filho e Vencovsky (1995) elaboraram uma metodologia para cálculo detalhado da SQ devido às interações simples e triplas, apresentando a Anava com efeitos da interação para um fatorial triplo. Esta metodologia é muito útil no melhoramento quando se trabalha com a avaliação de cruzamentos dialélicos repetidos em vários ambientes, nos quais se tem grupos de experimentos que envolvam locais, anos ou épocas, por exemplo. As fórmulas para obtenção da SQ da interação podem ser aplicadas a qualquer dos efeitos do modelo.

A predominância de efeitos da CGC ou da CEC se relacionam com a participação de genes de efeitos aditivos ou não aditivos, mas dependem também da existência ou não de dominância e da frequência alélica média dos locos que atuam na expressão da característica (Ramalho et al., 2012).

Usando a esperança matemática associada aos QM's, os delineamentos utilizando dialelos podem fornecer estimativas dos componentes de variância (modelo aleatório) e dos componentes quadráticos (modelo fixo), que serão usados para conhecimento da variabilidade genotípica dos caracteres, para subsídio aos programas de melhoramento (Cruz, 2005).

Dependendo da influência do grupo de genótipos utilizados nos cruzamentos (Hallauer e Miranda Filho, 1985), em geral predominam os efeitos não aditivos sobre os aditivos para produtividade em milho. Mas, utilizando cruzamentos dialélicos, vários trabalhos encontraram a predominância de efeitos aditivos para produtividade,

resistência a doenças ou capacidade de expansão em milho pipoca (Scapim et al., 2002; Simon et al., 2004; Freitas Júnior et al., 2006; Scapim et al., 2006a; Silva et al., 2011; Vieira et al., 2011) e também para resistência à mancha branca em milho (Nihei e Ferreira, 2012). Na análise de dialelos também predominam efeitos aditivos em outras características, como arquitetura de plantas em feijão (Silva et al., 2013) e eficiência a nitrogênio (Souza et al., 2008). O mesmo ocorreu para a eficiência a nitrogênio, utilizando um cruzamento fatorial (DoVale et al., 2012).

Por outro lado, nas análises dialélicas é comum encontrar efeitos não aditivos sendo predominantes para produtividade de grãos em milho (Gama et al., 2006; Nihei e Ferreira, 2012; Silva et al., 2013) e para eficiência na utilização de P (Parentoni et al., 2010; Fritsche-Neto et al., 2010; Mendes, 2012; DoVale e Fritsche-Neto, 2013). Nass et al. (2000) observaram tanto efeitos da CGC como da CEC como importantes para produção de grãos para todo o conjunto de híbridos de um dialelo, mas a CEC foi mais expressiva que a CGC à medida que se considerou apenas o subconjunto dos melhores híbridos, indicando uma expressiva contribuição dos efeitos da CEC para as combinações híbridas mais promissoras.

Em dialelos realizados em outras culturas e relacionados a estresses nutricionais, Jamjod et al. (1993), avaliando a capacidade combinatória de linhagens quanto ao número médio de grãos produzidos nas espiguetas de trigo, em condições limitantes de boro, verificaram maior importância do componente aditivo para a variação genotípica, sugerindo a possibilidade de transferir o caráter tolerância à deficiência de B para linhas susceptíveis por meio de retrocruzamentos, e a utilização das linhas tolerantes para o melhoramento, visando às áreas com o problema de boro.

Chaubey et al. (1994) analisaram a capacidade de perfilhamento sob condições de deficiência de P em arroz e encontraram a predominância da CGC sobre a CEC, sugerindo que pais tolerantes eram enriquecidos com genes de efeitos aditivos e pais susceptíveis com genes de efeitos não aditivos. Observaram que cruzamentos envolvendo dois parentais com alta CGC mostravam baixos efeitos de CEC, enquanto cruzamentos entre pais com baixa CGC manifestavam altos e significativos valores de CEC.

Oliveira et al. (1998) encontraram predominância de efeitos gênicos não aditivos na determinação das características matéria seca total, matéria seca da parte aérea, matéria seca das raízes, relação raiz:parte aérea, área foliar, altura da

planta, conteúdo de P total na planta e coeficiente de translocação de P, em um dialelo em casa de vegetação, em pimentão, sob baixa disponibilidade de P.

Em um dialelo completo entre cinco linhagens endogâmicas, Aguiar et al. (2003) observaram que tanto efeitos aditivos (CGC) como não aditivos (CEC) foram importantes para a produção de grãos em milho, com pelo menos parte dos genes envolvidos na característica possuindo ação dominante, e com linhagens participantes do HS de maior rendimento apresentando divergência entre si, por pertencerem a grupos heteróticos distintos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Materiais genéticos e obtenção dos F₁'s

3.1.1. Material genético utilizado

O desenvolvimento de linhagens por sucessivas autofecundações é uma rotina e uma fonte importante de pesquisas básicas e aplicadas em milho. É comum, também, em algumas situações, a seleção de linhagens endogâmicas com base em seu desempenho *per se*. Os genótipos utilizados neste estudo de eficiência à absorção de fósforo (P) foram nove linhagens endogâmicas de milho, com diferentes origens (Quadro 1).

Estas linhagens foram previamente selecionadas a campo pelo Programa de Melhoramento de Milho da Embrapa Milho e Sorgo para eficiência a P (Parentoni, 2008; Parentoni, comunicação pessoal).

As linhagens 1 e 2 (L3 e L228-3) eram linhagens elite em termos agrônômicos e de melhoramento. Para comparação da eficiência ao uso do P, foram usados, como testemunhas, os híbridos comerciais 2B707, P30F35, DK390, AG7088, BRS1055 e BRS1060, sendo os quatro primeiros responsivos à aplicação de nutrientes e os dois últimos derivados de linhagens eficientes no uso de P. Os híbridos comerciais testemunhas (exceto os da Embrapa) foram escolhidos com base em diversos experimentos de campo (dados não publicados), nos quais mostraram resposta às adubações.

As linhagens 1, 2 e 3 (L3, L228-3 e L36) foram selecionadas quanto a seu comportamento em dialelo, em solo com alto e baixo P (Parentoni et al., 2000; 2010). Parentoni e Souza Junior (2008) relatam também a classificação das linhas 7 (L22) e 8 (L53), como linhagens ineficientes no uso de P, em função de seu desempenho em campo com baixa disponibilidade de P.

O desenvolvimento de germoplasma na pesquisa pública pode contribuir com os programas privados (Mikel, 2011) e o aproveitamento genético dessas pesquisas pode servir à comunidade, o que foi feito no caso do BRS 1010, com eficiência a P (Parentoni et al., 2004; Ferreira, 2012).

Quadro 1 - Lista de genitores (linhagens endogâmicas), sua origem, ano de obtenção e nível de eficiência no uso de P

Genitores	Linhagem	Origem	Ano de obtenção	Eficiência no uso de P
1	L 3	Sintético Eficiente a fósforo	1999	Altamente eficiente
2	L 228-3	Sintético BR 106	1995	Eficiente
3	L36	Sintético de híbridos comerciais	1983	Medianamente Eficiente
4	L 56.800.79	Sintético de híbridos para Cerrado	2003	Eficiente
5	L 51502020	(CMS 5046 x L20)xL20	--	Eficiente
6	L 56.800.84	Sintético de híbridos para Cerrado	2003	Eficiente
7	L 22	BR 106	1983	Ineficiente
8	L 53	BR 111	1980	Ineficiente
9	L 56.800.67	Sintético de híbridos para Cerrado	2003	Ineficiente

3.1.2. Obtenção de F₁'s e número de tratamentos

Os cruzamentos seguiram o esquema dialélico completo do método 4 de Griffing (1956), no qual são incluídos os híbridos F₁'s, em um total de $n(n-1)/2$ combinações, com as linhagens representando um conjunto fixo de genótipos (Cruz, 2005). As sementes das linhagens parentais foram semeadas aos pares, e procedeu-se a cruzamentos manuais para obtenção dos F₁'s. Nesse esquema, foram obtidos 36 F₁'s a partir das nove linhagens parentais. Para todos os experimentos de avaliação fenotípica, foram necessários oito mil sementes de cada F₁. Em média, cerca de 50 espigas foram cruzadas para se obter três kg de sementes de cada cruzamento. Para cada F₁ foi semeada uma fileira de 20 metros de cada linhagem parental para todos os 36 pares de cruzamentos. O número de entradas nos experimentos de campo foi de 36 F₁'s e mais seis testemunhas, totalizando 42 tratamentos (Quadro 2).

3.2. Locais, épocas de semeadura, adubação e tratos culturais

3.2.1. Locais e épocas de semeadura dos experimentos

Os experimentos de campo para avaliação da eficiência no uso de P foram instalados em seis localidades nos anos agrícolas 2010/11 e 2011/12: Goiânia (GO), Londrina (PR), Ponta Grossa (PR), N.S^a das Dores (SE), Sete Lagoas (MG) e Passo Fundo (RS). As localidades corresponderam a áreas experimentais da Embrapa Arroz e Feijão, Embrapa Soja, Embrapa Produtos e Mercado-Escritório de Negócios de Ponta Grossa, Embrapa Tabuleiros Costeiros-Estação Experimental Jorge Sobral-Nossa Senhora das Dores, Embrapa Milho e Sorgo e Embrapa Trigo, respectivamente. A instalação dos experimentos ocorreu a partir do mês de outubro de cada ano agrícola, exceto em N.S^a das Dores, onde a semeadura ocorreu em junho. Em todos os ambientes, foram instalados dois experimentos, na mesma data e em área próxima, com a mesma população e tratos culturais semelhantes, variando apenas a presença ou não de P na semeadura. As localidades avaliadas representam diferentes condições edafoclimáticas (Quadro 3). As pluviosidades e temperaturas foram registradas em gráfico, a partir da data de plantio até 120 dias de desenvolvimento da planta (Figuras 1 e 2), para contemplar os diferentes ciclos dos genótipos.

Quadro 2 - Lista de tratamentos, respectivos cruzamentos, origem e testemunhas

Tratamentos	Cruzamentos	Origem
1	1x2	L 3 x L 228-3
2	1x3	L 3 x L 36
3	1x4	L 3 x L 56.800.79
4	1x5	L 3 x L 51502020
5	1x6	L 3 x L 56.800.84
6	1x7	L 3 x L 22
7	1x8	L 3 x L 53
8	1x9	L 3 x L 56.800.67
9	2x3	L 228-3 x L 36
10	2x4	L 228-3 x L 56.800.79
11	2x5	L 228-3 x L 51502020
12	2x6	L 228-3 x L 56.800.84
13	2x7	L 228-3 x L 22
14	2x8	L 228-3 x L 53
15	2x9	L 228-3 x L 56.800.67
16	3x4	L 36 x L 56.800.79
17	3x5	L 36 x L 51502020
18	3x6	L 36 x L 56.800.84
19	3x7	L 36 x L 22
20	3x8	L 36 x L 53
21	3x9	L 36 x L 56.800.67
22	4x5	L 56.800.79 x L 51502020
23	4x6	L 56.800.79 x L 56.800.84
24	4x7	L 56.800.79 x L 22
25	4x8	L 56.800.79 x L 53
26	4x9	L 56.800.79 x L 56.800.67
27	5x6	L 51502020 x L 56.800.84
28	5x7	L 51502020 x L 22
29	5x8	L 51502020 x L 53
30	5x9	L 51502020 x L 56.800.67
31	6x7	L 56.800.84 x L 22
32	6x8	L 56.800.84 x L 53
33	6x9	L 56.800.84 x L 56.800.67
34	7x8	L 22 x L 53
35	7x9	L 22 x L 56.800.67
36	8x9	L 53 x L 56.800.67
37	2 B 707	Testemunha 1
38	P 30 F 35	Testemunha 2
39	DK 390	Testemunha 3
40	AG 7088	Testemunha 4
41	BRS 1055	Testemunha 5
42	BRS 1060	Testemunha 6

Quadro 3 - Análise de solo (níveis de P, pH e matéria orgânica-M.O.), tipo de solo e altitude de seis localidades

Ambientes	Nível de P - ppm (mg/dm ³)				pH em água				M.O. (g/kg)			
	Com P		Sem P		Com P		Sem P		Com P		Sem P	
	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm	0-20 cm	20-40 cm
Goiânia	19,54	2,86	9,02	2,18	6,32	5,9	6,46	6,26	51,1	42,3	54,7	48,0
Londrina		31,46				6,3				2,605 dag/kg		
Ponta Grossa	24,14	9,20	8,91	4,67	4,99	4,81	4,85	4,78				
NS das Dores	11,9	8,4	1,6	1,7	4,7	4,8	4,8	4,6	23,5	19,4	15,2	10,5
Sete Lagoas		18,84	2,57	1,25		6,2	5,2	4,8		3,95	4,8 dag/kg	--
Passo Fundo		90,98		48,63		5,3		4,9		3,44 dag/kg		3,08 dag/kg

	Tipo de solo	Altitude
Goiânia	LVw2-Latossolo Vermelho Ácrico típico, textura argilosa	823
Londrina	Latossolo Vermelho Distroférico típico, textura muito argilosa	593
Ponta Grossa	Latossolo Vermelho Escuro (LVE), textura média	886
NS das Dores	Latossolo Amarelo Distrocoeso típico, textura média/argilosa, epieutrófico	209
Sete Lagoas	Latossolo Vermelho Escuro-fase cerrado	747
Passo Fundo	Nitossolo Vermelho Distroférico Latossólico	692

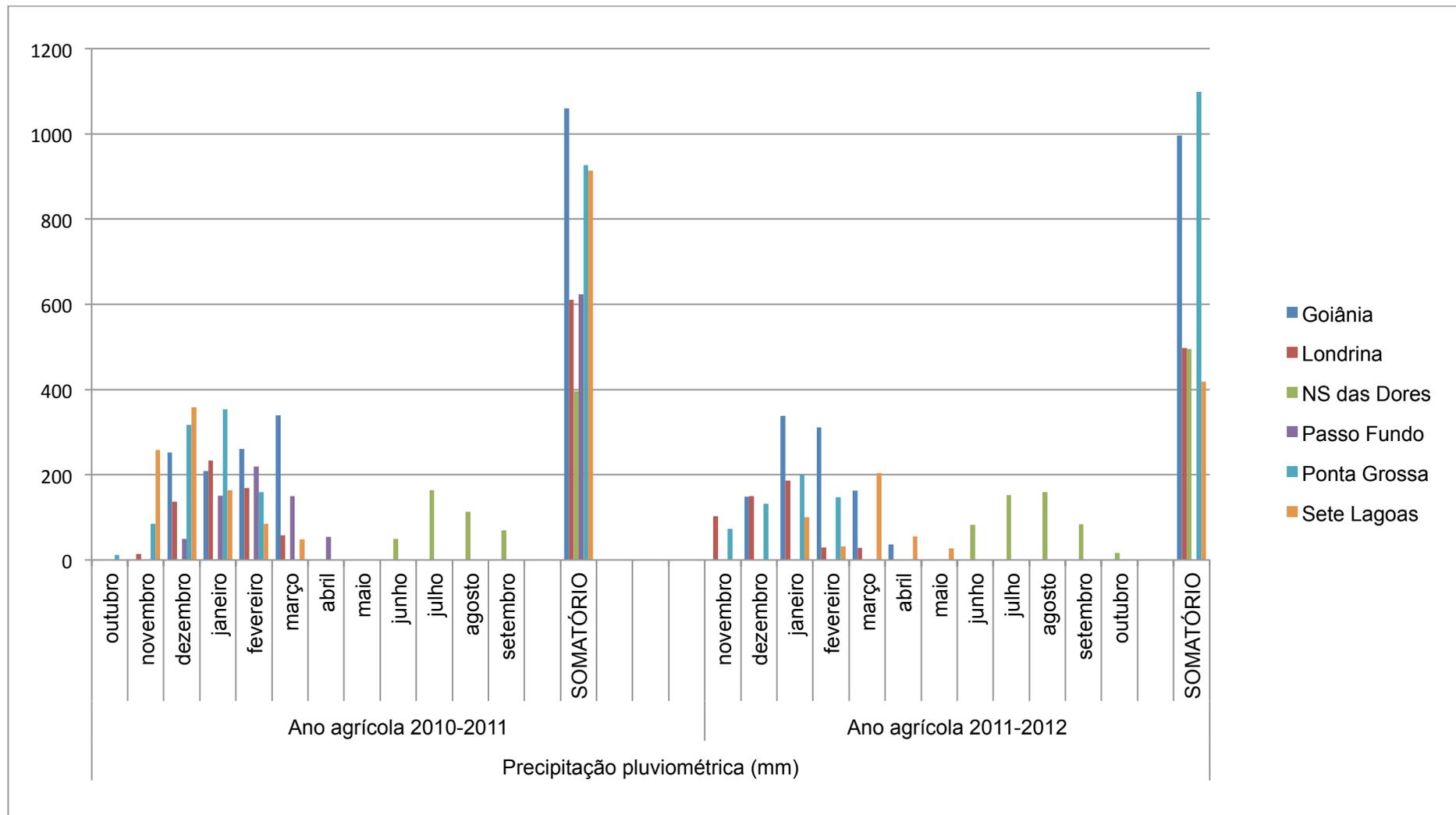


Figura 1 - Precipitação pluvial (mm) dos anos agrícolas de 2010-11 (seis localidades) e 2011-12 (cinco localidades).

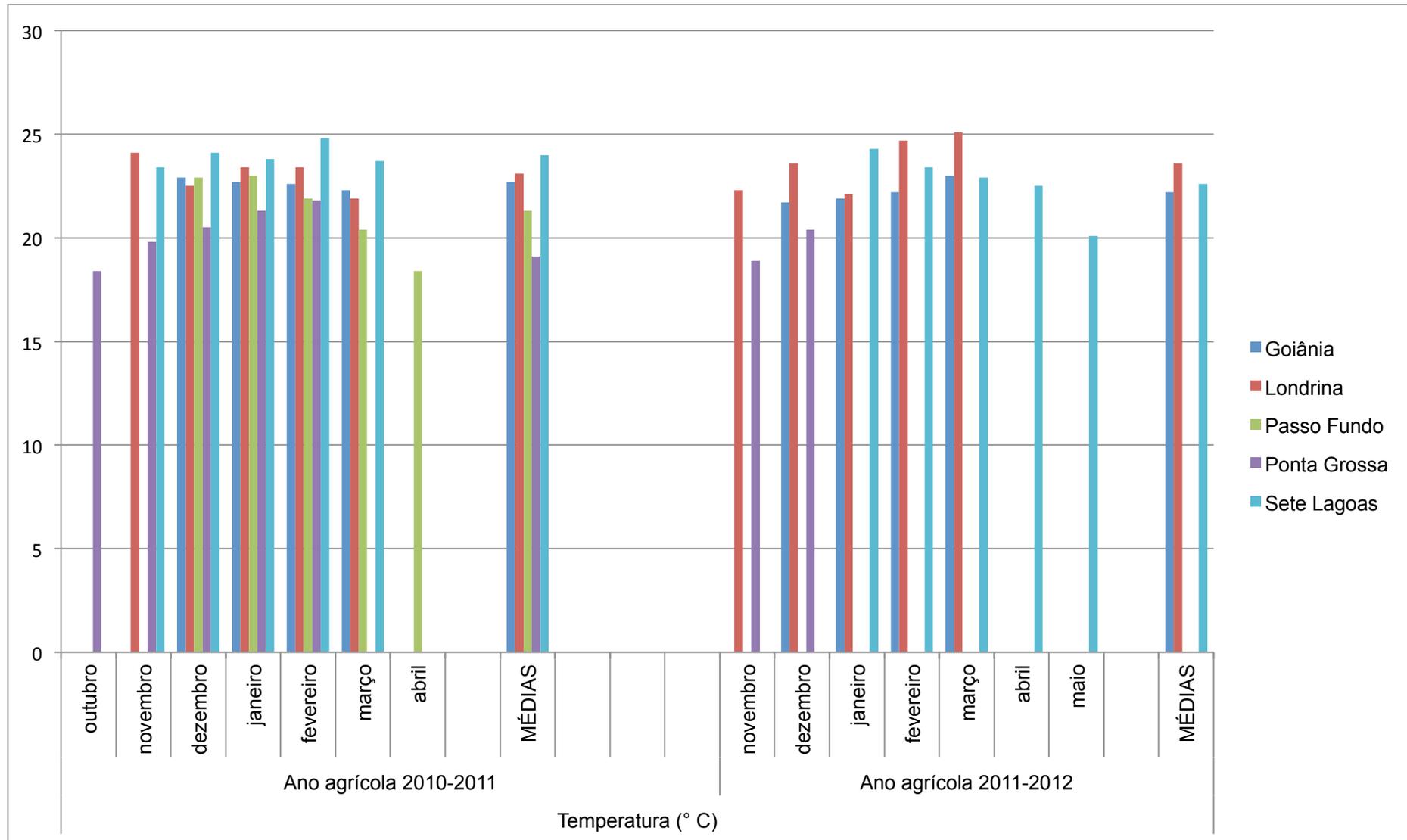


Figura 2 - Temperatura média (°C) nos anos agrícolas de 2010-11 (seis localidades) e 2011-12 (cinco localidades)

As datas de semeadura estão expostas no Quadro 4. A título de ilustração, em Londrina, no ano agrícola de 2012, durante o desenvolvimento dos experimentos, houve menor volume pluvial e temperaturas maiores em um verão mais quente e seco.

Em Sete Lagoas e N.S^a das Dores, o experimento de baixo P foi instalado em área separada, em função de diferença existente entre os níveis de P no solo.

No ambiente de Sete Lagoas, os dois experimentos idênticos foram instalados em áreas bem distintas, com baixo e alto níveis originais de P no solo. A primeira área era um Latossolo Vermelho Escuro Distrófico - fase Cerrado, com solo caracteristicamente de baixa fertilidade e nível próximo de 2,0 ppm de P. A segunda área constituía-se num ambiente com mesmo tipo de solo, mas corrigido e com boa fertilidade, com 18,84 ppm de P. Nos ambientes de Passo Fundo, Ponta Grossa, Goiânia e N.S^a das Dores, os solos encontravam-se corrigidos e de fertilidade média a alta. A área experimental de Londrina foi um dos ambientes de maior fertilidade natural, com altos níveis de P no solo, porém com baixa biodisponibilidade.

3.2.2. Adubação utilizada nos experimentos

Todos os experimentos de campo tiveram dois níveis de P por ocasião da semeadura: um experimento sem nenhum P na adubação de semeadura, apenas com N e K; outro experimento com P adicionado equivalente a 112 kg de P₂O₅ ha⁻¹, o que correspondeu a 400 kg ha⁻¹ da fórmula 8-28-16 (NPK). Os nutrientes N e K tiveram a seguinte dosagem: 32 kg de N e 64 kg de K₂O ha⁻¹. A adubação em cobertura foi realizada com seis folhas totalmente desenvolvidas, na dosagem de 90 kg de N ha⁻¹.

Análises de solo, pelo extrator Mehlich 1, foram realizadas para obtenção do nível de P. A instalação de dois experimentos idênticos, com e sem P no momento da semeadura, foi uma simulação da condição de baixo P, para que o contraste nutricional se manifestasse na avaliação fenotípica (Parentoni et al., 2011). Híbridos podem ser caracterizados quanto à sua eficiência a P em solo natural, sem cultivo, mas esta avaliação não deve se realizar em solo com teor muito baixo de P, sob pena de morte das plantas (Fernandes e Muraoka, 2002) e perda de informação quanto à variabilidade genética.

Quadro 4 - Datas de semeadura dos experimentos de campo realizados nos anos agrícolas de 2010-11 (seis ambientes) e 2011-12 (cinco ambientes)

Ano agrícola	Datas de Semeadura					
	Goiânia	Londrina	Ponta Grossa	NS das Dores	Sete Lagoas	Passo Fundo
2010-11	01 dez.	24 nov.	22 out.	09 jun.	02 nov.	16 dez.
2011-12	15 dez.	08 nov.	02 nov.	02 jun.	17 jan.	–

3.3. Experimentos para avaliação fenotípica

Na experimentação genética, geralmente ocorrem interações genótipo x ambiente, ocasionando uma especificidade genotípico ambiental, o que exige avaliações fenotípicas em distintos ambientes (Vencovsky e Barriga, 1992).

Os experimentos para avaliação fenotípica dos F_1 's foram conduzidos a campo e em câmara de crescimento. Os experimentos em câmara de crescimento foram realizados na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas-MG, enquanto os experimentos de campo foram instalados em dois anos agrícolas, nas seis localidades citadas no item 3.2.1.

3.3.1. Avaliação dos F_1 's em solução nutritiva em câmara de crescimento

A massa seca das raízes e parte aérea de cada tratamento F_1 foram avaliadas em câmara de crescimento, utilizando solução nutritiva com dois níveis de P. Para isso, os experimentos constaram de duas etapas: uma com baixo P e outra com alto P na solução.

Em cada etapa foram utilizadas 138 "pastas de arquivo", instrumentos de apoio para avaliação do sistema radicular, correspondentes a 46 tratamentos, no delineamento inteiramente casualizado (DIC), com três repetições. As condições controladas de fotoperíodo e temperatura reduziram os riscos de interação ambiental entre as duas etapas. O número de entradas nos experimentos de câmara de crescimento foi de 36 F_1 's, mais nove linhagens parentais e uma testemunha padrão, totalizando 46 tratamentos ou genótipos (Quadro 5).

Na rotina de execução dos trabalhos em solução nutritiva, na câmara de crescimento, as sementes foram inicialmente desinfetadas em hipoclorito de sódio (0,5%), por cinco minutos, e colocadas para germinar em rolo de papel mata borrão umedecido (24x 33x 0,02 cm). Quatro dias após a germinação, três plântulas uniformes de cada tratamento foram selecionadas (Figura 3) e transferidas para

Quadro 5 - Lista de tratamentos, respectivos cruzamentos e genitores, origem e testemunha, nos experimentos de câmara de crescimento

Tratamentos	Cruzamentos	Origem
1	1x2	L 3 x L 228-3
2	1x3	L 3 x L 36
3	1x4	L 3 x L 56.800.79
4	1x5	L 3 x L 51502020
5	1x6	L 3 x L 56.800.84
6	1x7	L 3 x L 22
7	1x8	L 3 x L 53
8	1x9	L 3 x L 56.800.67
9	2x3	L 228-3 x L 36
10	2x4	L 228-3 x L 56.800.79
11	2x5	L 228-3 x L 51502020
12	2x6	L 228-3 x L 56.800.84
13	2x7	L 228-3 x L 22
14	2x8	L 228-3 x L 53
15	2x9	L 228-3 x L 56.800.67
16	3x4	L 36 x L 56.800.79
17	3x5	L 36 x L 51502020
18	3x6	L 36 x L 56.800.84
19	3x7	L 36 x L 22
20	3x8	L 36 x L 53
21	3x9	L 36 x L 56.800.67
22	4x5	L 56.800.79 x L 51502020
23	4x6	L 56.800.79 x L 56.800.84
24	4x7	L 56.800.79 x L 22
25	4x8	L 56.800.79 x L 53
26	4x9	L 56.800.79 x L 56.800.67
27	5x6	L 51502020 x L 56.800.84
28	5x7	L 51502020 x L 22
29	5x8	L 51502020 x L 53
30	5x9	L 51502020 x L 56.800.67
31	6x7	L 56.800.84 x L 22
32	6x8	L 56.800.84 x L 53
33	6x9	L 56.800.84 x L 56.800.67
34	7x8	L 22 x L 53
35	7x9	L 22 x L 56.800.67
36	8x9	L 53 x L 56.800.67
37	BRS 1010	Testemunha Padrão
38	Genitor 1	L3
39	Genitor 2	L 228-3
40	Genitor 3	L 36
41	Genitor 4	L 56.800.79
42	Genitor 5	L 51.50.2020
43	Genitor 6	L 56.800.84
44	Genitor 7	L 22
45	Genitor 8	L 53
46	Genitor 9	L 56.800.67

bandejas, contendo solução nutritiva de Magnavaca (Magnavaca et al., 1987), em um sistema chamado "pastas de arquivo" (Figura 4). Cada pasta representava uma unidade experimental ou parcela, com três plantas, que, em conjunto, formaram cada uma das três repetições. As plântulas de milho foram dispostas na pasta, forrada com papel de germinação. Esta pasta ficou submersa parcialmente (três cm finais) na solução nutritiva, a qual foi trocada a cada três dias e mantida em pH 5,65. Duas doses de P foram utilizadas: 2,5 e 250 μM de concentração, representando os tratamentos de baixo e alto P, respectivamente (Sousa et al., 2010b; De Sousa et al., 2012). As bandejas foram acondicionadas em câmara de crescimento em temperatura diurna média de $27 \pm 3^\circ\text{C}$, noturna de $20 \pm 3^\circ\text{C}$, em luz de $330 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e fotoperíodo de 12 horas.

A coleta de plantas foi realizada aos 12 dias após a germinação (DAG) (Figura 5). As plantas foram cortadas no coleto e a parte aérea foi separada da raiz, para avaliação da proporção raiz/parte aérea e obtenção de massa verde.

3.3.1.1. Quantificação do conteúdo de P

Amostras de raízes e da parte aérea coletadas de três plântulas, crescidas em solução nutritiva em baixo e alto P, foram desidratadas em estufa a 65°C , até peso constante, para determinação da massa seca. As amostras foram moídas, homogeneizadas e sofreram quantificação analítica do P pelo método espectrofotométrico do azul de molibdênio (Silva, 1999). As análises foram realizadas no Laboratório de Análises Químicas de Plantas da Embrapa Milho e Sorgo e no Laboratório de Análises Químicas da Universidade Federal de Viçosa.

3.3.1.2. Avaliação morfológica do sistema radicular

As raízes das plantas crescidas em solução nutritiva foram avaliadas quanto ao seu volume e morfologia, seguindo o método de fotografia digital de Famoso et al. (2010). O sistema radicular foi quantificado por análise de imagens utilizando processos de projeção e limiarização. A limiarização segmenta imagens por meio das diferenças de níveis de cinza, transformando uma imagem definida pelos níveis de cinza em imagem definida a preto e branco (binário).

As imagens das raízes foram inicialmente capturadas com uma câmara de fotografia digital Nikon SLR D300s, com lente macro 60 milímetros, afixada a um

suporte e calibrada (Figura 6). As imagens foram analisadas usando o software Root Reader 2D (<http://www.plantmineralnutrition.net/rootreader.htm>) e WinRhizo (<http://www.regent.qc.ca/>). O sistema radicular de cada planta foi espalhado em uma bandeja transparente, cheia de água, iluminada por baixo, e fotografado.

As imagens capturadas foram convertidas para um formato de escala de cinza e limiarizadas usando o software RootReader2D. Durante a limiarização, as intensidades de pixel foram invertidas, e as raízes escuras foram separadas do fundo iluminado, usando um filtro duplo. As imagens limiarizadas foram importadas para o software WinRhizo, para análise e quantificação das características radiculares. As imagens foram analisadas usando uma grade de calibração, como uma escala de referência. Foram utilizados quatro caracteres radiculares considerados adequados para representar a diversidade entre genótipos em solução nutritiva: comprimento radicular (cm), diâmetro médio (mm), volume (cm^3) e volume de raízes finas (cm^3) com diâmetro entre 1 e 2 mm (De Sousa et al., 2012)

As medidas radiculares visam diferenciar os genótipos quanto à eficiência na aquisição de P, além do conteúdo de P na parte aérea e da proporção raiz:parte aérea, como indicado por Sousa et al. (2010b). A Anava dos caracteres de morfologia e volume radiculares e testes de comparação de médias foram feitos no programa SISVAR (Ferreira, 2008). A Figura 7 ilustra a variabilidade na morfologia radicular entre os genótipos avaliados. O comprimento radicular total, por exemplo, é uma das características que podem ser diferenciadas entre uma linhagem eficiente (L3) e outra ineficiente a P (L22).

3.3.2. Avaliação de campo, delineamento experimental e população de plantas

Na experimentação genética, é importante considerar o delineamento experimental (Vencovsky e Barriga, 1992; Ramalho et al., 2000). Para a análise da eficiência no uso do P, os F_1 's foram avaliados fenotipicamente em dois anos agrícolas, 2010/11 e 2011/12, em seis localidades diferentes. Em cada ambiente, foram avaliados dois experimentos distintos: com e sem P na adubação de semeadura.

A parcela experimental utilizada na semeadura foi constituída de uma fileira de 4,0 metros de comprimento, com espaçamento de 0,80 metro. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados (DBC), com três repetições. Os blocos e os



Figura 3 - Papel mata-borrão, contendo plântulas de milho (a); plântulas recém germinadas (b) e plântulas uniformemente selecionadas (c).

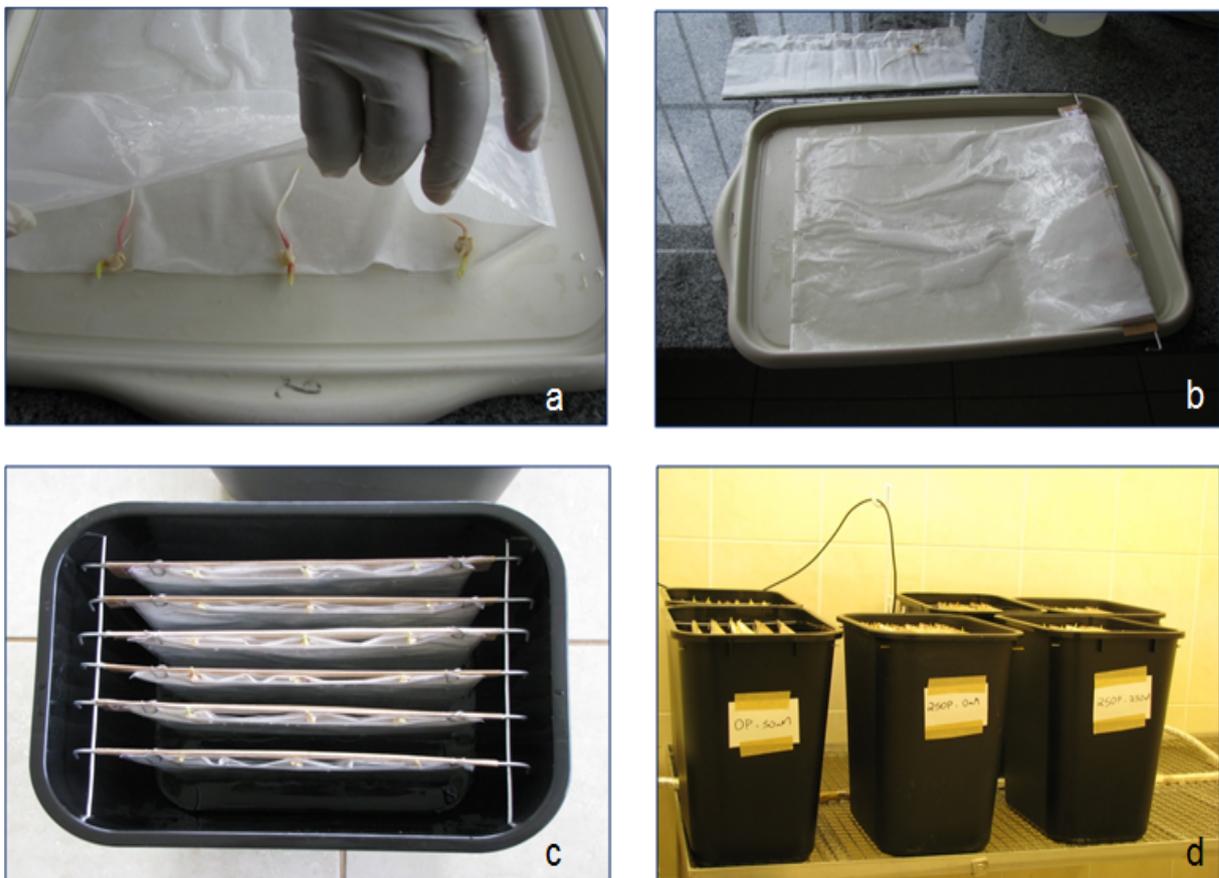


Figura 4 - “Pasta arquivo” com três plântulas de milho selecionadas (a); bandeja para embebição da “pasta arquivo” em solução nutritiva (b); “pasta arquivo” submersa em recipientes contendo três cm de solução nutritiva (c); e disposição dos recipientes contendo as “pastas arquivo” em delineamento inteiramente casualizado em câmara de crescimento (d). Fotos: Sylvia Morais de Sousa.

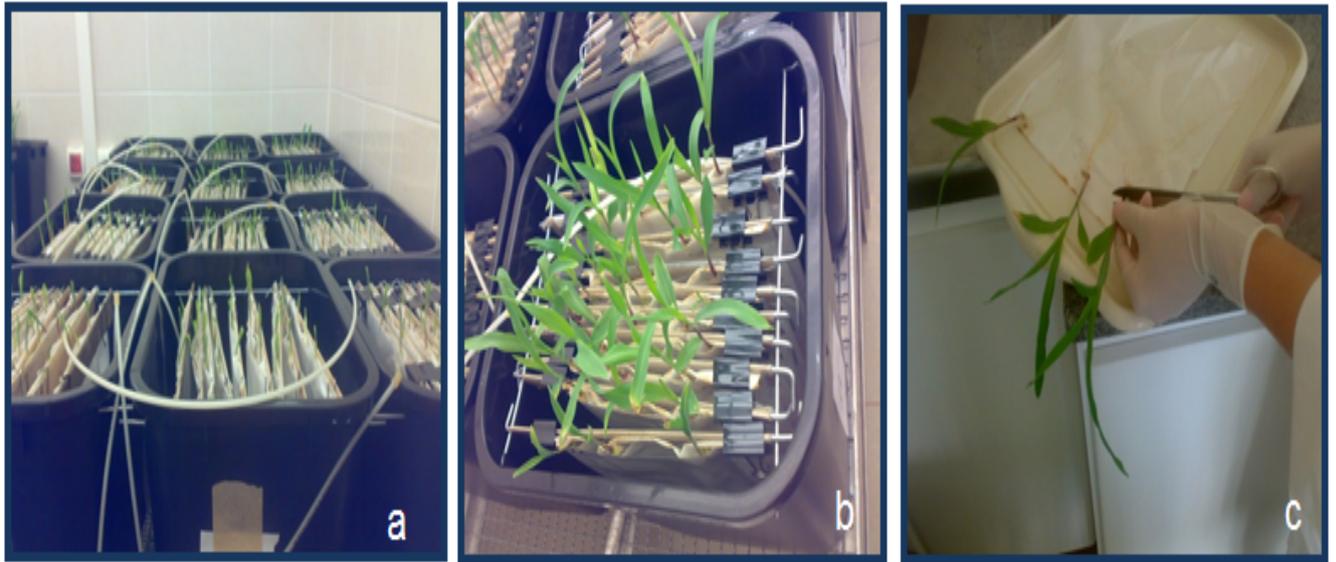


Figura 5 - “Pastas arquivo” com plântulas de milho em desenvolvimento (a); plântulas em solução nutritiva aos 12 dias após a emergência (b); e coleta do sistema radicular (c).

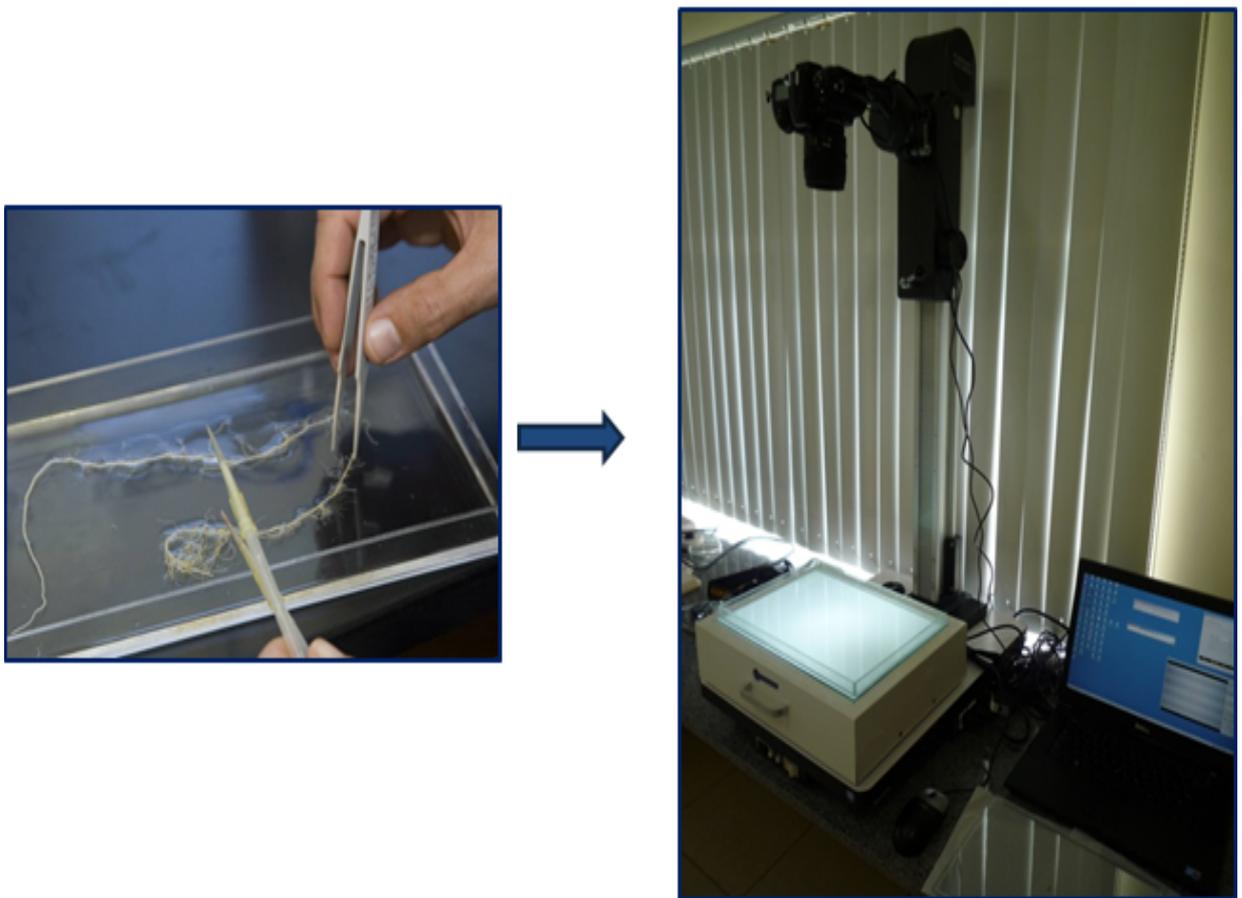
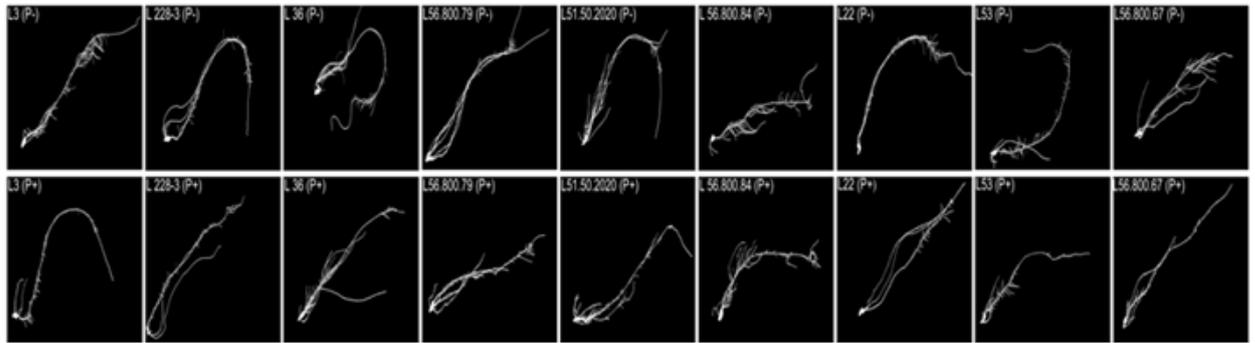
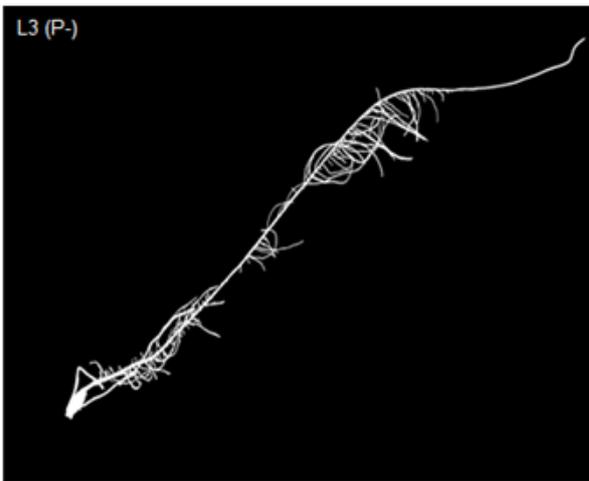


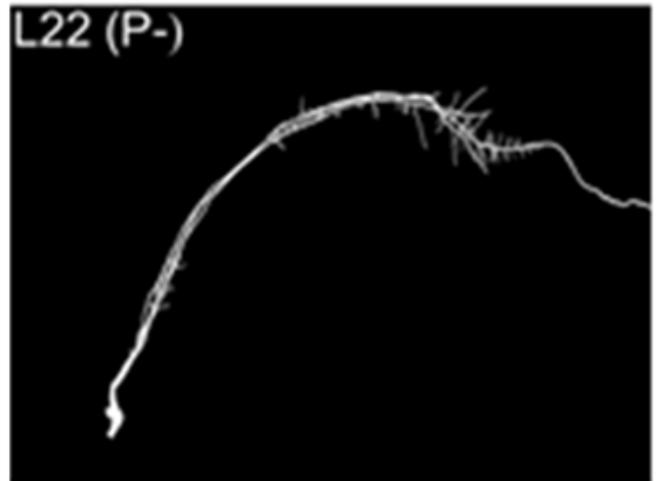
Figura 6 - Equipamentos para quantificação da morfologia radicular por meio da análise de imagens de raízes, utilizando fotografia digital e os processos de projeção e limiarização. Fotos: Sylvania Moraes de Sousa.



a



b



c

Figura 7 - Morfologia do sistema radicular de nove linhagens em solução nutritiva, em baixo (P-) e alto (P+) fósforo, em câmara de crescimento (a); linhagem L3, eficiente a P, com maior comprimento total de raízes (b); linhagem L22, não eficiente a P, com menor comprimento total de raízes (c).

tratamentos dentro de cada bloco foram sorteados (Miranda Filho, 1987; Ramalho et al., 2000). Nesta situação, os blocos chamados de completos contêm todos os tratamentos, retendo certa heterogeneidade ambiental dentro de blocos, em relação a blocos incompletos. Entretanto, as análises de variância (Anavas) podem ser realizadas com facilidade e a existência de um controle local reduz parte da variação residual (Ramalho et al., 2000).

Duas sementes nuas (sem tratamento químico) foram semeadas por cova. Quarenta sementes foram semeadas por fileira, com espaçamento de 20 cm entre covas. O desbaste foi feito para garantir o estande desejado, de 20 plantas por fileira, equivalente a 62.500 plantas ha^{-1} e o estande final foi anotado. O controle de pragas e demais tratos culturais foram aqueles normalmente utilizados no milho. A irrigação para germinação não foi necessária, mas seria usada eventualmente

durante o processo germinativo para que o estresse hídrico não interferisse nos resultados.

A massa de grãos foi a principal característica utilizada para a análise genética nos experimentos de campo e foi anotada em kg/parcela. Para a realização das análises estatísticas, a massa de grãos foi corrigida para kg ha⁻¹ a 13% de umidade. Adicionalmente, foram anotados a porcentagem de umidade dos grãos, florescimento masculino e feminino, altura e acamamento + quebramento de plantas, em alguns dos locais ensaiados.

3.4. Análises estatístico-genéticas

Na experimentação com plantas, há influência decisiva do local (ambiente-A) sobre os efeitos de tratamentos (genótipos-G) (Pimentel-Gomes, 1985) e é importante avaliar a magnitude das interações do tipo genótipos x ambientes (GxA) (Nass et al., 2000; Chaves, 2001). A avaliação em um único ambiente inflaciona a média geral pelo efeito de locais e o efeito genotípico pela interação GxA (Resende, 2007). O estudo da interação GxA é feito por meio da análise de variância conjunta de grupos de experimentos (Pimentel-Gomes, 1985; Vencovsky e Barriga, 1992).

A partir dos experimentos com repetições, os dados dos caracteres massa de grãos (kg ha⁻¹), da morfologia e volume radiculares, da massa seca de raízes e parte aérea e conteúdo de P foram submetidos à análise de variância individual e conjunta, quando possível. As médias de tratamentos foram comparadas e agrupadas pelo teste de Scott-Knott (5%) pelo Programa GENES 6.1 (Cruz, 2006) e SISVAR (Ferreira, 2008), conforme a significância dos resultados. Na análise preliminar, as estatísticas de médias e variâncias foram realizadas pelo programa SAS versão 9.2 para Windows (SAS Institute Inc., 2008).

As análises estatístico-genéticas, baseadas nas médias das combinações e de ambientes, para estudos de parâmetros genéticos (Vencovsky, 1987) da eficiência a P, bem como para obtenção dos erros experimentais associados a elas, foram realizadas pelo software GENES (Cruz, 2006), com base no modelo estatístico de cruzamentos dialélicos exposto por Cruz et al. (2004). Esse modelo seguiu o método 4, desenvolvido por Griffing (1956), que inclui apenas médias de combinações híbridas F₁'s. O modelo linear é expresso por $Y_{ij} = m + g_i + g_j + s_{ij} + \bar{\epsilon}_{ij}$, em que

Y_{ij} : valor médio da combinação híbrida ij ;
 m : efeito médio geral de todos os F_1 's do dialelo;
 g_i , g_j : efeitos da capacidade geral de combinação do i -ésimo e j -ésimo progenitor, respectivamente;
 s_{ij} : efeito da capacidade específica de combinação para os cruzamentos envolvendo os progenitores i e j ;
 $\bar{\epsilon}_{ij}$: erro experimental médio associado às médias da tabela dialélica.

3.5. Avaliação da capacidade combinatória das linhagens

As linhagens endogâmicas de milho podem ser facilmente obtidas por sucessivas autopolinizações e são muito usadas na produção de híbridos. Quando grupos de linhagens possuem características desejadas e distintas, têm utilidade especial em estudos genéticos de herança.

A análise genética para a avaliação da capacidade combinatória das linhagens deste trabalho utilizou as médias de cruzamentos para a composição da tabela dialélica. As análises seguiram a metodologia descrita por Griffing (1956), método 4, modelo fixo, que inclui $n(n-1)/2$ combinações F_1 's (Miranda Filho e Gorgulho, 2001), conforme o esquema do Quadro 6. Esta metodologia estima os efeitos de capacidade combinatória, medida pela diferença entre a média do cruzamento e a média geral de todos os cruzamentos (Vencovsky, 1987), refletindo o quanto as linhagens carregam de alelos favoráveis ao caráter.

No método 4 de Griffing (1956) não estão incluídas as linhagens progenitoras, o que evita problemas experimentais na condução das avaliações (Cruz e Vencovsky, 1989). O modelo de Griffing (1956) desdobra a capacidade de combinação em capacidade geral e específica de combinação, para refletir o valor genético das linhagens avaliadas.

O efeito da capacidade geral de combinação (CGC) permite uma informação sobre o comportamento médio de cada linhagem em cruzamento com todas as demais, enquanto que o efeito da capacidade específica de combinação (CEC) informa o desempenho específico de cada combinação híbrida e nos diz o quanto do comportamento genético do híbrido não pode ser explicado apenas pela CGC dos genitores (Cruz e Vencovsky, 1989; Ramalho et al, 2012).

Quadro 6 - Esquema dialélico apenas com híbridos F₁'s entre nove genitores

Genitores	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1		Y ₁₂	Y ₁₃	Y ₁₄	Y ₁₅	Y ₁₆	Y ₁₇	Y ₁₈	Y ₁₉
2			Y ₂₃	Y ₂₄	Y ₂₅	Y ₂₆	Y ₂₇	Y ₂₈	Y ₂₉
3				Y ₃₄	Y ₃₅	Y ₃₆	Y ₃₇	Y ₃₈	Y ₃₉
4					Y ₄₅	Y ₄₆	Y ₄₇	Y ₄₈	Y ₄₉
5						Y ₅₆	Y ₅₇	Y ₅₈	Y ₅₉
6							Y ₆₇	Y ₆₈	Y ₆₉
7								Y ₇₈	Y ₇₉
8									Y ₈₉
9									

3.6. Estudos genéticos da eficiência no uso de P

Com base nas análises de variância e nas esperanças matemáticas de quadrados médios, foram determinados os componentes quadráticos para tratamentos (Quadro 7) e sua decomposição em termos da capacidade combinatória, que expressam a variabilidade do material genético fixo (Cruz et al., 2004), visando ao entendimento dos efeitos genéticos envolvidos na eficiência a P.

A capacidade combinatória das linhagens e cruzamentos foi decomposta em suas estimativas de capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC), segundo Griffing (1956), informando sobre o controle genético da eficiência produtiva a P. A capacidade de combinação das linhagens endogâmicas é o principal fator que determina a futura utilidade dessas linhagens para a produção de híbridos, mas não deve ser esquecido que as estimativas de CGC e CEC são relativas e dependem do conjunto particular de linhagens incluídas nos híbridos sob avaliação (Hallauer e Miranda Filho, 1985).

Quadro 7 - Esquema da Anava para dialelos balanceados envolvendo apenas híbridos F₁'s, segundo metodologia de Griffing (1956), para modelo fixo

FV	GL	QM	F	E(QM)
CGC	p - 1	QMG	QMG/QMR	$\sigma^2_{\epsilon} + \sigma^2_s + (p - 2)\hat{\Phi}_g$
CEC	p(p-3)/2	QMS	QMS/QMR	$\sigma^2_{\epsilon} + \hat{\Phi}_s$
Resíduo	f	QMR		σ^2_{ϵ}

Componentes quadráticos associados aos efeitos da CGC e CEC para modelo fixo

$$\hat{\Phi}_g = (QMG - QMR)/(p - 2)r$$

$$\hat{\Phi}_s = (QMS - QMR)/r$$

O termo capacidade geral de combinação (CGC) foi utilizado neste trabalho para designar a performance média das linhagens (progenitores) numa série de combinações híbridas e a capacidade específica de combinação (CEC) para designar os casos nos quais algumas combinações híbridas são relativamente melhores ou piores do que o que seria esperado com base na performance média das linhagens parentais utilizadas (Hallauer e Miranda Filho, 1985). As estimativas de CGC obtidas estão associadas aos efeitos aditivos dos alelos e às ações epistáticas do tipo aditivo. As da CEC estão associadas aos efeitos gênicos não aditivos e epistases envolvendo dominância, sendo a combinação híbrida mais favorável aquela de maior CEC, em que um dos progenitores possui a maior CGC. Esta situação trata, portanto, do resultado do cruzamento entre o progenitor selecionado com base na CGC e aquele cuja frequência de alelos favoráveis é maior que a frequência média da população e com alta divergência em relação à linhagem com a qual foi cruzado (Cruz e Vencovsky, 1989).

Nos cálculos das estimativas da CGC, quando estas são de maior magnitude que as da CEC, considera-se a predominância de efeitos aditivos sobre os não aditivos na expressão da característica, desde que observada a ressalva de ausência de dominância e frequências alélicas médias de 0,5 nos progenitores, pois, nesse caso, não há contribuição dos locos em heterozigose na estimativa da CGC (Ramalho et al., 2012). A superioridade do componente quadrático associado aos efeitos da CGC normalmente é verificada em dialelos, nos quais os progenitores não sofreram seleção prévia para o caráter em estudo (Cruz et al., 2004).

Se efeitos não aditivos forem predominantes, espera-se maior possibilidade de selecionar para a eficiência a P explorando híbridos. Se efeitos aditivos predominarem, podem-se utilizar as linhagens com maior efeito da CGC para formar populações sintéticas e extrair novas linhagens, fazendo reciclagem e recombinações, para juntar alelos favoráveis na população.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Estande médio, produtividade média e CV nos dois anos agrícolas

Neste trabalho, visando à eficiência no uso do fósforo (P), os resultados de produtividade de grãos foram as principais informações coletadas. Em média, a produtividade de grãos nos experimentos foi ligeiramente maior no primeiro ano de avaliação, pois no segundo ano ocorreu algum déficit hídrico na maioria dos ambientes (Quadro 8).

O estande médio nos diversos ambientes (anos agrícolas e locais) variou pouco, ficando em torno de 18,5 plantas por parcela, quando o ideal seriam 20 plantas (Quadro 9). No primeiro ano, os experimentos sem P na adubação de semeadura foram os que tiveram menor estande médio. Não foram feitas correções de produtividade em função de estande. No ambiente de Sete Lagoas, ocorreram os menores estandes médios. O solo de fertilidade natural baixa, na situação sem P na adubação de semeadura, pode ter comprometido o desenvolvimento, arranque inicial e formação da plantas de alguns tratamentos, devido ao forte estresse no ambiente, condição desfavorável ao desenvolvimento do milho. A caracterização quanto à eficiência a P pode se realizar em solo natural, com baixo nível de P, mas as condições de estresse potencializadas pela acidez e baixa fertilidade geral podem provocar plantas raquíticas e de baixo desenvolvimento, comprometendo a avaliação da eficiência ao nutriente (Fernandes e Muraoka, 2002). As condições adversas de solo e clima se refletirão nas estimativas dos efeitos ambientais, que constituem importante fonte de variação (Nass et al., 2000).

A queda na produtividade de grãos no segundo ano de avaliação pode ser observada pelas médias obtidas. Em Passo Fundo perderam-se os experimentos de 2011/12 em função de forte estiagem, resultando, no segundo ano de avaliação, no aproveitamento de cinco locais e não seis como previsto. O menor volume de precipitações pluviais em 2012 pode ser visualizado nas medições de Goiânia, Londrina e Sete Lagoas (Figura 1), além da estiagem ocorrida em Passo Fundo, não anotada em função da perda do experimento.

Pela verificação da média geral dos 42 tratamentos, a ausência de P proporcionou menores perdas de produtividade em relação à presença de P na

Quadro 8 - Médias de produtividade de grãos (kg ha⁻¹) de 36 híbridos entre nove linhagens endogâmicas de milho para avaliação da eficiência a P. Dados de três repetições para 42 tratamentos em seis localidades (ano 2011) e cinco localidades (ano 2012), obtidos no delineamento em blocos casualizados, com e sem P na adubação de sementeira, incluindo seis testemunhas comerciais

Ano 2011												
Cruza mentos	Com P na adubação de sementeira						Sem P na adubação de sementeira					
	Goiânia	Londrina	Ponta Grossa	N.S ^a das Dores	Sete Lagoas	Passo Fundo	Goiânia	Londrina	Ponta Grossa	N.S ^a das Dores	Sete Lagoas	Passo Fundo
1x2	9376	11779	11559	8036	12879	10427	10175	11373	11264	7034	5112	7859
1x3	7017	7771	10330	7416	11111	8245	7940	7719	8810	8510	5623	5947
1x4	7569	8252	7863	8637	8658	7369	7911	7207	9231	7508	4345	7736
1x5	10182	9203	10289	8911	8931	9956	10443	10220	9559	8200	5620	8925
1x6	8949	8122	10221	6724	9537	7683	8200	8161	9384	6651	4278	6971
1x7	8457	11326	12097	7034	10436	8230	8275	9681	12170	6961	5349	8458
1x8	9403	9729	9210	6378	10633	8474	8671	9598	10244	6250	5758	5238
1x9	9534	9048	10864	8236	10258	9262	8903	9177	10763	7726	4628	9207
2x3	10238	10727	13020	8947	11200	8472	9297	9421	10943	6050	3775	7660
2x4	8337	8635	10377	6177	10337	7805	8649	8745	9967	6232	3899	4794
2x5	10573	10766	11398	9676	12411	11278	8940	10755	10112	7981	5410	9994
2x6	7824	8476	9758	5886	8739	6925	7144	5870	6420	5886	3083	3788
2x7	8503	9636	10306	6050	9394	8118	7790	10063	10966	5521	3862	6639
2x8	8031	9512	9410	6250	9903	8515	6915	10010	10873	5977	2573	6729
2x9	9476	11449	12376	8455	10643	10249	9736	9176	12278	6852	5027	8279
3x4	7433	8646	9301	5430	9899	6394	5298	8806	8694	6268	3671	4575
3x5	7521	9657	11466	8018	11298	7638	6754	8721	11225	6487	3805	7559
3x6	8698	6467	9850	7854	9706	6383	6360	6579	7261	7252	4798	4194
3x7	8901	9585	10890	7854	9270	8552	7976	9844	10122	6870	3202	6611
3x8	8848	7914	10786	6852	10013	8311	7286	8344	8497	6469	3668	5089
3x9	8959	8924	9934	7781	10151	7299	8687	7782	10065	7070	6021	7000
4x5	8732	8908	9946	7544	10613	8403	8785	9856	9249	6287	3053	7807
4x6	6396	5994	7744	4811	7460	4938	6508	6725	7505	3845	2657	4309
4x7	9784	10997	11822	6086	10339	7770	8407	10695	10252	6378	3366	6741
4x8	6204	8293	9937	4956	9715	5634	5568	8017	6895	5467	2867	2876
4x9	6662	7899	7786	6833	8286	7478	6214	7586	6397	4738	2172	6566
5x6	9069	5692	9614	8182	9606	7829	7751	7356	8930	7016	3587	6575
5x7	10361	11788	13223	10241	12094	10959	8358	11749	12075	9257	3206	10742
5x8	8615	8329	8237	7088	9560	7326	8126	7983	8890	6432	3331	5649
5x9	8798	9381	10312	9822	10289	8233	9502	10242	10723	7562	4718	6974
6x7	9560	8449	10729	7890	9588	7922	8625	6071	9657	7471	2590	6797
6x8	5710	6233	8494	6305	8877	6766	5833	6185	6260	5011	1880	3005
6x9	8038	5487	8835	6578	8329	7571	7364	7089	7574	6196	4157	8544
7x8	7315	8699	10993	7945	8678	8050	8241	8817	8935	5357	3323	6694
7x9	10287	10778	13812	7708	9036	10041	8955	9864	11562	6542	4670	9554
8x9	9217	8585	9926	7872	9813	7985	8640	7952	10494	6724	4824	8116
2 B 707	12087	12248	13029	11116	11185	14684	11643	13261	14291	8218	5925	10709
P 30 F 35	13353	12341	15894	10806	12843	12934	10912	11596	16094	8164	6606	11975
DK 390	11359	13026	13756	7435	10655	9371	10778	12360	13215	7617	6345	10754
AG 7088	11195	9356	12633	11808	11902	12539	10891	8681	12388	9694	5415	8577
BRS 1055	10116	13653	14671	8820	13831	12946	8043	13168	12939	7180	5287	12397
BRS 1060	11263	11337	13568	8200	11789	10196	10811	11410	11034	7271	6847	9819
médias	8999	9359	10863	7730	10235	8694	8364	9141	10100	6814	4294	7344

Quadro 8 – Cont.

Ano 2012										
Cruza mentos	Com P na adubação de sementeira					Sem P na adubação de sementeira				
	Goiânia	Londrina	Ponta Grossa	N.S ^a das Dores	Sete Lagoas	Goiânia	Londrina	Ponta Grossa	N.S ^a das Dores	Sete Lagoas
1x2	11239	9558	13318	9621	8520	10638	10684	11078	10368	4504
1x3	10180	9667	10819	8747	6727	7578	9684	9998	9239	3076
1x4	10055	8475	11407	9640	7774	8937	8155	8234	11079	4235
1x5	10005	8196	11570	10223	5731	8377	8744	10065	9439	4478
1x6	8721	7766	8830	7653	7361	8217	7945	9413	7690	5605
1x7	10537	8887	12154	8528	8562	8680	8927	10158	9858	4137
1x8	9075	6698	10229	9020	6566	7932	8888	11418	8838	2270
1x9	9180	9163	12694	8619	8446	8352	9342	11867	8564	3636
2x3	10086	7814	10415	10132	9207	8196	8219	11369	10095	2796
2x4	10282	7984	10194	7435	7596	7569	8417	10445	6360	5184
2x5	11452	8770	11376	10642	8863	8386	8785	10540	9731	3235
2x6	8619	6984	7923	5120	7013	4954	7553	8479	6633	3461
2x7	9815	6522	9284	7836	6016	8770	6516	10190	8328	2332
2x8	10286	8087	9792	7289	7109	8179	8713	9949	7854	2180
2x9	11539	8965	11752	9476	10342	10266	9563	13315	9038	5559
3x4	7023	7147	9997	6360	6032	6397	6381	9946	7453	3601
3x5	9240	6695	10506	10860	8606	6552	8028	10182	9403	3162
3x6	8171	7001	10874	7088	7019	7145	7916	9667	7908	4322
3x7	8033	6361	10818	8200	5579	6194	8461	9067	9330	1721
3x8	9100	6494	8869	8218	7471	7731	6808	10296	8400	2032
3x9	9365	7149	10929	9712	9179	8303	7824	11061	8601	4048
4x5	10126	7447	10559	10004	7252	6850	7349	9842	10605	3939
4x6	6697	5957	6869	6815	4870	6195	6831	8283	6414	3248
4x7	10094	7236	10864	8346	8238	6163	7591	9091	7435	4841
4x8	8989	4958	7885	5585	6012	6635	6970	8961	6596	3550
4x9	7572	6369	9081	7544	6699	5757	6893	9529	6943	3408
5x6	7482	6751	8401	8747	6008	5071	6108	8256	9174	3098
5x7	9627	8818	12980	13630	8818	7628	8695	12941	12737	3170
5x8	7558	6958	8878	10952	7266	6339	6241	8553	8892	2422
5x9	10440	8167	11793	12063	7712	8579	9676	10625	10605	4078
6x7	8906	4732	8965	7836	6188	6648	4654	8832	8455	2849
6x8	7096	4902	6873	6473	5540	5759	5305	8240	5922	2995
6x9	7929	5854	10069	6688	6306	6635	6316	10256	6232	3184
7x8	9811	5840	9511	7763	6964	8319	7912	10781	9166	2150
7x9	11638	6527	12304	9512	9720	7442	9507	12042	9931	3070
8x9	10486	6853	12675	9876	7005	8345	8024	10702	8637	2761
2 B 707	10186	10016	16145	10132	9649	8647	9588	14041	9822	4121
P 30 F 35	12563	8807	13548	10897	6526	10808	8517	16265	11280	5218
DK 390	11972	8616	13387	10660	9048	9780	10802	12072	10678	4721
AG 7088	12495	9872	15013	10952	9758	10638	9871	14236	11188	4179
BRS 1055	12932	10749	13918	9858	7951	10001	10988	14725	10587	4656
BRS 1060	10000	9212	10558	7489	7687	9598	9134	11116	7289	3468
médias	9681	7596	10810	8863	7499	7838	8155	10622	8876	3588

Quadro 9 - Estande médio e média geral de produtividade de grãos (kg ha⁻¹) nos anos agrícolas de 2011 (seis localidades) e 2012 (cinco localidades), com e sem P na adubação de semeadura

Localidades	Com P na semeadura				Sem P na semeadura				Médias	
	Ano 1 - 2011		Ano 2 - 2012		Ano 1 - 2011		Ano 2 - 2012			
	estande	kg ha ⁻¹								
	safra agrícola 2010-11		safra agrícola 2011-12		safra agrícola 2010-11		safra agrícola 2011-12			
1. Goiânia	19,9	8999	19,6	9681	19,5	8364	19,3	7838	19,6	8721
2. Londrina	18,2	9359	18,4	7596	18,3	9141	19,2	8155	18,5	8563
3. Ponta Grossa	18,9	10864	17,3	10810	18,3	10100	17,6	10622	18	10599
4. N.S ^a das Dores	20,2	7730	18,8	8863	20,1	6814	19,8	8876	19,7	8071
5. Sete Lagoas	19,3	10235	18,9	7498	14,7	4294	15,7	3588	17,2	6404
6. Passo Fundo	18,1	8694	(Perdido por seca)		16,5	7344	(Perdido por seca)		17,3	8019
Médias	19,1	9314	18,6	8890	17,9	7676	18,3	7816	18,5	8424

semeadura, tanto considerando diretamente os dados de 2011 para 2012, como também pela verificação da relação sem P/com P na semeadura entre os dois anos de avaliação (Quadro 9). Como 2012 foi um ano de estiagem, pode haver relação com um sistema radicular mais desenvolvido, como foi observado em solução nutritiva, na ausência de P na semeadura.

O coeficiente de variação (CV) é uma medida relativa de avaliação da precisão experimental, embora não seja o único parâmetro a ser considerado na precisão de experimentos. Resende e Duarte (2007) citam que a qualidade da experimentação está relacionada às estimativas de F altos, preferencialmente acima de 5,0 para atingir nível de acurácia de 90%, nas comparações de variabilidade genética dos caracteres.

Sob a perspectiva da exatidão e rigor experimental, um maior número de repetições seria desejável, para melhor avaliar a variabilidade do material e a precisão das estimativas (Miranda Filho, 1987; Ramalho et al., 2000; Zimmermann, 2004; Cruz, 2005). Mas, na obtenção da semente F_1 , nem sempre se consegue a quantidade desejada de sementes de determinados cruzamentos, mesmo prevendo número grande de fileiras de plantas macho e fêmeas no campo de produção da semente. Várias situações no campo podem ocorrer, como doenças, diferença de ciclo, seca ou excesso de chuva. Esses fatores podem ser acentuados quando se trabalha com linhagens que não são agronomicamente integrantes do grupo superior (elite). Neste estudo, apenas as linhas 1 e 2 (L3 e L 228-3) eram linhagens elite em termos agronômicos.

No Quadro 10, verificou-se que apenas em Sete Lagoas, ano agrícola de 2012, ocorreu CV acima de 20%, o que classifica a maioria dos experimentos como de boa precisão (Pimentel-Gomes, 1985; Scapim et al., 1995). O CV médio para produtividade foi de 14,2%, próximo da média de 143 artigos mais recentes publicados no Brasil, que é da ordem de 11,9% (Fritsche-Neto et al., 2012), embora, em alguns ambientes, tenha sido mais elevado.

Os maiores CV's ocorreram em Sete Lagoas. O ambiente com baixa disponibilidade de P de Sete Lagoas apresentou as menores médias de produtividade, e, devido ao estresse, exibiu baixo estande médio e CV mais alto. Uma redução no potencial produtivo era esperada, uma vez que, nesse local, o solo é de Cerrado natural, de baixa fertilidade, em função dos trabalhos ali existentes de tolerância a baixo P, o que acarreta menores produtividades (Fernandes e Muraoka,

2002), sendo normal ocorrerem CV's mais altos em função do estresse abiótico causado por deficiência de nutrientes. Esta caracterização dos ambientes experimentais auxilia na avaliação genotípica para a eficiência a P (Parentoni et al., 2011).

Outro fator que pode ter contribuído com esse alto CV foi o estande irregular e com valor médio mais baixo que o desejado, o que também acarreta menores produtividades. O ambiente de Passo Fundo, sem P na semeadura, também apresentou um CV relativamente alto e para isso pode ter contribuído o baixo estande, um dos três menores de todos os experimentos.

As maiores médias de produtividade e menores CV's foram registradas em Ponta Grossa, ambiente naturalmente mais favorável para a cultura do milho, em função de temperaturas noturnas menores e melhores precipitações pluviais.

Verifica-se, no Quadro 10, que os experimentos com P na adubação de semeadura apresentaram CV mais baixo (11,35 e 14,25%), indicativo de melhora de CV quando há P na semeadura. Isso foi mais acentuado no primeiro ano, pois no segundo ano agrícola houve estresse por deficiência hídrica em algumas localidades, o que pode ter prejudicado o CV. As deficiências hídricas são comuns no ambiente tropical, em função da anormalidade na distribuição de chuvas (Paterniani, 1993; Nass et al., 2000).

Quadro 10 - Coeficiente de variação experimental (CV %) nos anos agrícolas de 2011 (seis localidades) e 2012 (cinco localidades), nos experimentos com e sem P na adubação de semeadura

Localidades	Coeficientes de Variação – CV (%)			
	Com P na semeadura		Sem P na semeadura	
	Ano 2011	Ano 2012	Ano 2011	Ano 2012
1. Goiânia	12,94	12,82	15,04	15,77
2. Londrina	13,75	15,42	14,56	13,34
3. Ponta Grossa	9,34	13,59	12,75	11,89
4. N.S ^a das Dores	10,42	13,48	13,22	13,18
5. Sete Lagoas	8,83	15,92	19,34	22,35
6. Passo Fundo	12,81	-	19,72	-
médias	11,35	14,25	15,77	15,31

4.2. Quadrados médios residuais e homogeneidade de variâncias

Todo material genético experimental está exposto à variação, seja causada

por uma variabilidade inerente aos materiais e/ou pela variação que resulta de qualquer desuniformidade na condução física do experimento. O erro experimental é uma medida dessa variação (Steel e Torrie, 1980), ou seja, as discrepâncias entre os valores observados e os esperados pelo modelo (Resende, 2007). O QM (Quadrado Médio) do erro quantifica as variâncias “residuais” ou variâncias ao acaso, não determinadas por nenhum dos fatores isolados na fonte de variação. Quando altas, essas variâncias indicam pouca precisão no experimento, pois muito da variação observada vem do acaso e não dos tratamentos experimentais (Barbin, 2003; Storck et al., 2011).

O teste de Hartley, usado para testar a homogeneidade de variâncias entre diferentes experimentos, indica que a razão entre a maior e a menor variância pode ser testada por uma tabela contendo a distribuição do F máximo (Ramalho et al., 2000; Banzatto e Kronka, 2006). Na prática, é aceitável uma razão não superior a três até quatro vezes entre o maior e o menor QM residual (Miranda Filho, 1974; Pimentel-Gomes e Garcia, 2002; Barbin, 2003; Vieira, 2006; Resende, 2007). Neste trabalho, os QM residuais apresentaram a maior razão de até 3,04, na situação sem P na semeadura do ano agrícola de 2011 (Quadro 11). Assim, todos os dados poderiam ser trabalhados em conjunto, pois contêm variâncias consideradas homogêneas entre os diversos experimentos em cada grupo, o que viabiliza a realização de análises conjuntas como grupo de experimentos (Dias e Barros, 2009), em distintas localidades.

4.3. Rotina das análises estatísticas

Na experimentação genética, é importante conhecer o quanto do comportamento do genótipo se manifesta na descendência, mas também se devem incluir, no modelo estudado, os efeitos do delineamento experimental utilizado (Vencovsky e BARRIGA, 1992). No modelo estatístico deste estudo, os experimentos foram instalados no delineamento em blocos casualizados (DBC), com três repetições. Optou-se por utilizar o DBC que, apesar de acumular o efeito de blocos dentro de repetições ao erro experimental e de não permitir a recuperação da informação interblocos como nos blocos incompletos (Ramalho et al., 2000), proporciona maior número de GL ao erro experimental, o que faz aumentar o valor

do F calculado para tratamentos, e isso é interessante, pois significa maior rigor ou maior facilidade de indicar significância (Resende e Duarte, 2007).

Quadro 11 - Quadrados médios residuais (QMe) dos experimentos com e sem P na adubação de sementeira, nos anos agrícolas de 2011 (seis localidades) e 2012 (cinco localidades), obtidos das análises preliminares

Comparação de QM residuais: Teste de homogeneidade de variâncias (Teste de Hartley = H máximo)				
Localidades	Com P na sementeira		Sem P na sementeira	
	Ano 2011	Ano 2012	Ano 2011	Ano 2012
1. Goiânia	1355418	1540296	1582138	1528228
2. Londrina	1655467	1371496	1770055	1184452
3. Ponta Grossa	1028519	2159432	1659192	1595102
4. N.Sª das Dores	649096	1427533	811289	1368890
5. Sete Lagoas	816340	1425333	689694	643035
6. Passo Fundo	1240971	----	2098034	----
Hmáx =	2,55	1,57	3,04	2,48
QMe maior/QMe menor				

A análise estatística preliminar (exploratória) foi feita com os dados individuais de produtividade, ao nível de parcelas (kg ha^{-1}) no Programa Genes 6.1, obtendo-se a média geral, o coeficiente de variação (CV) e o quadrado médio do resíduo de cada ambiente (Quadro 12). As análises de variância (Anavas) individuais foram realizadas separadamente, para cada local e ano agrícola. Posteriormente, realizaram-se as análises conjuntas entre ambientes, com base em médias, utilizando-se o programa SAS versão 9.2, para cada uma das quatro situações, com e sem P na adubação de sementeira, nos anos agrícolas de 2011 e 2012, obtendo-se as informações relativas aos efeitos de locais, tratamentos e a interação de genótipos x ambientes (Quadro 13). Nesta análise conjunta entre ambientes, o teste F para a interação utiliza, como denominador, o QM do erro médio dividido pelo número de repetições, para a análise se processar ao nível de médias, como está o numerador (Ramalho et al., 2000; Chaves, 2001).

Na sequência, verificaram-se os efeitos do desdobramento das médias de tratamentos dentro de locais. Em seguida, o efeito de tratamentos dentro de locais foi decomposto em efeitos de híbridos F_1 's, de testemunhas e do contraste F_1 's vs testemunhas, em cada uma das quatro situações estudadas. Para esses procedimentos, foram geradas rotinas específicas no Programa SAS, que desdobraram o efeito de tratamentos dentro de locais e possibilitaram sua

decomposição em F_1 's, testemunhas e contraste de grupos (F_1 's vs testemunhas). Estas rotinas permitiram estimar os efeitos dos tratamentos nas diferentes situações.

Foram realizadas, em seguida, as comparações de médias de produtividade, para cada local em separado, pela metodologia de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Esta metodologia testa a significância com que n tratamentos podem ser divididos em dois grupos mutuamente exclusivos, que maximizem a soma de quadrados entre grupos e permite eliminar ambiguidades dos resultados (Ramalho et al., 2000; Resende, 2007). Posteriormente foram realizadas as análises dialélicas individuais e conjuntas, entre locais e entre dois anos agrícolas, pelo Programa Genes, terminando com a obtenção dos efeitos de CGC e CEC.

4.4. A interação genótipos x ambientes (GxA)

A análise de variância conjunta para médias de seis locais (2011) e de cinco locais (2012) mostrou significância para todas as fontes de variação, locais, tratamentos e interação, tanto nas condições de presença como de ausência de P na adubação de semeadura (Quadro 13).

Tais significâncias evidenciam uma grande variabilidade entre locais e entre tratamentos, ou seja, pelo menos um local difere dos demais e pelo menos um tratamento difere dos demais. No ano agrícola 2011, com P na semeadura, por exemplo, observa-se, pelo Teste F, que a variação dos tratamentos é quase 37 vezes superior ao erro experimental. Isso significa que os efeitos de tratamentos diferem muito entre si, que há alta variabilidade. Quanto mais o valor de F se distancia de 1,0, mais se observa efeito dos tratamentos (Barbin, 2003). Para efeito de locais, esta relação é ainda mais pronunciada.

Na análise de variância conjunta, a interação Genótipos x Ambientes foi testada contra o erro médio (Dias e Barros, 2009), cujo grau de liberdade (GL) é a soma dos GL das análises individuais, em cada ambiente. A interação significativa indica que devemos trabalhar as análises posteriores do dialelo em separado, ou seja, para cada ambiente. Desta maneira, nesta análise dialélica, os efeitos médios de tratamentos foram testados com o erro médio, que é a média aritmética dos erros obtidos de cada análise individual.

Na análise conjunta, as interações observadas sugerem que os híbridos não têm o mesmo comportamento relativo entre locais (Nass et al., 2000).

Quadro 12 - Análise de variância da produtividade de grãos (kg ha⁻¹) de 36 F₁'s e seis testemunhas no delineamento em blocos casualizados. Dados de três repetições, em seis locais (ano 2011) e cinco locais (ano 2012), em experimentos com e sem P na adubação de sementeira (Programa Genes), considerando o efeito de tratamentos fixo

		2011 com P na sementeira - Ambientes																	
		Goiânia			Londrina			Ponta Grossa			N.S ^a das Dores			Sete Lagoas			Passo Fundo		
FV	GL	QM	F	Prob	QM	F	Prob	QM	F	Prob	QM	F	Prob	QM	F	Prob	QM	F	Prob
Blocos	2	1207630			789074			341747			346826			11988358			744374		
Tratamentos	41	7675807	5,66	0,00	11394955	6,88	0,00	10929547	10,63	0,00	7487985	11,54	0,00	5576698	6,83	0,00	12222483	9,85	0,00
Resíduo	82	1355418			1655467			1028519			649096			816340			1240971		
Total	125	3426141			4836157			4265068			2887415			2556490			4834961		

		2011 sem P na sementeira - Ambientes																	
		Goiânia			Londrina			Ponta Grossa			N.S ^a das Dores			Sete Lagoas			Passo Fundo		
FV	GL	QM	F	Prob	QM	F	Prob	QM	F	Prob	QM	F	Prob	QM	F	Prob	QM	F	Prob
Blocos	2	464772			1021054			1622797			3273832			5957930			18685533		
Tratamentos	41	6890360	4,36	0,00	10440992	5,90	0,00	13498217	8,14	0,00	3972953	4,90	0,00	4780563	6,93	0,00	15738705	7,50	0,00
Resíduo	82	1582138			1770055			1659192			811289			689694			2098034		
Total	125	3305357			4602138			5541810			1887716			2115791			6837574		

		2012 com P na sementeira - Ambientes																	
		Goiânia			Londrina			Ponta Grossa			N.S ^a das Dores			Sete Lagoas					
FV	GL	QM	F	Prob	QM	F	Prob	QM	F	Prob	QM	F	Prob	QM	F	Prob			
Blocos	2	196910			10241332			2346596			4147661			7544086					
Tratamentos	41	7162352	4,65	0,00	6392680	4,66	0,00	12732529	5,90	0,00	9539668	6,68	0,00	5379518	3,77	0,00			
Resíduo	82	1540296			1371496			2159432			1427533			1425333					
Total	125	3362836			3160362			5630402			4131835			2820206					

		2012 sem P na sementeira - Ambientes																	
		Goiânia			Londrina			Ponta Grossa			N.S ^a das Dores			Sete Lagoas					
FV	GL	QM	F	Prob	QM	F	Prob	QM	F	Prob	QM	F	Prob	QM	F	Prob			
Blocos	2	336962			2707292			992893			92371			2189896					
Tratamentos	41	6791385	4,44	0,00	6268914	5,29	0,00	10411731	6,53	0,00	7654543	5,59	0,00	2904054	4,52	0,00			
Resíduo	82	1528228			1184452			1595102			1368890			643035					
Total	125	3235483			2876521			4477321			3410160			1409399					

Quadro 13 - Anava conjunta da produtividade de grãos para médias (kg ha⁻¹) de seis locais (ano 2011) e de cinco locais (ano 2012), nas situações com e sem P na adubação de sementeira, em experimentos que avaliaram 36 F₁'s e seis testemunhas para eficiência a P (*Proc Anova* do SAS), considerando modelo fixo

FV	Ano 2011							Ano 2012						
	GL	Com P na sementeira			Sem P na sementeira			GL	Com P na sementeira			Sem P na sementeira		
		QM	F	Prob	QM	F	Prob		QM	F	Prob	QM	F	Prob
Modelo	46	17971264	19,27	0,00	30264213	26,17	0,00	45	16110307	15,45	0,00	31546338	28,90	0,00
Locais	5	52461525	56,24	0,00	174636083	151,00	0,00	4	83211573	79,79	0,00	283376178	259,62	0,00
Tratamentos	41	13765134	36,73	0,00	12657887	26,46	0,00	41	9563842	18,10	0,00	6977573	16,56	0,00
Int (Loc x Trat)	205	932805	2,49	0,00	1156542	2,42	0,00	164	1042935	1,97	0,00	1091492	2,59	0,00
Erro médio	492	1124302			1435067			410	1584818			1263941		
R ²		0,81			0,85				0,81			0,89		
CV (%)		10,37			14,01				11,49			13,37		
Média geral		9314			7676				8890			7816		

Posteriormente, verificaram-se, para cada ambiente, os efeitos do desdobramento de tratamentos dentro de locais e o erro médio foi o denominador para se testar a significância dos efeitos de tratamentos. Todos os desdobramentos foram significativos (Quadro 14), indicando que os 42 tratamentos diferem entre si dentro de cada ambiente. Isso era esperado, pois o efeito de tratamentos contém diferentes genótipos juntos, tanto F_1 's como testemunhas, o que o faz conter maior variabilidade.

Em razão da significância de efeitos de tratamentos dentro de locais, realizou-se também sua decomposição em efeitos de híbridos dialélicos F_1 's, de testemunhas e do contraste entre F_1 's e testemunhas, tanto na média de locais (Quadro 15) como para cada local separadamente (Quadro 16).

A partir da média de locais, observaram-se efeitos significativos para os F_1 's, para as testemunhas e para efeito de grupos, F_1 's vs testemunhas, indicando que esses tratamentos não tiveram, em média, o mesmo comportamento dentro de cada ambiente, o que conduziu à decomposição evidenciada no Quadro 16.

Na decomposição de tratamentos em efeitos de F_1 's, de testemunhas e efeito de grupos, F_1 's vs testemunhas, agora realizada para cada local separadamente (Quadro 16), observou-se também a significância do efeito de F_1 's em todas as situações, ou seja, os híbridos F_1 's não tiveram desempenho similar em cada uma das seis localidades de 2011 e nas cinco localidades de 2012, seja na presença ou na ausência de P na semeadura, refletindo a variabilidade genética das combinações híbridas avaliadas. O fator ambiental teve, assim, forte efeito sobre os híbridos avaliados, com reflexos na significância da interação. Hallauer e Miranda Filho (1985) mencionam alguns fatores ambientais externos, tais como clima, solo e pragas, com efeitos maiores sobre os híbridos simples do que sobre outros tipos de híbridos.

Para o efeito de testemunhas, houve significância estatística para a maioria dos ambientes. Apenas em seis das 22 situações não houve significância, essencialmente nos ambientes sem P na semeadura de N.S^a das Dores e de Sete Lagoas, em 2011, e também nos ambientes sem P na semeadura de Goiânia, Londrina e Sete Lagoas, em 2012, além do ambiente de Londrina com P na semeadura em 2012 (Quadro 16). A não significância para efeito de testemunhas ocorreu principalmente nos ambientes sem P na semeadura e também nas localidades de Londrina e Sete Lagoas.

Quadro 14 - Anava do desdobramento da interação tratamento com locais, com e sem P na sementeira, na média de cada um dos seis locais do ano 2011 e dos cinco locais do ano 2012 (SAS 9.2), considerando modelo fixo

FV	Ano 2011							Ano 2012						
	GL	Com P na sementeira			Sem P na sementeira			GL	Com P na sementeira			Sem P na sementeira		
		QM	F	Prob	QM	F	Prob		QM	F	Prob	QM	F	Prob
Trat d Locais	246	3071526	8,20	0,00	3073433	6,42	0,00	205	2747116	5,20	0,00	2268708	5,38	0,00
TdL1	41	2558602	6,83	0,00	2296787	4,80	0,00	41	2387450	4,52	0,00	2263795	5,37	0,00
TdL2	41	3798319	10,14	0,00	3480331	7,28	0,00	41	2130894	4,03	0,00	2089638	4,96	0,00
TdL3	41	3643182	9,72	0,00	4499406	9,41	0,00	41	4244176	8,03	0,00	3470577	8,24	0,00
TdL4	41	2495995	6,66	0,00	1324318	2,77	0,00	41	3179889	6,02	0,00	2551514	6,06	0,00
TdL5	41	1858899	4,96	0,00	1593521	3,33	0,00	41	1793173	3,39	0,00	968018	2,30	0,00
TdL6	41	4074161	10,87	0,00	5246235	10,97	0,00	—	—	—	—	—	—	—
Erro médio	492	374767			478356			410	528273			421314		

Quadro 15 - Anava do desdobramento dos tratamentos em efeitos de híbridos F₁'s, de testemunhas e do contraste entre F₁'s e testemunhas, para as médias de seis locais (2011) e cinco locais (2012), com e sem P na sementeira (SAS 9.2), considerando modelo fixo

FV	Ano 2011							Ano 2012						
	GL	Com P na sementeira			Sem P na sementeira			GL	Com P na sementeira			Sem P na sementeira		
		QM	F	Prob	QM	F	Prob		QM	F	Prob	QM	F	Prob
Tratamentos	41	13765134	36,73	0,00	12657887	26,46	0,00	41	9563842	18,10	0,00	6977573	16,56	0,00
F ₁ 's	35	7583248	20,23	0,00	7635839	15,96	0,00	35	7368202	13,95	0,00	4485551	10,65	0,00
Testem	5	4146681	11,06	0,00	2433927	5,09	0,00	5	4244749	8,04	0,00	3510618	8,33	0,00
F ₁ 's vs Test	1	278223428	742,39	0,00	239549364	500,78	0,00	1	113006687	213,92	0,00	111533118	264,73	0,00
Erro médio	205	1124302			1435067			164	1584818			1263941		
Média geral		9314			7676				8890			7816		
Média F ₁ 's		8885			7278				8590			7518		
Média testemunhas		11887			10064				10687			9601		

Quadro 16 - Anava com desdobramento da interação tratamentos dentro de locais em efeitos de híbridos F₁'s, de testemunhas e do contraste F₁'s vs testemunhas, com e sem P na semeadura, na média de seis locais (2011) e de cinco locais (2012) (SAS 9.2), considerando modelo fixo

49

FV	Ano 2011								Ano 2012					
	GL	Com P na semeadura			Sem P na semeadura			GL	Com P na semeadura			Sem P na semeadura		
		QM	F	Prob	QM	F	Prob		QM	F	Prob	QM	F	Prob
Trat d Locais	246	3071526	8,20	0,00	3073433	6,42	0,00	205	2747116	5,20	0,00	2268708	5,38	0,00
Trat d Loc 1	41	2558602	6,83	0,00	2296787	4,80	0,00	41	2387450	4,52	0,00	2263795	5,37	0,00
F ₁ 's	35	1516170	4,05	0,00	1543311	3,23	0,00	35	1755556	3,32	0,00	1704307	4,05	0,00
Test	5	1167923	3,12	0,01	1567888	3,28	0,01	5	1630348	3,09	0,01	610616	1,45	0,21
F ₁ 's vs Test	1	45997137	122,74	0,00	32312925	67,55	0,00	1	28289259	53,55	0,00	30111782	71,47	0,00
Trat d Loc 2	41	3798318	10,14	0,00	3480331	7,28	0,00	41	2130894	4,03	0,00	2089638	4,96	0,00
F ₁ 's	35	2736400	7,30	0,00	2313010	4,84	0,00	35	1641807	3,11	0,00	1765830	4,19	0,00
Test	5	2277913	6,08	0,00	2844968	5,95	0,00	5	659355	1,25	0,29	910729	2,16	0,06
F ₁ 's vs Test	1	48567474	129,59	0,00	47513363	99,33	0,00	1	26606616	50,37	0,00	19317469	45,85	0,00
Trat d Loc 3	41	3643182	9,72	0,00	4499406	9,41	0,00	41	4244176	8,03	0,00	3470577	8,24	0,00
F ₁ 's	35	2191090	5,85	0,00	2763277	5,78	0,00	35	2723455	5,16	0,00	1622651	3,85	0,00
Test	5	1412020	3,77	0,00	2977660	6,22	0,00	5	3543685	6,71	0,00	3469871	8,24	0,00
F ₁ 's vs Test	1	65622226	175,10	0,00	72872624	152,34	0,00	1	60971873	115,42	0,00	68151515	161,76	0,00
Trat d Loc 4	41	2495995	6,66	0,00	1324318	2,77	0,00	41	3179889	6,02	0,00	2551514	6,06	0,00
F ₁ 's	35	1697414	4,53	0,00	1135841	2,37	0,00	35	3224857	6,10	0,00	2351472	5,58	0,00
Test	5	3165412	8,45	0,00	858636	1,79	0,11	5	1697257	3,21	0,01	2223500	5,28	0,00
F ₁ 's vs Test	1	27099228	72,31	0,00	10249430	21,43	0,00	1	9019181	17,07	0,00	11193060	26,57	0,00
Trat d Loc 5	41	1858899	4,96	0,00	1593521	3,33	0,00	41	1793173	3,39	0,00	968018	2,30	0,00
F ₁ 's	35	1342588	3,58	0,00	1176960	2,46	0,00	35	1694981	3,21	0,00	951807	2,26	0,00
Test	5	1316596	3,51	0,00	405989	0,85	0,52	5	1607219	3,04	0,01	366554	0,87	0,50
F ₁ 's vs Test	1	22641304	60,41	0,00	22110806	46,22	0,00	1	6159645	11,66	0,00	4542710	10,78	0,00
Trat d Loc 6	41	4074161	10,87	0,00	5246235	10,97	0,00		—	—	—	—	—	—
F ₁ 's	35	1883909	5,03	0,00	3605834	7,54	0,00		—	—	—	—	—	—
Test	5	3870382	10,33	0,00	1957583	4,09	0,00		—	—	—	—	—	—
F ₁ 's vs Test	1	81751871	218,14	0,00	79103543	165,37	0,00		—	—	—	—	—	—
Int (Loc x Trat)	205	932805	2,49	0,00	1156542	2,42	0,00	164	1042935	1,97	0,00	1091492	2,59	0,00
Erro médio	492	374767			478356			410	528273			421314		

Os efeitos não significativos para testemunhas podem ter sido ocasionados pela estiagem em Londrina, em 2012, e pela menor fertilidade do ambiente sem P de Sete Lagoas.

A situação de estresse e menor fertilidade natural do ambiente de Cerrado em Sete Lagoas, na ausência de P na semeadura, promoveu a menor diferença encontrada no teste F, para a relação efeito de testemunhas e erro experimental, nas diversas situações avaliadas, indicando que havia pouca diferença entre as testemunhas nesse ambiente. Quando há muito estresse ambiental, pode ocorrer um pequeno desenvolvimento e até morte de plantas (Fernandes e Muraoka, 2002), com possível diminuição da variabilidade esperada entre os genótipos avaliados.

O contraste significativo entre F_1 's e testemunhas indica que as médias entre F_1 's e médias de testemunhas não seguem um mesmo comportamento em cada uma das diferentes situações e isso ocorreu devido à interação desses genótipos com os ambientes e pela grande diferença observada entre as médias de F_1 's e testemunhas (Quadro 16).

A partir da constatação de interação significativa de tratamentos com locais, realizou-se um teste de agrupamento de médias, Scott-Knott, pelo Programa Genes, para verificar o quanto as médias de tratamentos diferiam entre si, em cada local separadamente (Quadros 17-1 a 17-4). Observa-se nos Quadros 17-1 a 17-4 a concentração de médias das testemunhas na parte superior, em função de serem híbridos comerciais muito produtivos, selecionados após vários anos de avaliação na rede oficial e privada de pesquisa.

Quando os efeitos de tratamentos são considerados fixos, os genótipos utilizados são os únicos de interesse, com conclusões válidas somente para o grupo de genótipos em estudo (Chaves, 2001; Cruz, 2005; Dias e Barros, 2009) e os testes de comparações de médias de tratamentos são comuns (Resende, 2007). Nos Quadros 17-1 a 17-4 observa-se que o cruzamento 5x7 se sobressaiu em produtividade, principalmente na presença de P no ano de 2011. Contudo, seu comportamento foi bom tanto em presença como na ausência de P na semeadura e, no ano agrícola de 2012, seu desempenho não diferiu das melhores testemunhas. Esse fato também ocorreu com os cruzamentos 2x9 e 1x2, em 2012, tanto na presença como na ausência de P na semeadura.

Quadro 17-1 - Médias de produtividade de grãos (kg ha⁻¹) de 42 tratamentos, para cada um dos seis locais do ano de 2011, avaliados na presença de P na semeadura

Genótipos	2011 com P na semeadura						Média geral
	Local 1 Goiânia	Local 2 Londrina	Local 3 Ponta Grossa	Local 4 NS das Dores	Local 5 Sete Lagoas	Local 6 Passo Fundo	
P 30 F 35	13353 a	12341 a	15894 a	10806 a	12843 a	12934 a	13028 a
2 B 707	12087 a	12248 a	13029 b	11116 a	11185 b	14684 a	12391 a
BRS 1055	10116 b	13653 a	14671 a	8820 b	13831 a	12946 a	12339 a
AG 7088	11195 a	9356 b	12633 c	11808 a	11902 b	12539 a	11572 b
5x7	10361 b	11788 a	13223 b	10241 a	12094 b	10959 b	11444 b
BRS 1060	11263 a	11337 a	13568 b	8200 c	11789 b	10196 b	11059 b
2x5	10573 b	10766 a	11398 c	9676 b	12411 a	11278 b	11017 b
DK 390	11359 a	13026 a	13756 b	7435 c	10655 c	9371 c	10934 b
1x2	9376 b	11779 a	11559 c	8036 c	12879 a	10427 b	10676 b
2x9	9476 b	11449 a	12376 c	8455 b	10643 c	10249 b	10441 b
2x3	10238 b	10727 a	13020 b	8947 b	11200 b	8472 c	10434 b
7x9	10287 b	10778 a	13812 b	7708 c	9036 d	10041 b	10277 b
1x7	8457 c	11326 a	12097 c	7034 c	10436 c	8230 c	9597 c
1x5	10182 b	9203 b	10289 d	8911 b	8931 d	9956 b	9579 c
1x9	9534 b	9048 b	10864 d	8236 c	10258 c	9262 c	9534 c
5x9	8798 c	9381 b	10312 d	9822 b	10289 c	8233 c	9472 c
4x7	9784 b	10997 a	11822 c	6086 d	10339 c	7770 c	9466 c
3x5	7521 d	9657 b	11466 c	8018 c	11298 b	7638 c	9266 c
3x7	8901 c	9585 b	10890 d	7854 c	9270 d	8552 c	9175 c
4x5	8732 c	8908 b	9946 d	7544 c	10613 c	8403 c	9025 c
6x7	9560 b	8449 b	10729 d	7890 c	9588 c	7922 c	9023 c
1x8	9403 b	9729 b	9210 d	6378 d	10633 c	8474 c	8971 c
8x9	9217 b	8585 b	9926 d	7872 c	9813 c	7985 c	8900 c
3x9	8959 c	8924 b	9934 d	7781 c	10151 c	7299 c	8841 c
3x8	8848 c	7914 b	10786 d	6852 d	10013 c	8311 c	8787 c
2x7	8503 c	9636 b	10306 d	6050 d	9394 c	8118 c	8668 c
1x3	7017 d	7771 b	10330 d	7416 c	11111 b	8245 c	8648 c
7x8	7315 d	8699 b	10993 d	7945 c	8678 d	8050 c	8613 c
2x4	8337 c	8635 b	10377 d	6177 d	10337 c	7805 c	8611 c
2x8	8031 c	9512 b	9410 d	6250 d	9903 c	8515 c	8603 c
1x6	8949 c	8122 b	10221 d	6724 d	9537 c	7683 c	8539 c
5x6	9069 c	5692 c	9614 d	8182 c	9606 c	7829 c	8332 c
5x8	8615 c	8329 b	8237 e	7088 c	9560 c	7326 c	8192 d
3x6	8698 c	6467 c	9850 d	7854 c	9706 c	6383 d	8159 d
1x4	7569 d	8252 b	7863 e	8637 b	8658 d	7369 c	8058 d
2x6	7824 c	8476 b	9758 d	5886 d	8739 d	6925 d	7935 d
3x4	7433 d	8646 b	9301 d	5430 e	9899 c	6394 d	7851 d
4x9	6662 d	7899 b	7786 e	6833 d	8286 d	7478 c	7491 d
6x9	8038 c	5487 c	8835 e	6578 d	8329 d	7571 c	7473 d
4x8	6204 d	8293 b	9937 d	4956 e	9715 c	5634 d	7457 d
6x8	5710 d	6233 c	8494 e	6305 d	8877 d	6766 d	7064 e
4x6	6396 d	5994 c	7744 e	4811 e	7460 d	4938 d	6224 e

Médias com a mesma letra pertencem ao mesmo agrupamento de acordo com o teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Quadro 17-2 - Médias de produtividade de grãos (kg ha⁻¹) de 42 tratamentos, para cada um dos seis locais do ano de 2011, avaliados na ausência de P na semeadura

Genótipos	2011 sem P na semeadura						Média geral
	Local 1 Goiânia	Local 2 Londrina	Local 3 Ponta Grossa	Local 4 NS das Dores	Local 5 Sete Lagoas	Local 6 Passo Fundo	
P 30 F 35	10912 a	11596 a	16094 a	8164 a	6606 a	11975 a	10891 a
2 B 707	11643 a	13261 a	14291 a	8218 a	5925 a	10709 a	10675 a
DK 390	10778 a	12360 a	13215 b	7617 b	6345 a	10754 a	10178 a
BRS 1055	8043 c	13168 a	12939 b	7180 b	5287 b	12397 a	9836 a
BRS 1060	10811 a	11410 a	11034 c	7271 b	6847 a	9819 a	9532 b
AG 7088	10891 a	8681 c	12388 b	9694 a	5415 b	8577 b	9275 b
5x7	8358 c	11749 a	12075 b	9257 a	3206 c	10742 a	9231 b
2x5	8940 b	10755 b	10112 c	7981 a	5410 b	9994 a	8865 b
1x5	10443 a	10220 b	9559 d	8200 a	5620 a	8925 b	8828 b
1x2	10175 a	11373 a	11264 c	7034 b	5112 b	7859 b	8803 b
2x9	9736 b	9176 c	12278 b	6852 b	5027 b	8279 b	8558 b
7x9	8955 b	9864 b	11562 c	6542 c	4670 b	9554 a	8524 b
1x7	8275 c	9681 b	12170 b	6961 b	5349 b	8458 b	8482 b
1x9	8903 b	9177 c	10763 c	7726 b	4628 b	9207 b	8401 b
5x9	9502 b	10242 b	10723 c	7562 b	4718 b	6974 c	8287 b
2x3	9297 b	9421 b	10943 c	6050 c	3775 c	7660 b	7858 c
8x9	8640 b	7952 c	10494 c	6724 c	4824 b	8116 b	7792 c
3x9	8687 b	7782 c	10065 c	7070 b	6021 a	7000 c	7771 c
4x7	8407 c	10695 b	10252 c	6378 c	3366 c	6741 c	7640 c
1x8	8671 b	9598 b	10244 c	6250 c	5758 a	5238 d	7627 c
4x5	8785 b	9856 b	9249 d	6287 c	3053 d	7807 b	7506 c
2x7	7790 c	10063 b	10966 c	5521 d	3862 c	6639 c	7473 c
3x7	7976 c	9844 b	10122 c	6870 b	3202 c	6611 c	7438 c
3x5	6754 d	8721 c	11225 c	6487 c	3805 c	7559 b	7425 c
1x3	7940 c	7719 c	8810 d	8510 a	5623 a	5947 c	7425 c
1x4	7911 c	7207 d	9231 d	7508 b	4345 c	7736 b	7323 c
1x6	8200 c	8161 c	9384 d	6651 c	4278 c	6971 c	7274 c
2x8	6915 d	10010 b	10873 c	5977 c	2573 d	6729 c	7179 c
2x4	8649 b	8745 c	9967 c	6232 c	3899 c	4794 d	7048 c
7x8	8241 c	8817 c	8935 d	5357 d	3323 c	6694 c	6894 c
5x6	7751 c	7356 d	8930 d	7016 b	3587 c	6575 c	6869 c
6x7	8625 b	6071 d	9657 d	7471 b	2590 d	6797 c	6868 c
6x9	7364 c	7089 d	7574 e	6196 c	4157 c	8544 b	6821 c
5x8	8126 c	7983 c	8890 d	6432 c	3331 c	5649 c	6735 c
3x8	7286 c	8344 c	8497 d	6469 c	3668 c	5089 d	6559 c
3x4	5298 d	8806 c	8694 d	6268 c	3671 c	4575 d	6219 d
3x6	6360 d	6579 d	7261 e	7252 b	4798 b	4194 d	6074 d
4x9	6214 d	7586 c	6397 e	4738 d	2172 d	6566 c	5612 d
2x6	7144 c	5870 d	6420 e	5886 c	3083 d	3788 d	5365 d
4x8	5568 d	8017 c	6895 e	5467 d	2867 d	2876 d	5282 d
4x6	6508 d	6725 d	7505 e	3845 d	2657 d	4309 d	5258 d
6x8	5833 d	6185 d	6260 e	5011 d	1880 d	3005 d	4696 d

Médias com a mesma letra pertencem ao mesmo agrupamento de acordo com o teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Quadro 17-3 - Médias de produtividade de grãos (kg ha⁻¹) de 42 tratamentos, para cada um dos cinco locais do ano de 2012, avaliados na presença de P na semeadura

Genótipos	2012 com P na semeadura					Média geral
	Local 1 Goiânia	Local 2 Londrina	Local 3 Ponta Grossa	Local 4 NS das Dores	Local 5 Sete Lagoas	
AG 7088	12495 a	9872 a	15013 a	10952 b	9758 a	11618 a
2 B 707	10186 b	10016 a	16145 a	10132 b	9649 a	11226 a
BRS 1055	12932 a	10749 a	13918 a	9858 b	7951 a	11082 a
5x7	9627 b	8818 a	12980 b	13630 a	8818 a	10775 a
DK 390	11972 a	8616 a	13387 a	10660 b	9048 a	10737 a
P 30 F 35	12563 a	8807 a	13548 a	10897 b	6526 b	10468 a
1x2	11239 a	9558 a	13318 a	9621 b	8520 a	10451 a
2x9	11539 a	8965 a	11752 b	9476 b	10342 a	10415 a
2x5	11452 a	8770 a	11376 b	10642 b	8863 a	10221 a
5x9	10440 b	8167 a	11793 b	12063 a	7712 b	10035 b
7x9	11638 a	6527 b	12304 b	9512 b	9720 a	9940 b
1x7	10537 b	8887 a	12154 b	8528 c	8562 a	9734 b
1x9	9180 c	9163 a	12694 b	8619 c	8446 a	9621 b
2x3	10086 b	7814 a	10415 c	10132 b	9207 a	9531 b
1x4	10055 b	8475 a	11407 b	9640 b	7774 b	9470 b
8x9	10486 b	6853 b	12675 b	9876 b	7005 b	9379 b
3x9	9365 c	7149 b	10929 c	9712 b	9179 a	9267 b
1x3	10180 b	9667 a	10819 c	8747 c	6727 b	9228 b
3x5	9240 c	6695 b	10506 c	10860 b	8606 a	9181 b
1x5	10005 b	8196 a	11570 b	10223 b	5731 b	9145 b
4x5	10126 b	7447 b	10559 c	10004 b	7252 b	9078 b
BRS 1060	10000 b	9212 a	10558 c	7489 c	7687 b	8989 b
4x7	10094 b	7236 b	10864 c	8346 c	8238 a	8956 b
2x4	10282 b	7984 a	10194 c	7435 c	7596 b	8698 c
2x8	10286 b	8087 a	9792 c	7289 c	7109 b	8513 c
5x8	7558 c	6958 b	8878 d	10952 b	7266 b	8322 c
1x8	9075 c	6698 b	10229 c	9020 b	6566 b	8318 c
1x6	8721 c	7766 a	8830 d	7653 c	7361 b	8066 c
3x6	8171 c	7001 b	10874 c	7088 d	7019 b	8031 c
3x8	9100 c	6494 b	8869 d	8218 c	7471 b	8031 c
7x8	9811 b	5840 b	9511 c	7763 c	6964 b	7978 c
2x7	9815 b	6522 b	9284 d	7836 c	6016 b	7895 c
3x7	8033 c	6361 b	10818 c	8200 c	5579 b	7798 c
5x6	7482 c	6751 b	8401 d	8747 c	6008 b	7478 d
4x9	7572 c	6369 b	9081 d	7544 c	6699 b	7453 d
6x9	7929 c	5854 b	10069 c	6688 d	6306 b	7369 d
6x7	8906 c	4732 b	8965 d	7836 c	6188 b	7325 d
3x4	7023 c	7147 b	9997 c	6360 d	6032 b	7312 d
2x6	8619 c	6984 b	7923 d	5120 d	7013 b	7132 d
4x8	8989 c	4958 b	7885 d	5585 d	6012 b	6686 d
4x6	6697 c	5957 b	6869 d	6815 d	4870 b	6241 d
6x8	7096 c	4902 b	6873 d	6473 d	5540 b	6177 d

Médias com a mesma letra pertencem ao mesmo agrupamento de acordo com o teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Quadro 17-4 - Médias de produtividade de grãos (kg ha⁻¹) de 42 tratamentos, para cada um dos cinco locais do ano de 2012, avaliados na ausência de P na semeadura

Genótipos	2012 sem P na semeadura					Média geral
	Local 1 Goiânia	Local 2 Londrina	Local 3 Ponta Grossa	Local 4 NS das Dores	Local 5 Sete Lagoas	
P 30 F 35	10808 a	8517 b	16265 a	11280 a	5218 a	10417 a
BRS 1055	10001 a	10988 a	14725 a	10587 a	4656 a	10191 a
AG 7088	10638 a	9871 a	14236 a	11188 a	4179 a	10023 a
DK 390	9780 a	10802 a	12072 b	10678 a	4721 a	9611 a
2x9	10266 a	9563 a	13315 b	9038 b	5559 a	9548 a
1x2	10638 a	10684 a	11078 c	10368 a	4504 a	9455 a
2 B 707	8647 b	9588 a	14041 a	9822 b	4121 a	9244 a
5x7	7628 c	8695 b	12941 b	12737 a	3170 b	9034 a
5x9	8579 b	9676 a	10625 c	10605 a	4078 a	8712 b
7x9	7442 c	9507 a	12042 b	9931 b	3070 b	8399 b
1x9	8352 b	9342 a	11867 b	8564 c	3636 b	8352 b
1x7	8680 b	8927 b	10158 c	9858 b	4137 a	8352 b
1x5	8377 b	8744 b	10065 c	9439 b	4478 a	8221 b
2x5	8386 b	8785 b	10540 c	9731 b	3235 b	8135 b
2x3	8196 b	8219 b	11369 c	10095 b	2796 b	8135 b
1x4	8937 b	8155 b	8234 d	11079 a	4235 a	8128 b
BRS 1060	9598 a	9134 b	11116 c	7289 d	3468 b	8121 b
3x9	8303 b	7824 b	11061 c	8601 c	4048 a	7967 c
1x3	7578 c	9684 a	9998 c	9239 b	3076 b	7915 c
1x8	7932 b	8888 b	11418 c	8838 b	2270 b	7869 c
1x6	8217 b	7945 b	9413 d	7690 c	5605 a	7774 c
4x5	6850 c	7349 c	9842 c	10605 a	3939 a	7717 c
8x9	8345 b	8024 b	10702 c	8637 c	2761 b	7694 c
7x8	8319 b	7912 b	10781 c	9166 b	2150 b	7666 c
2x4	7569 c	8417 b	10445 c	6360 d	5184 a	7595 c
3x5	6552 c	8028 b	10182 c	9403 b	3162 b	7465 c
3x6	7145 c	7916 b	9667 c	7908 c	4322 a	7392 c
2x8	8179 b	8713 b	9949 c	7854 c	2180 b	7375 c
2x7	8770 b	6516 c	10190 c	8328 c	2332 b	7227 c
3x8	7731 c	6808 c	10296 c	8400 c	2032 b	7054 c
4x7	6163 c	7591 c	9091 d	7435 c	4841 a	7024 c
3x7	6194 c	8461 b	9067 d	9330 b	1721 b	6955 d
3x4	6397 c	6381 c	9946 c	7453 c	3601 b	6756 d
4x8	6635 c	6970 c	8961 d	6596 d	3550 b	6542 d
6x9	6635 c	6316 c	10256 c	6232 d	3184 b	6525 d
4x9	5757 c	6893 c	9529 d	6943 d	3408 b	6506 d
5x8	6339 c	6241 c	8553 d	8892 b	2422 b	6489 d
5x6	5071 c	6108 c	8256 d	9174 b	3098 b	6341 d
6x7	6648 c	4654 c	8832 d	8455 c	2849 b	6288 d
2x6	4954 c	7553 c	8479 d	6633 d	3461 b	6216 d
4x6	6195 c	6831 c	8283 d	6414 d	3248 b	6194 d
6x8	5759 c	5305 c	8240 d	5922 d	2995 b	5644 d

Médias com a mesma letra pertencem ao mesmo agrupamento de acordo com o teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

4.5. Análises dialélicas individuais (Griffing, 1956)

Com a interação significativa entre tratamentos e ambientes, (GxA), procedeu-se à análise do dialelo em cada local, nas situações com e sem P na semeadura, para produtividade de grãos. O Quadro 18 mostra as análises dialélicas, segundo Griffing (1956), modelo fixo, apenas com F_1 's, desdobrando efeito de tratamentos em capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC). Os efeitos da CGC foram significativos em todas as 22 situações, indicando que os efeitos aditivos se revelaram importantes, independentemente do local, do ano agrícola e da presença de P na adubação de semeadura.

Os efeitos da CEC apresentaram significância em 13 das 22 situações, indicando que efeitos não aditivos também contribuíram para a produtividade, com ou sem P na semeadura. Os efeitos da CEC mostraram-se não significativos em nove situações: em Goiânia, em 2011, sem P na semeadura; em 2012, tanto na presença como na ausência de P na semeadura; em Londrina, em 2011, com e sem P na semeadura; em 2012, com P na semeadura; e em Ponta Grossa, em 2012, com e sem P na adubação de semeadura (Quadro 18). Nesses ambientes, os efeitos $\hat{\sigma}_{ij}$ das combinações híbridas não diferiram significativamente entre si, e seus desempenhos são explicados principalmente pelas médias dos parentais e pela CGC dos genitores envolvidos (Cruz et al., 2004; Nihei e Ferreira, 2012).

Quando se considera o total de observações em uma análise dialélica conjunta (número de locais x número de repetições), obtém-se um cálculo do teste F maior, favorecendo a aparição de significância para efeitos da CGC e CEC. Isso ocorre em função de que o aumento do número de observações diminui o desvio padrão da análise e o valor calculado da estatística F aumenta, favorecendo a significância entre tratamentos. Esta situação, entretanto, não é o usual na análise dialélica, que deve concentrar suas conclusões sobre médias de ambientes (Cruz, 2006), conforme observado nos Quadros 19 e 20.

4.6. Análise dialélica conjunta e componentes quadráticos

Para maior segurança na seleção do valor genotípico, é necessário avaliar em diferentes ambientes (Chaves, 2001; Resende, 2007; Ramalho et al., 2012).

Quadro 18 - Análises dialélicas individuais da produtividade de grãos (kg ha⁻¹), usando apenas os híbridos F₁'s entre nove linhagens de milho, segundo metodologia de Griffing (1956), utilizando médias de três repetições, com quadrados médios da capacidade geral de combinação (CGC) e capacidade específica de combinação (CEC) para seis locais (ano 2011) e cinco locais (ano 2012), nas condições com e sem P na adubação de semeadura (Programa Genes)

1 - 2011 com P na semeadura																			
FV	GL	Goiânia			Londrina			Ponta Grossa			NS das Dores			Sete Lagoas			Passo Fundo		
		QM	F	Prob	QM	F	Prob	QM	F	Prob	QM	F	Prob	QM	F	Prob	QM	F	Prob
Tratamentos	35	4548509	3,36	0,00	8209201	4,96	0,00	6573270	6,39	0,00	5092243	7,85	0,00	4027765	4,93	0,00	5651727	4,55	0,00
C.G.C.	8	9391334	6,93	0,00	27571721	16,65	0,00	17074403	16,60	0,00	14054547	21,65	0,00	9215997	11,29	0,00	18081469	14,57	0,00
C.E.C.	27	3113598	2,30	0,00	2472159	1,49	0,09	3461823	3,37	0,00	2436745	3,75	0,00	2490510	3,05	0,00	1968841	1,59	0,06
Resíduo	82	1355418			1655467			1028519			649096			816340			1240971		
Média		8572			8920			10353			7402			9936			8125		

2 - 2011 sem P na semeadura																			
FV	GL	Goiânia			Londrina			Ponta Grossa			NS das Dores			Sete Lagoas			Passo Fundo		
		QM	F	Prob	QM	F	Prob	QM	F	Prob	QM	F	Prob	QM	F	Prob	QM	F	Prob
Tratamentos	35	4629933	2,93	0,00	6939031	3,92	0,00	8289832	5,00	0,00	3407522	4,20	0,00	3530881	5,12	0,00	10817501	5,16	0,00
C.G.C.	8	12499712	7,90	0,00	21989464	12,42	0,00	24676981	14,87	0,00	8674018	10,69	0,00	9742682	14,13	0,00	33818521	16,12	0,00
C.E.C.	27	2298147	1,45	0,10	2479644	1,40	0,12	3434381	2,07	0,01	1847078	2,28	0,00	1690347	2,45	0,00	4002383	1,91	0,01
Resíduo	82	1582138			1770055			1659192			811289			689694			2098034		
Média		8006			8707			9562			6612			3998			6783		

3 - 2012 com P na semeadura																
FV	GL	Goiânia			Londrina			Ponta Grossa			NS das Dores			Sete Lagoas		
		QM	F	Prob	QM	F	Prob	QM	F	Prob	QM	F	Prob	QM	F	Prob
Tratamentos	35	5266669	3,42	0,00	4925421	3,59	0,00	8170366	3,78	0,00	9674571	6,78	0,00	5084943	3,57	0,00
C.G.C.	8	14755981	9,58	0,00	16105121	11,74	0,00	24905483	11,53	0,00	31684276	22,20	0,00	10621250	7,45	0,00
C.E.C.	27	2455021	1,59	0,06	1612917	1,18	0,28	3211812	1,49	0,09	3153177	2,21	0,00	3444556	2,42	0,00
Resíduo	82	1540296			1371496			2159432			1427533			1425333		
Média		9346			7271			10318			8674			7342		

4 - 2012 sem P na semeadura																
FV	GL	Goiânia			Londrina			Ponta Grossa			NS das Dores			Sete Lagoas		
		QM	F	Prob	QM	F	Prob	QM	F	Prob	QM	F	Prob	QM	F	Prob
Tratamentos	35	5112920	3,35	0,00	5297490	4,47	0,00	4867953	3,05	0,00	7054417	5,15	0,00	2855422	4,44	0,00
C.G.C.	8	14199785	9,29	0,00	14993610	12,66	0,00	12646756	7,93	0,00	20514356	14,99	0,00	6350242	9,88	0,00
C.E.C.	27	2420516	1,58	0,06	2424565	2,05	0,01	2563122	1,61	0,05	3066287	2,24	0,00	1819920	2,83	0,00
Resíduo	82	1528228			1184452			1595102			1368890			643035		
Média		7492			7878			10102			8665			3454		

A avaliação em distintos ambientes minimiza o efeito da interação de GxA. A análise dialélica conjunta para diferentes ambientes também é mais indicada que as análises dialélicas individuais, na obtenção de efeitos genéticos, porque quantifica a capacidade combinatória, geral e específica, e também considera suas interações com o ambiente estudado (Cruz, 2006). Neste trabalho, a análise conjunta foi calculada tanto para as médias de cada um dos dois anos agrícolas, separadamente, como também utilizando as médias acumuladas dos dois anos, na declaração de parâmetros do Programa Genes.

A análise dialélica conjunta com médias de seis ambientes (ano 2011) e cinco ambientes (ano 2012) mostrou significância para efeitos da CGC e para efeitos da CEC em todas as quatro situações estudadas, ou seja, tanto na presença como na ausência de P na adubação de semeadura (Quadro 19). O mesmo ocorreu para as interações CGC x Ambientes e CEC x Ambientes, exceto para CEC x Ambientes em 2012, com presença de P na semeadura, que resultou em interação não significativa.

No ano agrícola de 2012, com presença de P na semeadura, constatou-se que a interação CEC x ambientes não foi significativa, indicando, nesta situação e grupo de genótipos estudados, que não se detectaram diferenças significativas dos efeitos de CEC entre os distintos ambientes. Isso fica mais claro verificando-se as análises individuais por local, onde os efeitos da CEC nem sempre foram significativos (Quadro 18). Esse fato pode ter ocorrido em função de uma menor variabilidade entre genótipos, em determinados ambientes, como em Londrina, onde ocorreu estiagem em 2012. Apesar dessa ocorrência de 2012, a significância aconteceu para CEC x Ambientes, na média de 11 ambientes, e esta interação ambiental indica que o desempenho geral das combinações híbridas foi diferente entre os 11 distintos ambientes.

A análise conjunta dos mesmos cruzamentos, refeita levando-se em conta o total de 11 ambientes, com a utilização acumulada das médias dos dois anos agrícolas (2011 e 2012), manteve a mesma tendência, ou seja, de significância dos efeitos da CGC e da CEC (Quadro 20). Isso é indicativo da importância tanto de efeitos aditivos como de efeitos não aditivos no comportamento dos genótipos, na expressão da característica de eficiência a P, para a produtividade deste grupo de materiais.

A magnitude do QM da CGC foi superior ao da CEC, mas esta relação tem

menor importância que os componentes quadráticos ($\hat{\Phi}_g$ e $\hat{\Phi}_s$), que estimam melhor os efeitos aditivos e não aditivos, responsáveis pela expressão da característica (Cruz, 2006). Neste cálculo, os componentes quadráticos dos efeitos da CGC foram superiores aos da CEC, realçando a predominância de efeitos aditivos sobre os não aditivos (Quadro 20). A informação de efeitos aditivos predominando na expressão da característica serve para orientar o programa de melhoramento na escolha de métodos de seleção, por exemplo, do método intrapopulacional, como é o caso da seleção massal, para se promover a recombinação das linhagens com melhores \hat{g}_i 's e aumentar a frequência de genes favoráveis na população.

Os componentes quadráticos, conforme Quadro 20, calculados com base na esperança matemática de quadrados médios da análise conjunta de dois anos, expressam a variabilidade dos genótipos estudados (Cruz et al., 2004) e indicam a superioridade de efeitos da CGC sobre os efeitos da CEC para a produtividade, neste grupo de genótipos. Isso ocorreu tanto na presença como na ausência de P na adubação de semeadura e mostrou a concentração de genes com preponderância de efeitos aditivos na expressão da produtividade (Oliveira et al., 1998), nestes 36 híbridos F_1 's avaliados.

Uma possível explicação para efeitos da CGC superarem os da CEC é que as linhagens utilizadas neste dialelo foram escolhidas apenas pelas suas características intrínsecas de contraste a P, algumas eficientes e outras ineficientes a P, e não foram direcionadas por grupo heterótico (GH), ou seja, não representam grupos heteróticos opostos, o que aumentaria os efeitos da CEC. Sem informações de que as linhagens são heteróticas, ou que produzam boas combinações híbridas, podem ocorrer maiores valores de QM para CGC que para a CEC. Sprague e Tatum (1942) consideraram os efeitos da CGC relativamente mais importantes que os da CEC quando utilizaram linhagens endogâmicas não previamente selecionadas para rendimento, como as linhagens deste trabalho, indicando que as estimativas relativas de CGC e CEC dependem do grupo de linhagens sob avaliação.

Também não se conhece nenhum parentesco entre as linhagens do presente estudo, pois a possível existência de qualquer parentesco entre elas possibilitaria a ocorrência de menores efeitos para a CEC. A baixa diversidade genética entre genitores pode comprometer a identificação de combinações híbridas mais heteróticas, por falta de complementariedade gênica (Cruz, 2005).

Quadro 19 - Análises dialélicas conjuntas para produtividade de grãos (kg ha⁻¹), usando apenas os F₁'s entre nove linhagens de milho (Griffing, 1956, modelo fixo), utilizando médias de seis ambientes (2011) e cinco ambientes (2012), nas condições com e sem P na adubação de semeadura (Programa Genes)

FV	Ano 2011							Ano 2012						
	GL	Com P na semeadura			Sem P na semeadura			GL	Com P na semeadura			Sem P na semeadura		
		QM	F	Prob	QM	F	Prob		QM	F	Prob	QM	F	Prob
Tratamentos	35	22749744	10,02	0,00	22907518	7,79	0,00	35	22104607	8,03	0,00	13456654	4,59	0,00
C.G.C.	8	73252860	16,55	0,00	83137829	14,71	0,00	8	72778151	11,51	0,00	41119651	5,96	0,00
C.E.C.	27	7785858	4,77	0,00	5061500	2,37	0,00	27	7090224	4,18	0,00	5260211	2,99	0,00
Ambientes	5	132559902	58,38	0,00	415578444	141,28	0,00	4	185296689	67,27	0,00	665314285	226,85	0,00
Trat x Amb	175	2270594	2,02	0,00	2941436	2,05	0,00	140	2754341	1,74	0,00	2932887	2,32	0,00
C.G.C. x Amb	40	4427322	3,94	0,00	5652710	3,94	0,00	32	6323490	3,99	0,00	6896274	5,46	0,00
C.E.C. x Amb	135	1631564	1,45	0,00	2138096	1,49	0,00	108	1696815	1,07	0,32	1758550	1,39	0,01
Resíduo	492	1124302			1435067			410	1584818			1263942		
Média geral		8885			7278				8590			7518		

Quadro 20 - Análise dialélica conjunta da produtividade de grãos (kg ha⁻¹) para médias dos anos de 2011 (seis ambientes) e 2012 (cinco ambientes), e a decomposição dos efeitos de tratamentos (Griffing, 1956, modelo fixo), em função dos 11 ambientes testados, com e sem P na adubação de sementeira. Componentes quadráticos médios de dois anos de avaliação nas condições com e sem P na adubação de sementeira (Programa Genes)

		Médias dos anos de 2011 e 2012					
		Com P na sementeira			Sem P na sementeira		
FV	GL	QM	F	Prob	QM	F	Prob
Tratamentos	35	41909822	16,56	0,00	33704113	11,58	0,00
C.G.C.	8	139473772	25,83	0,00	118761096	19,36	0,00
C.E.C.	27	13001985	7,73	0,00	8502044	4,35	0,00
Ambientes	10	142951101	56,47	0,00	475616759	163,45	0,00
Trat x Amb	350	2531486	1,90	0,00	2909879	2,14	0,00
C.G.C. x Amb	80	5398781	4,05	0,00	6134503	4,52	0,00
C.E.C. x Amb	270	1681918	1,26	0,01	1954435	1,44	0,00
Resíduo	902	1333627			1357283		
Média geral		8750			7387		

Componentes Quadráticos Médios		
	Com P na sementeira	Sem P na sementeira
C.G.C.	540276	449485
C.E.C.	zero	zero
Resíduo	1333627	1357283

Para os 11 ambientes avaliados, com a utilização acumulada das médias dos dois anos agrícolas (2011 e 2012), os efeitos das interações CGC x Ambientes e CEC x Ambientes também foram significativos, nas duas situações, com e sem P na adubação de sementeira (Quadro 20). Isso indicou que os efeitos de CGC e CEC não se mostraram iguais nos distintos ambientes, devendo ser observados os resultados das linhagens (\hat{g}_i) e cruzamentos (\hat{s}_{ij}) em cada ambiente, separadamente, praticando o que se chama de seleção de genótipos ou melhoramento para condições específicas (Vencovsky e Barriga, 1992; Nass et al., 2000; Nihei e Ferreira, 2012). Na verdade, trata-se de indicativo da atenção que deve ser dada aos problemas decorrentes da interação genótipos x ambientes (Chaves, 2001; Aguiar et al., 2003; Ramalho et al., 2012), que podem afetar a resposta produtiva de milho na presença e na ausência de P na sementeira. Com base nesses resultados, sempre deverão ser avaliados diversos ambientes, pois o comportamento da capacidade combinatória obtido em um ambiente não refletirá o mesmo resultado em outro ambiente.

4.7. Estimativas da capacidade geral (\hat{g}_i) e específica de combinação (\hat{s}_{ij})

A obtenção de linhagens endogâmicas é rotina no melhoramento de milho e fornece a base de importantes pesquisas básicas e aplicadas na cultura. Por sua homozigose, uniformidade e facilidade de serem reconhecidas pelo parentesco ou pelo distanciamento genético entre si, as linhagens endogâmicas são eficientes em estudos de herança e muito usadas em dialelos, como neste estudo.

Com as estimativas obtidas do dialelo, para efeitos da capacidade geral e capacidade específica de combinação, obtêm-se informações sobre a importância relativa de genes com efeitos aditivos e não aditivos, respectivamente; se efeitos não aditivos forem predominantes, espera-se maior possibilidade de selecionar para a característica desejada explorando híbridos (Hallauer e Miranda Filho, 1985; Cruz et al., 2004), genótipos que são normalmente produzidos em programas aplicados de melhoramento. Se efeitos aditivos predominam, como foi o caso do conjunto de genótipos utilizados neste trabalho, podem-se utilizar as linhagens com maior efeito \hat{g}_i para 1) formar populações sintéticas com a finalidade de autofecundar e extrair novas linhagens; 2) fazer reciclagem de linhagens elite (superiores), promovendo contínuas recombinações para juntar alelos favoráveis na população, e, também, 3) cruzar as melhores linhagens para obter combinações híbridas superiores, para aproveitamento da heterose e posterior uso comercial de híbridos.

Populações geradas de cruzamentos entre linhagens elite de milho geralmente são a fonte de linhagens endogâmicas nos programas de pesquisa que visam ao mercado. Esse conceito prático se resume em cruzar linhas puras elite, gerar novas populações e fazer reciclagens repetitivas para reunir alelos favoráveis em novas linhagens e híbridos. O germoplasma americano atual, por exemplo, é, na prática, melhoramento do novo germoplasma, ou seja, melhoramento de um pequeno conjunto de linhagens endogâmicas, por meio da reciclagem de linhagens elite estreitamente relacionadas, dentro de seus respectivos grupos heteróticos, gerando para o mercado híbridos muito semelhantes àqueles que eles substituem (Mikel, 2011).

A longo prazo, no entanto, com a simples reciclagem, pode ocorrer diminuição da variabilidade genética, que pode limitar o desenvolvimento de novos híbridos superiores (Souza Jr et al., 2010; Mikel, 2011). Desta forma, o melhoramento de longo prazo necessita da seleção continuada de genes favoráveis para um aumento

recorrente de sua frequência nas populações de estudo. Para isso precisa haver seleção de linhagens com alto \hat{g}_i e melhoramento da população, ou seja, seleção e aumento da frequência de genes favoráveis na população. Apenas autofecundar não caracteriza o processo de melhoramento; tem que haver seleção. Em razão disso é que se devem formar populações melhoradas para cada tipo de característica, entre elas a eficiência a P.

Na análise conjunta utilizando médias de dois anos agrícolas, o efeito médio de \hat{g}_i na presença de P na semeadura variou de 767,14 para a linhagem 5 (L51502020) até -1356.78 para a linhagem 6 (L56.800.84) e na ausência de P na semeadura variou de 847,00 para a linhagem 1 (L3) até -1205,97 para a linhagem 6 (L56.800.84) (Quadro 21).

A análise conjunta de dois anos agrícolas (2011 e 2012) revelou que o efeito médio de \hat{g}_i , na presença de P na semeadura, variou de 767,14 para a linhagem 5 (L51502020) até -1356.78 para a linhagem 6 (L56.800.84) e na ausência de P na semeadura variou de 847,00 para a linhagem 1 (L3) até -1205,97 para a linhagem 6 (L56.800.84) (Quadro 21). O maior efeito \hat{g}_i médio, correspondente aos efeitos da CGC, na condição de ausência de P, foi da linhagem 1 (L3), mostrando sua alta eficiência à baixo P, seguido pela linhagem 5 (L51502020), que se mostrou com dupla aptidão, ao mesmo tempo a mais responsiva e a segunda mais eficiente. Esta situação da linhagem 5 é a ideal para o melhoramento, por apresentar responsividade ao fornecimento de P e eficiência na condição de baixo fornecimento do nutriente no solo (Parentoni et al., 2011). A linhagem 2 (L228-3) também se mostrou responsiva à presença de P, além de eficiente. A linhagem 7 (L22) vem em seguida, como linhagem responsiva e eficiente, e a linhagem 9 (L56.800.67) aparece na sequência, como eficiente e responsiva.

As linhagens 7 e 9 (L22 e L56.800.67) foram descritas na metodologia como ineficientes, mas neste grupo de genótipos elas se mostraram com relativo grau de eficiência, principalmente a linhagem 9.

Este resultado evidencia que os estudos de herança com dialelo podem sofrer influência, em parte, do grupo de genótipos utilizados nos cruzamentos, além dos efeitos ambientais incidentes. Além disso, as linhagens 7 e 9 indicam que a sua avaliação em cruzamentos pode oferecer uma fonte mais rica de informações que a avaliação *per se*, ainda frequentemente realizada. Em milho, o desempenho das

linhagens *per se* não é eficaz para predizer o comportamento produtivo de seus híbridos simples, devido ao mascaramento dos efeitos não aditivos (Hallauer, 1990).

O desenvolvimento de linhagens endogâmicas é largamente utilizado no melhoramento de milho (Hallauer e Miranda Filho, 1985), sendo também comum a seleção de linhas com base em seu próprio desempenho (Troyer e Wellin, 2009; Ordás et al., 2012), evitando um volumoso trabalho de cruzamentos. Porém, os dados acima expostos permitem observar que faz mais sentido para o melhoramento avaliar as linhagens em cruzamentos, e isso é feito pelas empresas em topcrosses, onde os cruzamentos servem para procurar e identificar genes, visando a aumentar a frequência de todo tipo de alelo favorável no programa de melhoramento, seja para eficiência a P, tolerância a baixo N, tolerância a seca, ao alumínio, etc..

A linhagem 1 (L3), para este conjunto de genótipos estudados, possui o maior efeito \hat{g}_i na ausência de P na semeadura. Isso concorda plenamente com a característica dessa linhagem, uma das mais importantes linhagens elite do programa da Embrapa Milho e Sorgo, pois dela originaram híbridos comerciais tolerantes (eficientes) a baixo P no solo, demonstrando a importância do efeito *per se* da linhagem e de seus cruzamentos.

O efeito médio \hat{s}_{ij} para a situação de presença de P na semeadura variou de 1108,86 para a combinação 5x7 (L51502020 x L22) até -1629,80 para a combinação 2x7 (L228-3 x L22) (Quadro 22), enquanto que, na ausência de P, o efeito médio \hat{s}_{ij} variou de 807,27 para a combinação 5x7 (L51502020 x L22) até -1142,69 para a combinação 4x9 (L56.800.79 x L 56.800.67) (Quadro 23). O cruzamento 5x7 obteve o maior efeito \hat{s}_{ij} , correspondente aos efeitos da CEC, tanto na situação de presença quanto na ausência de P na semeadura, o que o torna promissor.

O efeito \hat{s}_{ij} é a interpretação de que ocorreram desvios nesta combinação 5x7, em relação ao que seria esperado pela CGC dos progenitores 5 e 7, e isso evidencia a presença de genes não aditivos (Cruz et al., 2004), ou seja, quanto do comportamento do híbrido 5x7 não pode ser explicado apenas pela CGC dos progenitores 5 e 7 (Ramalho et al., 2012).

O cruzamento 5x7 combina uma linhagem eficiente (linha 5=L51502020) com uma linhagem considerada ineficiente (linha 7=L22), indicando a existência de

complementação gênica entre as duas linhagens (Vencovsky e Barriga, 1992). Não é comum que duas linhagens de baixa capacidade geral de combinação resultem em combinações específicas superiores (Pinto, 2009). Também não é assegurado que duas linhagens com alta CGC resultem em uma combinação específica superior (Cruz e Vencovsky, 1989), precisa haver complementação gênica, que se origina da diferença na frequência gênica entre os progenitores (divergência) e da presença de efeitos de dominância (Ramalho et al., 2012). Esses dois fatos podem ser vistos examinando-se os efeitos \hat{s}_{ij} nos cruzamentos 4x6 e 1x5, respectivamente. A combinação 4x7 foi a segunda colocada no ranking geral em presença de P na semeadura (Quadro 22). Na ausência de P na semeadura, os efeitos da \hat{s}_{ij} indicaram o cruzamento 2x9 (L228-3 x L56.800.67) como o segundo colocado no ranking para produtividade, o qual também envolve uma linhagem eficiente (linha 2=L228-3) e uma linhagem previamente considerada como ineficiente (linha 9=L56.800.67), indicando também a importância da complementação gênica no desempenho das melhores combinações híbridas. Um outro cruzamento, 3x6 (L36 x L56.800.84), mostrou-se, ao mesmo tempo, medianamente responsivo e eficiente.

Quanto maior o efeito da capacidade combinatória de uma linhagem, melhores resultados se esperam dos cruzamentos em que ela participa (Miranda Filho e Gorgulho, 2001). Assim, podem-se considerar como muito eficientes *per se* as linhagens 1 (L3) e 5 (L51502020), mas a desejada é aquela que apresenta altos efeitos da CGC e também participa de cruzamentos com alto efeito da CEC (Cruz et al., 2004). Nesse caso é indicada a linhagem 5 (L51502020) como muito promissora neste estudo, pois possui alto \hat{g}_i e participa do cruzamento de maior efeito \hat{s}_{ij} .

Em função da interação entre tratamentos e ambientes, observada na análise conjunta, seja dos efeitos da CGC x Ambientes como dos efeitos da CEC x ambientes, deve-se, no entanto, priorizar a seleção de genótipos para cada ambiente separadamente (Nass et al., 2000; Nihei e Ferreira, 2012). Sendo assim, as melhores linhagens a serem selecionadas com base no efeito genético \hat{g}_i , e não nas médias fenotípicas, para a situação de presença de P na semeadura, em função da responsividade, em cada localidade, são:

para Goiânia: 2 e 5;

para Londrina: 1 e 7;

para Ponta Grossa: 7 e 9;

para N. S^a das Dores: 5 e 9;

para Sete Lagoas: 9 e 2;

para Passo Fundo: 2 e 5.

Na situação de ausência de P na semeadura, ou seja, em função da eficiência, as melhores linhagens a serem selecionadas com base no efeito genético \hat{g}_i , em cada localidade, são:

para Goiânia: 1 e 2;

para Londrina: 1 e 5;

para Ponta Grossa: 7 e 9;

para N. S^a das Dores: 5 e 1;

para Sete Lagoas: 1 e 4;

para Passo Fundo: 9 e 5.

Em alguns locais, as mesmas linhagens repetiram o comportamento nas duas situações, na presença e na ausência de P na semeadura, ao longo dos dois anos agrícolas, como ocorreu em Ponta Grossa com as linhagens 7 (L22) e 9 (L56.800.67) e com a linhagem 1 (L3) em Goiânia.

Também ocorreu de algumas linhagens mostrarem um bom comportamento nas duas safras agrícolas, independentemente da presença ou não de P na semeadura. Isso se deu com o excelente desempenho da linhagem 5 (L51502020) em N.S^a das Dores, indicando que alguns genótipos são mais “estáveis” em determinados ambientes, mantendo seu efeito genético, apesar das diferenças ambientais de um ano agrícola para outro, e que alguns genótipos têm a dupla aptidão, de eficiência e responsividade a P. Em N.S^a das Dores, a linhagem 2 (L228-3) não teve bom desempenho, mas em todas as outras localidades ela obteve um bom comportamento.

É possível notar que as diferentes linhagens descritas por seu bom comportamento genético individual, em cada local, estão entre aquelas mencionadas com bom desempenho médio geral, com base no efeito médio de 11 ambientes, nos dois anos agrícolas avaliados, ou seja, as linhagens 1, 5, 2, 7 e 9, nessa ordem, como mencionado no início deste item, com ênfase para as linhagens 1, 5 e 2.

Algumas linhagens são apenas eficientes e outras são eficientes e responsivas, o que as tornam mais interessantes ainda, porque apresentam bom desempenho na ausência de P e respondem positivamente quando o nutriente é fornecido no sulco de plantio. O mesmo raciocínio vale para as combinações híbridas, o que geralmente é explicado pela complementação gênica.

Quadro 21 - Efeitos da capacidade geral de combinação (CGC) para produtividade de grãos de milho no dialelo com F₁'s (Griffing, 1956) nos ambientes individuais, e utilizando médias de seis ambientes (ano 2011) e cinco ambientes (ano 2012), nas situações com e sem P na adubação de semeadura

Linhagens	2011						2012					Efeitos médios
	Goiânia	Londrina	Ponta Grossa	NS das Dores	Sete Lagoas	Passo Fundo	Goiânia	Londrina	Ponta Grossa	NS das Dores	Sete Lagoas	
Efeito de \hat{g}_i com P na semeadura												
1	273,60	552,49	-56,05	308,33	422,43	664,16	603,41	1463,29	1210,74	380,22	135,75	541,67
2	540,84	1373,73	768,17	37,60	859,96	970,08	1221,77	930,97	215,35	-262,77	847,16	682,08
3	-136,90	-239,12	392,98	133,92	451,63	-529,01	-509,82	23,01	97,43	-10,26	154,47	-15,61
4	-1065,11	-534,10	-1149,78	-1248,37	-597,09	-1315,30	-561,38	-370,67	-812,98	-1094,49	-609,46	-850,79
5	754,00	337,19	237,03	1466,75	759,32	946,32	166,02	519,22	502,45	2533,04	217,19	767,14
6	-618,38	-2349,06	-1082,91	-712,11	-1092,20	-1282,84	-1592,42	-1174,19	-1963,10	-1852,69	-1204,64	-1356,78
7	656,41	1413,55	1578,14	227,63	-93,12	663,41	527,77	-463,34	619,00	322,95	192,51	513,18
8	-746,98	-581,42	-833,23	-795,42	-327,82	-562,41	-338,21	-1053,88	-1119,17	-601,88	-686,17	-695,14
9	342,52	26,74	145,67	581,67	-383,12	445,58	482,85	125,61	1250,27	585,87	953,19	414,26
DP (\hat{g}_i)	239,52	264,71	208,65	165,76	185,89	229,19	255,34	240,94	302,33	245,81	245,62	
DP ($\hat{g}_i - \hat{g}_j$)	359,29	397,07	312,98	248,63	278,83	343,78	383,01	361,41	453,50	368,72	368,44	
Efeito de \hat{g}_i sem P na semeadura												
1	924,10	497,37	703,72	848,92	1247,84	867,55	1253,37	1334,32	202,19	821,77	615,86	847,00
2	656,38	822,70	903,29	-194,95	108,85	210,71	1003,19	774,81	649,80	-130,99	231,33	457,74
3	-636,17	-348,10	-126,19	297,05	369,02	-804,60	-263,01	41,86	110,02	157,96	-410,28	-146,59
4	-958,58	-288,01	-1186,90	-882,19	-849,73	-1266,05	-776,23	-634,45	-926,29	-919,75	625,26	-732,99
5	658,47	1032,96	609,18	903,59	107,19	1422,59	-307,96	85,38	26,90	1609,07	-7,05	558,21
6	-895,14	-2231,07	-1929,84	-509,93	-706,96	-1440,49	-1330,41	-1485,74	-1341,47	-1556,39	161,79	-1205,97
7	368,14	1018,56	1320,04	208,54	-344,70	1138,44	-13,35	-109,00	326,81	845,20	-480,20	388,95
8	-681,57	-392,34	-772,77	-744,22	-536,67	-1552,85	-99,86	-595,29	-273,76	-716,71	-1038,76	-673,16
9	564,37	-112,06	479,48	73,18	605,16	1424,70	534,25	588,10	1225,80	-110,17	302,06	506,81
DP (\hat{g}_i)	258,78	273,72	265,01	185,31	170,86	298,00	254,34	223,91	259,84	240,71	164,98	
DP ($\hat{g}_i - \hat{g}_j$)	388,18	410,58	397,52	277,97	256,29	447,00	381,50	335,86	389,76	361,07	247,47	

Quadro 22 - Efeitos médios da capacidade específica de combinação (CEC) para produtividade de grãos de milho no dialelo com F₁'s (Griffing, 1956), utilizando médias de seis ambientes (2011) e de cinco ambientes (2012), com presença de P na adubação de semeadura

Cruzamentos	Com P na semeadura														Efeitos médios
	Média geral Kg/ha	2011						Média geral Kg/ha	2012						
		ŝ _j	Goiânia	Londrina	Ponta Grossa	NS das Dores	Sete Lagoas		Passo Fundo	ŝ _j	Goiânia	Londrina	Ponta Grossa	NS das Dores	
1x2	10676	-9,60	932,55	493,49	288,30	1661,38	668,38	10451	68,25	-107,32	1573,43	830,24	195,32	599,49	
1x3	8648	-1691,11	-1462,63	-360,22	-427,57	301,00	-14,60	9228	740,48	909,36	-807,05	-296,94	-905,66	-364,99	
1x4	8058	-210,91	-686,77	-1284,51	2175,61	-1103,15	-104,72	9470	666,68	111,60	691,06	1680,18	905,12	258,20	
1x5	9579	582,80	-606,88	-245,41	-266,18	-2186,59	220,92	9145	-110,31	-1057,52	-461,72	-1364,24	-1963,78	-678,08	
1x6	8539	722,06	998,11	1006,51	-273,98	270,64	176,95	8066	363,71	206,13	-735,99	452,17	1087,78	388,55	
1x7	9597	-1044,23	439,87	221,90	-903,95	170,60	-1222,02	9734	60,36	616,66	6,04	-848,81	891,32	-146,57	
1x8	8971	1305,03	837,80	-253,42	-536,91	602,89	247,39	8318	-536,51	-982,51	-180,67	568,01	-225,40	76,88	
1x9	9534	345,95	-452,05	421,66	-55,32	283,23	27,70	9621	-1252,67	303,60	-85,09	-1020,62	15,31	-133,48	
2x3	10434	1261,99	671,64	1505,36	1373,83	-47,28	-93,83	9531	28,19	-410,55	-215,82	1730,94	863,37	606,17	
2x4	8611	289,55	-1124,55	405,03	-13,67	138,30	25,05	8698	276,08	152,88	473,35	118,28	15,76	68,73	
2x5	11017	706,92	134,35	39,53	769,89	855,85	1236,93	10221	718,28	49,01	340,05	-302,14	456,52	455,02	
2x6	7935	-669,73	531,07	-280,15	-841,48	-964,19	-886,51	7132	-355,99	-43,71	-647,29	-1437,74	28,31	-506,13	
2x7	8668	-1266,17	-2071,89	-2393,39	-1617,22	-1308,92	-1640,66	7895	-1280,16	-1216,64	-1869,10	-898,27	-2365,44	-1629,80	
2x8	8603	-334,07	-200,95	-878,39	-393,73	-565,12	-17,70	8513	56,43	938,98	377,11	-520,11	-393,80	-175,58	
2x9	10441	21,10	1127,80	1108,53	434,08	229,98	708,34	10415	488,92	637,34	-31,74	478,81	1199,97	582,10	
3x4	7851	63,65	498,44	-295,13	-857,10	108,49	113,77	7312	-1251,36	223,34	394,50	-1209,34	-855,59	-278,76	
3x5	9266	-1667,38	638,13	482,77	-984,65	150,90	-903,97	9181	237,99	-1118,03	-412,31	-335,99	891,77	-274,62	
3x6	8159	881,44	134,72	186,86	1030,21	410,60	69,77	8031	927,13	881,82	2421,66	277,75	726,80	722,61	
3x7	9175	-190,53	-509,80	-1434,42	90,46	-1023,81	293,36	7798	-1330,63	-469,15	-216,75	-786,33	-2110,43	-698,91	
3x8	8787	1160,43	-185,99	872,67	111,28	-46,89	1278,03	8031	602,41	253,81	-427,35	156,71	660,85	403,27	
3x9	8841	181,49	215,49	-957,89	-336,46	146,99	-742,51	9267	45,81	-270,60	-736,88	463,19	728,90	-114,77	
4x5	9025	471,29	184,71	506,06	-76,15	515,26	647,62	9078	1175,41	27,30	550,83	-108,20	302,46	381,51	
4x6	6224	-492,51	-42,95	-376,23	-630,62	-786,30	-588,74	6241	-495,51	230,76	-673,70	1088,65	-658,26	-311,40	
4x7	9466	1621,19	1196,76	1040,91	-294,81	1093,22	297,02	8956	782,00	799,22	739,38	443,67	1312,39	821,00	
4x8	7457	-555,13	488,01	1566,81	-401,54	704,05	-612,71	6686	542,34	-888,59	-500,97	-1392,22	-34,47	-98,59	
4x9	7491	-1187,12	-513,64	-1562,94	98,27	-669,87	222,72	7453	-1695,63	-656,51	-1674,45	-621,03	-987,40	-840,69	
5x6	8332	361,47	-1216,72	106,44	25,38	2,82	40,98	7478	-437,18	135,24	-456,24	-607,32	-346,55	-217,43	
5x7	11444	379,44	1117,16	1054,66	1144,75	1491,98	1224,14	10775	-412,87	1490,91	1540,25	2100,58	1066,49	1108,86	
5x8	8192	35,89	-347,41	-1519,98	-984,65	-807,02	-1182,64	8322	-1616,17	222,22	-823,19	346,75	393,22	-571,18	
5x9	9472	-870,42	96,67	-424,08	371,61	-23,20	-1283,97	10035	444,84	250,86	-277,67	270,56	-800,13	-204,09	
6x7	9023	950,39	464,12	-119,50	972,94	837,34	416,96	7325	624,76	-901,38	-8,95	691,66	-142,08	344,21	
6x8	7064	-1495,87	242,58	57,17	410,65	360,87	486,94	6177	-319,13	-140,38	-362,92	254,09	88,35	-37,97	
6x9	7473	-257,26	-1110,92	-581,10	-693,09	-131,76	283,66	7369	-307,78	-368,48	463,42	-719,26	-784,35	-382,45	
7x8	8613	-1166,33	-1053,45	-105,43	1110,91	-836,91	-176,09	7978	275,34	86,53	-307,66	-632,05	115,66	-244,50	
7x9	10277	716,23	417,23	1735,26	-503,06	-423,51	807,28	9940	1281,21	-406,16	116,78	-70,46	1232,10	445,72	
8x9	8900	1050,03	219,42	260,57	683,98	588,13	-23,21	9379	995,30	509,94	2225,64	1218,81	-604,41	647,65	
DP (ŝ _{ij})		582,11	643,32	507,08	402,83	451,76	556,99		620,54	585,55	734,75	597,40	596,94		
DP (ŝ _{ij} - ŝ _{ik})		880,07	972,62	766,63	609,02	682,99	842,10		938,17	885,28	1110,84	903,18	902,48		
DP (ŝ _{ij} - ŝ _{ik})		803,39	887,87	699,84	555,96	623,48	768,72		856,43	808,14	1014,05	824,49	823,85		

Quadro 23 - Efeitos médios da capacidade específica de combinação (CEC) para produtividade de grãos de milho no dialelo com F₁'s (Griffing, 1956), usando médias de seis ambientes (ano 2011) e de cinco ambientes (ano 2012), na ausência de P na adubação de semeadura

Cruzamentos	Sem P na semeadura														
	2011							2012							Efeitos médios
	Média geral Kg/ha	$\hat{\sigma}_{ij}$						Média geral Kg/ha	$\hat{\sigma}_{ij}$						
Goiânia		Londrina	Ponta Grossa	NS das Dores	Sete Lagoas	Passo Fundo	Goiânia		Londrina	Ponta Grossa	NS das Dores	Sete Lagoas			
1x2	8803	588,16	1345,96	94,09	-232,33	-241,79	-2,94	9455	889,67	696,77	123,69	1012,27	202,74	406,94	
1x3	7425	-354,57	-1137,39	-1330,33	751,67	9,08	-899,38	7915	-904,19	428,84	-416,54	-406,46	-583,23	-440,23	
1x4	7323	-60,67	-1708,95	152,15	928,69	-50,16	1350,69	8128	967,78	-423,61	-1143,46	2511,70	-459,53	187,69	
1x5	8828	854,22	-16,65	-1316,01	-164,65	267,65	-148,29	8221	-60,89	-554,12	-265,95	-1657,12	415,18	-240,60	
1x6	7274	165,13	1187,96	1047,93	-300,02	-259,91	760,40	7774	801,78	217,88	449,97	-241,00	1373,84	473,09	
1x7	8482	-1023,46	-541,90	584,26	-708,71	448,17	-331,11	8352	-51,92	-176,64	-472,83	-474,14	547,33	-200,09	
1x8	7627	422,50	786,13	751,00	-466,62	1049,09	-860,39	7869	-713,97	270,23	1388,04	67,32	-760,79	175,69	
1x9	8401	-591,31	84,83	16,92	191,99	-1222,12	131,01	8352	-928,26	-459,36	337,08	-812,56	-735,55	-362,48	
2x3	7858	1270,25	239,58	603,45	-664,46	-700,23	1470,57	8135	-36,26	-475,80	506,68	1402,75	-479,23	285,21	
2x4	7048	944,82	-496,29	688,45	697,00	642,82	-933,92	7595	-149,77	398,20	619,25	-1255,10	873,46	184,45	
2x5	8865	-380,92	192,81	-962,61	660,56	1196,39	1577,49	8135	198,99	46,53	-239,01	-412,80	-443,59	130,35	
2x6	5365	-623,88	-1428,75	-2116,26	-21,47	-316,25	-1765,73	6216	-2210,56	385,02	-931,02	-345,12	-385,69	-887,25	
2x7	7473	-1240,64	-485,35	-819,53	-1104,40	100,37	-1493,96	7227	287,64	-2027,90	-888,20	-1052,05	-872,77	-872,44	
2x8	7179	-1066,38	873,18	1180,02	303,92	-997,02	1287,95	7375	-216,10	655,26	-529,20	36,08	-466,79	96,45	
2x9	8558	508,60	-241,14	1332,39	361,19	315,72	-139,47	9548	1236,40	321,91	1337,81	613,98	1571,88	656,30	
3x4	6219	-1113,48	735,58	444,49	241,45	154,01	-137,54	6756	-55,73	-904,59	660,54	-450,72	-67,41	-44,85	
3x5	7425	-1274,46	-670,02	1179,48	-1325,67	-668,55	157,47	7465	-369,69	21,98	-56,49	-1029,76	125,48	-355,48	
3x6	6074	-115,33	451,81	-245,69	853,19	1138,49	-344,17	7392	1246,50	1481,19	796,50	641,48	1116,84	638,26	
3x7	7438	238,24	466,93	-634,55	-247,95	-819,64	-505,88	6955	-1021,70	650,01	-1471,63	-338,78	-842,68	-411,60	
3x8	6559	597,12	378,01	-166,54	303,92	-162,26	662,84	7054	601,92	-516,83	358,07	293,79	27,53	216,14	
3x9	7771	752,22	-464,51	149,68	87,86	1049,10	-403,91	7967	539,14	-684,81	-377,13	-112,30	702,70	112,55	
4x5	7506	1078,42	404,68	264,64	-346,87	-201,45	867,21	7717	442,19	19,66	639,83	1250,62	-132,68	389,66	
4x6	5258	355,76	537,35	1059,02	-1375,13	216,68	231,97	6194	809,27	1072,37	449,15	224,98	-992,56	235,35	
4x7	7640	991,41	1257,47	556,65	439,29	562,90	85,39	7024	-539,49	456,09	-411,57	-1156,18	1241,93	316,72	
4x8	5282	-798,40	-9,24	-707,27	480,94	256,40	-1088,07	6542	18,98	321,05	59,03	-432,49	509,54	-126,32	
4x9	5612	-1397,85	-720,59	-2458,13	-1065,35	-1581,20	-375,73	6506	-1493,23	-939,17	-872,76	-692,81	-972,75	-1142,69	
5x6	6869	-18,65	-152,75	688,38	9,76	189,27	-190,68	6341	-782,63	-369,93	-531,90	455,67	-510,59	-110,37	
5x7	9231	-674,59	991,29	583,00	1532,62	-554,07	1397,34	9034	457,53	840,13	2485,74	1617,67	203,25	807,27	
5x8	6735	142,81	-1364,01	-508,53	-339,06	-237,23	-1003,57	6489	-745,74	-1127,90	-1302,25	-665,31	13,89	-648,81	
5x9	8287	273,17	614,67	71,65	-26,68	7,98	-2656,98	8712	860,24	1123,64	-729,98	441,04	329,05	27,98	
6x7	6868	1145,22	-1423,14	704,29	1160,37	-356,08	316,02	6288	499,52	-1629,57	-255,28	500,91	-286,12	34,20	
6x8	4696	-596,56	101,96	-599,52	-346,87	-873,38	-784,59	5644	-303,17	-492,43	-247,20	-470,07	418,06	-381,25	
6x9	6821	-311,69	725,56	-538,16	20,18	261,19	1776,77	6525	-60,72	-664,53	269,79	-766,84	-733,78	-2,02	
7x8	6894	547,93	-516,26	-1174,46	-719,13	206,72	324,86	7666	940,03	738,09	626,05	371,89	214,58	141,85	
7x9	8524	15,89	250,95	200,34	-352,08	411,64	207,34	8399	-571,62	1149,79	387,73	530,68	-205,52	184,10	
8x9	7792	750,98	-249,78	1225,30	782,91	757,69	1460,96	7694	418,05	152,54	-352,54	798,81	43,98	526,26	
DP ($\hat{\sigma}_{ij}$)		628,92	665,22	644,05	450,36	415,24	724,23		618,11	544,16	631,49	585,00	400,95		
DP ($\hat{\sigma}_{ij} - \hat{\sigma}_{ik}$)		950,83	1005,71	973,71	680,88	627,78	1094,93		934,49	822,70	954,72	884,43	606,18		
DP ($\hat{\sigma}_{ij} - \hat{\sigma}_{jk}$)		867,99	918,09	888,87	621,55	573,08	999,53		853,07	751,02	871,53	807,37	553,36		

Evidentemente não se fará melhoramento com uma linhagem sozinha, mas, a partir de duas linhagens selecionadas com \hat{g}_i alto, poderão ser formadas populações sintéticas de base estreita, as quais terão maior frequência de alelos favoráveis, podendo ser usadas para extração de linhagens “recicladas” e para a produção de novos ciclos de recombinações, para continuidade do processo seletivo no programa de melhoramento.

Apesar da susceptibilidade a estresses ser melhor evidenciada em linhagens do que em híbridos, e do aumento da diversidade genética que surge da avaliação *per se* de uma quantidade maior de novas linhas, quando selecionadas apenas pelo seu desempenho individual (Troyer e Wellin, 2009), é interessante e prático, para os programas de pesquisa que desenvolvem híbridos, avaliar as linhagens em cruzamentos. Além de novas combinações híbridas superiores que podem surgir, o cruzamento entre linhagens elite é fonte de novas linhagens no melhoramento de milho, por meio de contínua reciclagem (Souza Jr et al., 2010; Mikel, 2011).

Os resultados deste trabalho mostram a importância do dialelo e de se considerar a seleção com base nos efeitos \hat{g}_i , que expressam o real efeito genético e o melhor critério de seleção de progenitores (Cruz e Vencovsky, 1989). Para o melhoramento, esses efeitos genéticos são mais importantes que as médias fenotípicas e seus resultados vão além da simples detecção das melhores combinações híbridas (Resende e Duarte, 2007). As médias fenotípicas expressam o fenótipo observado e são inflacionadas ou distorcidas pelo efeito ambiental embutido nelas. Nossos ambientes são heterogêneos e, principalmente na região tropical, as médias fenotípicas dificilmente se repetem. Todos os efeitos aleatórios medidos, sejam eles de blocos, parcelas, ou os efeitos ambientais, não se repetirão de um ano agrícola para outro, sendo mais interessante estimar valores genéticos que médias fenotípicas (Resende, 2007).

A partir dos resultados do dialelo, de maneira geral, as linhagens com efeitos \hat{g}_i mais altos, indicadas neste trabalho, mostram que estes genótipos carregam alelos favoráveis à característica e devem ser os genitores escolhidos para entrar na formação de novos sintéticos para eficiência a P, enriquecendo o futuro do programa de melhoramento, bem como podem ser utilizadas para compor novos cruzamentos com outras diferentes linhagens. Uma vez que os genótipos deste estudo foram considerados de efeito fixo, as combinações híbridas com maiores efeitos \hat{s}_{ij} oferecem a oportunidade de se fazer uso desses híbridos para exploração da

heterose manifestada nos cruzamentos, desde que as linhagens participantes tenham características agronômicas desejáveis.

4.8. Avaliação morfológica do sistema radicular, massa seca de raízes e parte aérea e conteúdo de P

Na média dos níveis alto e baixo de P, as linhagens consideradas eficientes apresentaram maior comprimento (C), menor diâmetro (D), maior volume (V) e maior volume de raízes finas (VRF) que as linhagens consideradas ineficientes (Quadro 24-1). De maneira geral, genótipos de milho desenvolvidos em solução nutritiva, em baixo P, tendem a apresentar maior comprimento, menor diâmetro, maior volume e maior volume de raízes finas em relação ao nível alto de P (Quadro 24-2).

O comprimento, volume e volume de raízes finas foram maiores para híbridos F₁'s que para linhagens e o diâmetro foi menor para híbridos que para linhagens (Quadro 24-2), mostrando uma diferença nítida entre híbridos e linhagens.

Ramalho et al. (2012) comentam que há alta instabilidade fenotípica em linhagens homozigóticas, que provoca menor estabilidade dos genótipos homozigóticos.

Os efeitos que se expressam nas combinações híbridas tendem a determinar maior comprimento, maior volume e volume de raízes finas e menor diâmetro, características desejadas no genótipo eficiente a P. Ao contrário, os efeitos que se expressam nas linhagens determinam as características que não são interessantes num genótipo em baixo nível de P. Isso sugere que o efeito *per se* das linhagens foi superado pelo efeito das combinações híbridas. Avaliar uma maior quantidade de novas linhagens é indicado como forma de ampliar a diversidade genética (Troyer e Wellin, 2009).

Os híbridos apresentaram menor relação massa seca de raiz/massa seca de parte aérea (MSR/MSPA) que as linhagens, significando que as combinações híbridas possuem menor produção relativa de sistema radicular (Quadro 24-2).

A tolerância ao estresse abiótico é uma das características importantes que deve orientar uma fenotipagem precisa e em rede, para melhor explorar a diversidade genética do milho (Prasanna, 2012). Contudo, em ensaios de milho, a detecção de susceptibilidade a estresses é mais evidente em linhagens que em híbridos (Troyer e Wellin, 2009).

Os coeficientes de variação (CV) dos experimentos em solução nutritiva se

Quadro 24-1 - Comparação média de nove linhagens parentais de milho, eficientes e não eficientes a P, desenvolvidas em câmara de crescimento, para comprimento, diâmetro, volume e volume de raízes finas, aos 12 dias após a germinação (DAG), em solução nutritiva, com baixo e alto nível de P

		Comprimento	Diâmetro	Volume	Volume raízes finas
		C	D	V	VRF
Baixo P	6 Linhagens eficientes	154,79 a	0,905 b	0,970 a	0,448 a
	3 Linhagens ineficientes	141,07 a	0,946 a	0,952 a	0,444 a
Alto P	6 Linhagens eficientes	134,11 a	0,941 b	0,919 a	0,406 a
	3 Linhagens ineficientes	105,51 a	0,985 a	0,799 a	0,368 a

Quadro 24-2 - Médias de três repetições de 46 genótipos de milho (36 F₁'s, nove linhagens parentais e uma testemunha), desenvolvidos em câmara de crescimento, aos 12 dias após a germinação, para comprimento, diâmetro, volume, volume de raízes finas, massa seca de raiz, de parte aérea e da relação MSR/MSPA, em solução nutritiva, com baixo e alto P

		Comprimento	Diâmetro	Volume	Volume raízes finas	Massa Seca		
						Raiz	PA	Raiz/PA
Baixo P	36 F ₁ 's	358,98 a	0,803 c	1,747 a	0,814 a	0,205 a	0,313 a	0,675 c
	46 genótipos	318,13 b	0,826 b	1,594 b	0,742 b	0,192 b	0,284 b	0,710 b
	09 Linhagens	150,22 c	0,919 a	0,964 c	0,447 c	0,136 c	0,168 c	0,855 a
Alto P	36 F ₁ 's	271,65 a	0,886 b	1,626 a	0,783 a	0,191 a	0,316 a	0,633 c
	46 genótipos	242,88 b	0,899 b	1,479 b	0,707 b	0,181 b	0,286 b	0,688 b
	09 Linhagens	124,58 c	0,955 a	0,879 c	0,393 c	0,140 c	0,162 c	0,912 a

Médias com a mesma letra pertencem ao mesmo grupo de acordo com Scott-Knott a 5% de probabilidade.

mostraram aceitáveis, variando de 6,10 a 21,66 % para as quatro características de morfologia e volume radiculares e três características de massa seca, de raiz, parte aérea e da relação MSR/MSPA (Quadros 25-1 e 25-2). O mais importante foi que o teste F para genótipos apresentou-se acima de 6,12 para todas as características, o que indica um nível de acurácia de alta a muito alta para efeitos de tratamentos (Resende e Duarte, 2007). Isso exalta a variabilidade entre os genótipos estudados, em relação ao erro experimental, indicando que este grupo de genótipos não mostrou comportamento similar para todas as características e pode apresentar sua diversidade genética em solução nutritiva. Nos dois níveis de P estudados, o menor F foi de 4,36, para o efeito de doses de P em volume de raízes finas, indicando que esta característica possui a menor variabilidade em relação ao erro experimental, entre as quatro variáveis estudadas.

A análise de variância (Anava) dos caracteres de morfologia e volume

radiculares e os testes de comparação de médias mostraram que há diversidade fenotípica para comprimento, diâmetro médio de raízes, volume total, volume de raízes finas, massa seca de raízes e de parte aérea e para a relação MSR/MSPA, com significância estatística para genótipos em todas as características analisadas (Quadros 25-1 e 25-2). Esse fato indica que os tratamentos (F_1 's, testemunha e linhagens parentais) apresentaram diferenças entre médias para, pelo menos, um par de genótipos, o que era previsto, principalmente em função das diferenças genéticas entre híbridos F_1 's e linhagens.

A significância para efeitos de níveis de P indica que os dois níveis não apresentaram o mesmo comportamento para C, D, V, VRF e massa seca de raiz (Quadros 25-1 e 25-2). Estas quatro primeiras características são mais adequadas para caracterizar a diversidade genotípica para eficiência a P em solução nutritiva (De Sousa et al., 2012). Contudo, esses mesmos dois níveis de P não mostraram diferenças significativas para massa seca de parte aérea e relação MSR/MSPA (Quadro 25-2), indicando que estudar somente massa seca da parte aérea exige outras ponderações, pois níveis de P bem distintos não foram suficientes para proporcionar diferenças significativas entre as médias de tratamentos.

Com a interação genótipos x níveis de P (GxP) significativa, os tratamentos diferem com os dois níveis de P (Barbin, 2003). A interação de genótipos com níveis de P (GxP) mostrou-se significativa para comprimento, volume de raízes e massa seca de raízes (Quadros 25-1 e 25-2), o que significa que, para estas três características, os genótipos não apresentam o mesmo desempenho quando alterado o nível de P na solução. Mas, para D, VRF, MSPA e para a relação MSR/MSPA, o comportamento relativo dos genótipos não se altera de forma diferenciada, quando se muda o nível de P na solução (Quadros 25-1 e 25-2), o que mantém o ranqueamento dos genótipos.

A média geral de todos os genótipos para as quatro características de morfologia e volume radiculares (C, D, V e VRF) não foi a mesma entre os dois níveis de P (Quadro 26), indicando que os dois níveis do nutriente foram adequados para proporcionar a expressão da variabilidade entre os genótipos.

O mesmo ocorreu para massa seca de raiz, mas não ocorreu para massa seca da parte aérea e para a relação MSR/MSPA, indicando que massa seca de raiz mostra mais diversidade genotípica que massa seca de parte aérea para esses dois níveis do nutriente.

Quadro 25-1 - Anava da morfologia e volume radicular de experimento conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em câmara de crescimento contendo solução nutritiva, até 12 dias após a germinação. Genótipos de milho constituídos de 36 F₁'s, nove linhagens parentais e uma testemunha. Caracteres de comprimento, diâmetro, volume e volume de raízes finas, em dois níveis de P (Programa Sisvar)

		Morfologia e volume radicular											
		Comprimento (cm)			Diâmetro (mm)			Volume (cm ³)			Volume raízes finas (cm ³)		
FV	GL	QM	F	Prob	QM	F	Prob	QM	F	Prob	QM	F	Prob
Genótipos (G)	45	44500,44	12,05	0,00	0,0169	6,12	0,00	0,883946	14,48	0,00	0,259064	13,36	0,00
Níveis de P (P)	1	390785,90	105,84	0,00	0,3746	135,34	0,00	0,902319	14,78	0,00	0,084560	4,36	0,04
G x P	45	5477,12	1,48	0,04	0,0031	1,12	0,30	0,090482	1,48	0,04	0,021991	1,13	0,28
Genótipos / Nível P 1	45	31786,40	8,61	0,00	-	-	-	0,502344	8,23	0,00	-	-	-
Genótipos / Nível P 2	45	18191,16	4,93	0,00	-	-	-	0,472084	7,73	0,00	-	-	-
Erro	184	3692,34			0,0028			0,061045			0,019394		
CV (%)		21,66			6,10			16,08			19,22		
Média		280,50			0,862			1,537			0,725		

Quadro 25-2 - Anava para massa seca de raízes (MSR), parte aérea (MSPA) e para a relação MSR/MSPA de experimento conduzido em solução nutritiva até 12 dias após a germinação. Genótipos constituídos de 36 F₁'s, nove linhagens parentais e uma testemunha, em dois níveis de P (Programa Sisvar)

FV	GL	Massa seca								
		Raiz			Parte aérea			Relação Raiz/Parte aérea		
		QM	F	Prob	QM	F	Prob	QM	F	Prob
Genótipos (G)	45	0,007557	10,09	0,00	0,041067	12,83	0,00	0,128993	7,39	0,00
Níveis de P (P)	1	0,007534	10,06	0,00	0,000210	0,07	0,80	0,034393	1,97	0,16
G x P	45	0,001160	1,55	0,02	0,003451	1,08	0,36	0,014474	0,83	0,77
Genótipos / Nível P 1	45	0,004959	6,62	0,00	-	-	-	-	-	-
Genótipos / Nível P 2	45	0,003758	5,02	0,00	-	-	-	-	-	-
Erro	184	0,000749			0,003202			0,017446		
CV (%)		14,69			19,84			18,90		
Média		0,186			0,285			0,699		

Quadro 25-3 - Anava para conteúdo de P na raiz e na parte aérea da planta, de experimento conduzido em solução nutritiva até 12 dias após a germinação. Genótipos constituídos de 36 F₁'s, nove linhagens parentais e uma testemunha, em dois níveis de P (Programa Sisvar)

FV	GL	Conteúdo de P na raiz			Conteúdo de P na parte aérea		
		QM	F	Prob	QM	F	Prob
Genótipos (G)	45	0,841007	5,77	0,00	0,327517	2,29	0,00
Níveis de P (P)	1	0,065981	0,45	0,50	12,776984	89,46	0,00
G x P	45	0,206680	1,42	0,06	0,241202	1,69	0,01
Genótipos / Nível P 1	45	-	-	-	0,349974	2,45	0,00
Genótipos / Nível P 2	45	-	-	-	0,218745	1,53	0,03
Erro	184	0,145818			0,142826		
CV (%)		47,61			38,94		
Média		0,802			0,971		

Quadro 26 - Médias de 46 genótipos de milho (36 F₁'s , nove linhagens e uma testemunha) desenvolvidos em solução nutritiva, em câmara de crescimento, para comprimento, diâmetro, volume, volume de raízes finas, massa seca de raiz, massa seca de parte aérea, da relação MSR/MSPA, e do conteúdo de P na raiz e na parte aérea, aos 12 dias após a germinação, nos níveis baixo e alto de P

Características radiculares	Baixo P	Alto P	F
	2,5 µM	250 µM	
Comprimento (cm)	318,13	242,88	**
Diâmetro médio (mm)	0,8256	0,8993	**
Volume (cm ³)	1,5938	1,4794	**
Volume de Raízes finas 1,0 < d ≤ 2,0 (cm ³)	0,7421	0,7071	*
Massa Seca da raiz	0,1915	0,1811	**
Massa Seca da parte aérea	0,2844	0,2861	ns
Massa Seca da raiz/Massa Seca da parte aérea	0,7099	0,6876	ns
Conteúdo de P na raiz	0,8176	0,7866	ns
Conteúdo de P na parte aérea	0,7554	1,1858	**

Observa-se que, em baixo P, ocorreu maior comprimento, menor diâmetro, maior volume, maior volume de raízes finas e maior massa seca de raiz, com todos os valores significativamente diferentes do nível de alto P, pelo teste F, que é conclusivo nesta situação. Isso retrata o que a literatura indica para a situação de baixo P, ou seja, uma plasticidade fenotípica para caracteres do sistema radicular, o qual tenta explorar área maior de solo por meio de modificações na morfologia e volume radiculares (Alves et al., 2000; Fernandes e Muraoka, 2002; Brasil, 2003; Brasil et al., 2007; Sousa et al., 2010a; Parentoni et al., 2011).

Algumas possíveis explicações para a plasticidade fenotípica podem ser de que ela ocorra em função da pouca mobilidade do P no solo, o que promove um

comprimento radicular maior em baixo P, na tentativa da planta de alcançar P em locais mais distantes e profundos. O volume maior é explicado pela produção de mais raízes secundárias, na tentativa da planta de alcançar P em volume maior de solo, e em áreas onde a raiz ainda não havia chegado. O volume maior de raízes finas se explica porque as raízes finas tendem a penetrar melhor no solo, e exploram o solo mais facilmente que as raízes mais grossas. O diâmetro menor em baixo P ocorre porque esse diâmetro é adequado para maior penetração e busca de água e P no solo. Tanto comprimento quanto volume visam a aumentar a área de exploração, seja lateralmente ou em profundidade.

A relação massa seca de raiz/massa seca de parte aérea (MSR/MSPA) aumentou em baixo P, mas sem significância estatística (Quadro 26). Um genótipo que produz mais raiz indica que seu sistema radicular cresceu em busca de P (eficiente), mas esta relação é discutível na literatura e o que se espera é um aumento dessa relação em baixo P (Brasil et al., 2007; Mendes, 2012), pois há tendência de o sistema radicular crescer e usar o P com prioridade, quando ele é absorvido. Assim, espera-se que o sistema radicular seja maior em estresse de P, aumentando esta relação. Por outro lado, o genótipo que produzir a mesma quantidade ou mais de massa seca da parte aérea com menor quantidade de raízes seria interessante, embora uma menor densidade de raízes possa afetar a absorção de P.

Os testes de comparação de médias foram realizados tanto usando médias de dois níveis de P (Quadro 27), como também usando as médias de cada nível de P em separado (Quadro 28), quando houve interação significativa de genótipos (G) com níveis de P (GxP). No teste de comparação de médias, observou-se que as linhagens consideradas eficientes apresentaram comportamento concordante com o esperado. Em baixo P as linhagens eficientes tiveram maior comprimento, menor diâmetro, maior volume e maior volume de raízes finas, que as consideradas ineficientes.

Algumas exceções ocorreram, no entanto, como pode ser visto no pequeno diâmetro e baixa relação MSR/MSPA apresentado pela linhagem 8 (L53) (ineficiente), pequeno comprimento apresentado pela linhagem 1 (L3) (eficiente), pequeno volume apresentado pela 2 (L228-3) (eficiente), pequeno volume de raízes finas apresentado pela 5 (L51502020) (eficiente) (Quadro 27). Isso indica que nem todos os mecanismos agem simultaneamente, em favor da eficiência ou da

ineficiência, em somatório; ocorre uma dependência do genótipo e também da interação como o meio no qual foi cultivado. Uma linhagem eficiente pode apresentar algumas características típicas de linhagem ineficiente, em baixo P, e algumas linhagens ineficientes podem apresentar algumas características típicas de linhagem eficiente, em baixo P.

O conteúdo médio de P na raiz não mostrou diferença significativa entre os dois níveis de P. Já o conteúdo de P na parte aérea foi estatisticamente menor em baixo P que em alto P (Quadro 26), indicando que o uso de P pela raiz tem preferência em relação ao uso pela parte aérea, conforme comenta Mendes (2012), e os dois níveis de P avaliados tiveram maior impacto sobre o conteúdo de P na parte aérea do que na raiz (Quadro 25-3). Os genótipos diferiram quanto ao conteúdo de P tanto na raiz como na parte aérea da planta (Quadro 29).

A eficiência à utilização do P tanto pode propiciar alto rendimento como estabilidade produtiva (Parentoni et al., 2004). Na condição de baixo P, em solução nutritiva, constatou-se maior desenvolvimento no comprimento e no volume do sistema radicular (Quadro 26)

As médias de produtividade dos 36 F₁'s a campo indicaram que a ausência de P propiciou perdas relativas menores no rendimento, em relação à presença de P na semeadura, tanto comparando diretamente os anos de 2011 e 2012, como também pela observação comparativa da relação sem P/com P na semeadura, entre os dois anos de avaliação (Quadro 19). A observação destas produtividades, juntamente com os resultados de desenvolvimento radicular em solução nutritiva, pressupõe uma tendência de estimulação do desenvolvimento do sistema radicular dos F₁'s, na ausência de P na semeadura. Esta é uma situação de interesse na ocorrência de estiagem, indicada na Figura 1 no agrícola de 2012. Assim, um desenvolvimento radicular mais pronunciado pode ter propiciado menores perdas no rendimento, na ausência de P na semeadura, em relação à presença do nutriente.

A explicação para um sistema radicular mais desenvolvido é que, em condição de alto uso de fertilizantes, a planta não tem estímulo para desenvolver raízes em profundidade, as quais se concentram na parte superficial do solo, o que pode ter influenciado os resultados deste trabalho. Esta alegação não implica em dizer que não se deva recomendar a adubação com P, mas sim que a adição de muito fertilizante não é a solução única para a manutenção sustentável da produtividade, considerando, inclusive, a baixa mobilidade do P no solo.

Quadro 27 - Médias de 46 genótipos de milho (36 F₁'s, nove linhagens parentais e uma testemunha), desenvolvidos em solução nutritiva, em câmara de crescimento, para comprimento, diâmetro, volume, volume de raízes finas, massa seca de raízes e de parte aérea e da relação MSR/MSPA, aos 12 dias após a germinação, em dois níveis de P

Morfologia radicular																				
Comprimento			Diâmetro			Volume			Volume Raízes Finas			Raiz			Massa Seca					
Genótipos Médias			Genótipos Médias			Genótipos Médias			Genótipos Médias			Parte aérea			Raiz/Parte aérea					
Genótipos Médias			Genótipos Médias			Genótipos Médias			Genótipos Médias			Genótipos Médias			Genótipos Médias					
L 7	117,08	a1	L 2 x L 8	0,793	a1	L 8	0,735	a1	L 8	0,276	a1	L 8	0,105	a1	L 3	0,133	a1	L 5 x L 9	0,489	a1
L 8	121,78	a1	L 1 x L 5	0,799	a1	L 2	0,854	a1	L 5	0,358	a1	L 6	0,125	a1	L 2	0,136	a1	L 3 x L 7	0,498	a1
L 1	128,71	a1	L 6 x L 7	0,809	a1	L 5	0,906	a1	L 6	0,359	a1	L 2	0,133	a1	L 8	0,138	a1	L 1 x L 7	0,507	a1
L 9	131,03	a1	L 4 x L 9	0,812	a1	L 1	0,913	a1	L 2	0,394	a1	L 1	0,134	a1	L 1	0,156	a1	L 6 x L 7	0,508	a1
L 2	135,55	a1	L 2 x L 5	0,814	a1	L 6	0,935	a1	L 7	0,468	a2	L 3 x L 7	0,138	a1	L 7	0,160	a1	L 8 x L 9	0,525	a1
L 5	145,41	a1	L 5 x L 9	0,818	a1	L 9	0,936	a1	L 9	0,474	a2	L 7	0,139	a1	L 6	0,165	a1	L 6 x L 8	0,541	a1
L 4	147,12	a1	L 5 x L 6	0,818	a1	L 7	0,956	a1	L 3	0,479	a2	L 3	0,140	a1	L 4	0,177	a1	L 5 x L 6	0,553	a1
L 6	148,26	a1	L 6 x L 9	0,818	a1	L 3	1,015	a1	L 4	0,482	a2	L 5	0,145	a1	L 9	0,203	a2	L 7 x L 8	0,557	a1
L 3	161,67	a1	L 1 x L 6	0,819	a1	L 4	1,044	a1	L 1	0,491	a2	L 6 x L 8	0,149	a1	L 4 x L 6	0,210	a2	L 4 x L 9	0,558	a1
L 4 x L 6	179,70	a1	L 1 x L 4	0,820	a1	L 4 x L 6	1,120	a1	L 4 x L 6	0,493	a2	L 5 x L 6	0,153	a1	L 5	0,213	a2	L 6 x L 9	0,574	a1
L 2 x L 9	222,77	a2	L 6 x L 8	0,820	a1	L 2 x L 7	1,313	a2	L 5 x L 6	0,574	a3	L 4	0,161	a2	L 1 x L 3	0,225	a3	L 4 x L 7	0,578	a1
L 2 x L 7	225,28	a2	L 4 x L 5	0,821	a1	L 5 x L 6	1,356	a2	L 2 x L 8	0,580	a3	L 9	0,163	a2	L 2 x L 9	0,229	a3	L 5 x L 7	0,599	a1
L 3 x L 5	234,19	a2	L 4 x L 8	0,825	a1	L 2 x L 9	1,367	a2	L 6 x L 8	0,582	a3	L 2 x L 8	0,166	a2	L 2 x L 6	0,237	a3	L 2 x L 8	0,612	a2
L 3 x L 7	262,52	a3	BRS 1010	0,828	a1	L 3 x L 7	1,383	a2	L 6 x L 9	0,652	a3	L 2 x L 7	0,168	a2	L 3 x L 5	0,238	a3	L 7 x L 9	0,616	a2
L 2 x L 6	272,34	a3	L 2 x L 3	0,830	a1	L 2 x L 8	1,434	a3	L 2 x L 9	0,661	a3	L 4 x L 6	0,170	a2	L 2 x L 7	0,245	a3	L 1 x L 9	0,617	a2
L 5 x L 6	274,77	a3	L 1 x L 7	0,830	a1	L 6 x L 8	1,446	a3	L 2 x L 7	0,669	a3	L 2 x L 5	0,175	a2	L 2 x L 3	0,246	a3	L 1 x L 5	0,625	a2
L 2 x L 4	277,39	a3	L 7 x L 8	0,831	a1	L 2 x L 4	1,458	a3	L 3 x L 8	0,671	a3	L 6 x L 9	0,175	a2	L 3 x L 8	0,248	a3	L 1 x L 6	0,632	a2
L 3 x L 8	278,95	a3	L 3 x L 6	0,832	a1	L 2 x L 5	1,489	a3	L 2 x L 4	0,676	a3	L 3 x L 8	0,177	a2	L 2 x L 4	0,267	a3	L 1 x L 8	0,635	a2
L 5 x L 8	282,19	a3	L 2 x L 4	0,834	a1	L 3 x L 5	1,491	a3	L 2 x L 6	0,681	a3	L 2 x L 9	0,177	a2	L 2 x L 5	0,273	a3	L 1 x L 4	0,638	a2
L 6 x L 8	288,24	a3	L 1 x L 2	0,837	a1	L 2 x L 6	1,492	a3	L 2 x L 5	0,681	a3	L 3 x L 5	0,177	a2	L 6 x L 8	0,277	a3	L 3 x L 6	0,644	a2
L 1 x L 3	292,33	a3	L 8 x L 9	0,839	a1	L 2 x L 3	1,504	a3	L 5 x L 8	0,682	a3	L 2 x L 3	0,178	a2	L 5 x L 8	0,278	a3	L 4 x L 8	0,652	a2
L 2 x L 5	297,54	a3	L 3 x L 8	0,839	a1	L 3 x L 8	1,507	a3	L 3 x L 7	0,692	a3	L 2 x L 6	0,186	a3	L 5 x L 6	0,281	a3	L 4 x L 5	0,656	a2
L 2 x L 8	299,31	a3	L 3 x L 7	0,840	a1	L 5 x L 8	1,550	a3	L 4 x L 9	0,694	a3	L 2 x L 4	0,188	a3	L 3 x L 9	0,281	a3	L 2 x L 5	0,660	a2
L 2 x L 3	299,88	a3	L 5 x L 7	0,840	a1	L 6 x L 9	1,555	a3	L 4 x L 8	0,711	a3	L 3 x L 6	0,190	a3	L 3 x L 7	0,283	a3	L 5	0,687	a2
L 3 x L 9	302,47	a3	L 1 x L 8	0,841	a1	L 4 x L 8	1,631	a3	L 3 x L 5	0,759	a4	L 5 x L 8	0,192	a3	L 2 x L 8	0,284	a3	L 5 x L 8	0,696	a2
L 7 x L 9	305,49	a3	L 4 x L 7	0,849	a1	L 4 x L 9	1,649	a3	L 2 x L 3	0,760	a4	L 6 x L 7	0,193	a3	L 3 x L 4	0,285	a3	L 2 x L 7	0,697	a2
L 6 x L 9	311,97	a3	L 2 x L 6	0,852	a1	L 7 x L 8	1,698	a3	L 5 x L 9	0,785	a4	L 7 x L 8	0,194	a3	BRS 1010	0,293	a3	L 2 x L 4	0,712	a2
L 3 x L 4	313,73	a3	L 3 x L 4	0,855	a1	L 1 x L 3	1,715	a3	L 7 x L 8	0,794	a4	L 3 x L 9	0,196	a3	L 3 x L 6	0,295	a3	L 3 x L 9	0,713	a2
L 4 x L 8	314,48	a3	L 5 x L 8	0,862	a1	L 3 x L 9	1,718	a3	L 4 x L 5	0,811	a4	L 3 x L 4	0,202	a3	L 6 x L 9	0,304	a4	L 3 x L 4	0,721	a2
L 4 x L 7	327,16	a3	L 3 x L 9	0,868	a1	BRS 1010	1,753	a4	L 3 x L 9	0,819	a4	L 4 x L 8	0,205	a3	L 4 x L 8	0,328	a4	L 3 x L 8	0,725	a2
L 7 x L 8	327,44	a3	L 1 x L 3	0,885	a2	L 1 x L 4	1,761	a4	L 4 x L 7	0,841	a4	L 8 x L 9	0,206	a3	L 1 x L 8	0,334	a4	L 1 x L 2	0,746	a3
L 1 x L 9	332,02	a3	L 8	0,889	a2	L 4 x L 5	1,773	a4	L 1 x L 4	0,854	a4	L 4 x L 9	0,210	a3	L 1 x L 4	0,353	a4	L 2 x L 3	0,757	a3
L 4 x L 9	332,95	a3	L 2 x L 7	0,892	a2	L 3 x L 6	1,797	a4	L 8 x L 9	0,878	a4	L 1 x L 7	0,210	a3	L 7 x L 8	0,354	a4	L 6	0,759	a3
BRS 1010	339,18	a4	L 5	0,896	a2	L 5 x L 9	1,800	a4	L 3 x L 6	0,879	a4	L 5 x L 9	0,211	a3	L 1 x L 2	0,367	a4	L 3 x L 5	0,767	a3
L 1 x L 4	340,89	a4	L 2	0,896	a2	L 3 x L 4	1,805	a4	L 3 x L 4	0,881	a4	L 1 x L 8	0,212	a3	L 1 x L 9	0,367	a4	BRS 1010	0,767	a3
L 3 x L 6	341,46	a4	L 1 x L 9	0,898	a2	L 4 x L 7	1,809	a4	BRS 1010	0,885	a4	BRS 1010	0,214	a3	L 4 x L 5	0,367	a4	L 2 x L 9	0,777	a3
L 4 x L 5	350,01	a4	L 3	0,905	a2	L 1 x L 8	1,887	a4	L 1 x L 3	0,886	a4	L 5 x L 7	0,221	a4	L 1 x L 6	0,368	a4	L 8	0,787	a3
L 1 x L 8	360,55	a4	L 2 x L 9	0,912	a2	L 5 x L 7	1,907	a4	L 6 x L 7	0,921	a4	L 4 x L 7	0,223	a4	L 1 x L 5	0,372	a4	L 2 x L 6	0,792	a3
L 5 x L 7	362,59	a4	L 3 x L 5	0,914	a2	L 8 x L 9	1,941	a5	L 5 x L 7	0,933	a5	L 7 x L 9	0,223	a4	L 7 x L 9	0,372	a4	L 9	0,804	a3
L 8 x L 9	363,47	a4	L 4 x L 6	0,914	a2	L 6 x L 7	1,949	a5	L 1 x L 5	0,943	a5	L 1 x L 3	0,224	a4	L 4 x L 9	0,374	a4	L 4 x L 6	0,812	a3
L 5 x L 9	366,57	a4	L 6	0,918	a2	L 7 x L 9	1,953	a5	L 1 x L 8	0,966	a5	L 1 x L 4	0,225	a4	L 5 x L 7	0,377	a4	L 1	0,886	a3
L 1 x L 2	378,09	a4	L 7 x L 9	0,937	a2	L 1 x L 5	1,965	a5	L 7 x L 9	0,972	a5	L 1 x L 9	0,226	a4	L 6 x L 7	0,388	a4	L 4	0,939	a4
L 6 x L 7	385,38	a4	L 4	0,956	a3	L 1 x L 2	2,044	a5	L 1 x L 7	1,024	a5	L 1 x L 5	0,231	a4	L 4 x L 7	0,389	a4	L 7	1,012	a4
L 1 x L 7	392,12	a4	L 1	0,966	a3	L 1 x L 7	2,051	a5	L 1 x L 2	1,076	a5	L 1 x L 6	0,232	a4	L 8 x L 9	0,391	a4	L 2	1,021	a4
L 1 x L 5	396,02	a4	L 9	0,966	a3	L 1 x L 9	2,071	a5	L 1 x L 6	1,077	a5	L 4 x L 5	0,239	a4	L 1 x L 7	0,418	a4	L 1 x L 3	1,041	a4
L 1 x L 6	435,16	a4	L 7	1,042	a4	L 1 x L 6	2,252	a5	L 1 x L 9	1,113	a5	L 1 x L 2	0,272	a5	L 5 x L 9	0,446	a4	L 3	1,055	a4

Médias com a mesma letra pertencem ao mesmo grupo de acordo com Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Uma medida simples, como a colocação do fertilizante fosfatado em maior profundidade na linha de plantio, seria uma boa prática para estimular um maior desenvolvimento radicular e diminuir perdas com as frequentes estiagens.

Quadro 28 - Médias de 46 genótipos (36 F₁'s, nove linhagens parentais e uma testemunha), desenvolvidos em câmara de crescimento, para comprimento, volume e massa seca de raízes, aos 12 dias após a germinação, em baixo e alto P

Comprimento				Volume				Massa Seca da Raiz			
Baixo P		Alto P		Baixo P		Alto P		Baixo P		Alto P	
Genótipos	Médias	Genótipos	Médias	Genótipos	Médias	Genótipos	Médias	Genótipos	Médias	Genótipos	Médias
L 7	121,52 a1	L 1	96,78 a1	L 8	0,812 a1	L 8	0,657 a1	L 8	0,105 a1	L 8	0,105 a1
L 6	140,78 a1	L 9	101,51 a1	L 6	0,898 a1	L 2	0,690 a1	L 6	0,108 a1	L 2	0,124 a1
L 8	141,16 a1	L 8	102,39 a1	L 5	0,916 a1	L 9	0,833 a1	L 3	0,134 a1	L 1	0,133 a1
L 4	153,05 a1	L 7	112,63 a1	L 3	0,976 a1	L 1	0,846 a1	L 1	0,135 a1	L 7	0,134 a1
L 5	157,06 a1	L 2	113,43 a1	L 1	0,980 a1	L 5	0,897 a1	L 5	0,138 a1	L 3 x L 7	0,134 a1
L 2	157,68 a1	L 5	133,75 a1	L 7	1,005 a1	L 7	0,908 a1	L 3 x L 7	0,141 a1	L 6	0,142 a1
L 3	159,54 a1	L 4	141,19 a1	L 2	1,018 a1	L 6	0,971 a1	L 2	0,141 a1	L 3	0,146 a1
L 9	160,54 a1	L 4 x L 6	149,33 a1	L 4	1,032 a1	L 3	1,054 a1	L 7	0,144 a1	L 6 x L 8	0,149 a1
L 1	160,65 a1	L 6	155,73 a1	L 9	1,039 a1	L 4 x L 6	1,055 a1	L 6 x L 8	0,149 a1	L 5 x L 6	0,151 a1
L 4 x L 6	210,08 a2	L 3	163,80 a1	L 2 x L 7	1,161 a1	L 4	1,056 a1	L 5 x L 6	0,154 a1	L 5	0,152 a1
L 2 x L 7	212,05 a2	L 2 x L 9	190,24 a1	L 4 x L 6	1,185 a1	L 2 x L 6	1,285 a2	L 2 x L 7	0,158 a2	L 6 x L 9	0,155 a1
L 3 x L 5	241,63 a2	L 7 x L 9	221,54 a2	L 3 x L 7	1,305 a2	L 5 x L 6	1,303 a2	L 4	0,159 a2	L 2 x L 6	0,161 a1
L 2 x L 9	255,30 a2	L 5 x L 6	222,50 a2	L 2 x L 8	1,357 a2	L 6 x L 9	1,309 a2	L 9	0,163 a2	L 2 x L 8	0,162 a1
L 3 x L 7	274,62 a2	L 5 x L 8	223,83 a2	L 2 x L 9	1,392 a2	L 2 x L 5	1,331 a2	L 2 x L 8	0,170 a2	L 9	0,163 a1
L 2 x L 4	297,96 a3	L 1 x L 3	226,19 a2	L 5 x L 6	1,409 a2	L 2 x L 3	1,340 a2	L 1 x L 7	0,176 a2	L 4	0,163 a1
L 2 x L 8	300,79 a3	L 3 x L 5	226,75 a2	L 3 x L 5	1,428 a2	L 2 x L 9	1,341 a2	L 4 x L 6	0,176 a2	L 4 x L 6	0,164 a1
L 3 x L 8	301,38 a3	L 2 x L 3	228,66 a2	L 2 x L 4	1,488 a2	L 4 x L 9	1,360 a2	L 5 x L 8	0,178 a2	L 3 x L 8	0,166 a1
L 2 x L 6	315,21 a3	L 6 x L 9	229,06 a2	L 6 x L 8	1,492 a2	L 6 x L 8	1,400 a2	L 2 x L 9	0,179 a2	L 3 x L 5	0,167 a1
L 3 x L 4	315,50 a3	L 2 x L 6	229,47 a2	L 3 x L 8	1,493 a2	L 2 x L 4	1,429 a3	L 2 x L 5	0,179 a2	L 2 x L 3	0,168 a1
L 5 x L 6	327,04 a3	L 6 x L 8	232,83 a2	L 5 x L 8	1,570 a3	L 3 x L 7	1,462 a3	L 2 x L 4	0,182 a2	L 3 x L 6	0,169 a1
L 5 x L 8	340,54 a3	L 2 x L 5	233,54 a2	L 2 x L 5	1,647 a3	L 2 x L 7	1,464 a3	L 3 x L 5	0,187 a2	L 2 x L 5	0,170 a1
L 6 x L 8	343,64 a3	L 4 x L 9	237,54 a2	L 2 x L 3	1,667 a3	L 2 x L 8	1,510 a3	L 3 x L 8	0,187 a2	L 7 x L 8	0,171 a1
BRS 1010	347,33 a3	L 2 x L 7	238,51 a2	L 4 x L 8	1,669 a3	L 3 x L 8	1,520 a3	L 2 x L 3	0,188 a2	L 2 x L 9	0,175 a1
L 4 x L 8	356,56 a3	L 3 x L 9	247,61 a2	L 1 x L 4	1,694 a3	L 5 x L 8	1,529 a3	L 6 x L 7	0,192 a3	L 3 x L 9	0,175 a1
L 3 x L 9	357,33 a3	L 3 x L 7	250,42 a2	L 2 x L 6	1,699 a3	L 3 x L 9	1,532 a3	L 6 x L 9	0,195 a3	L 2 x L 7	0,179 a1
L 1 x L 3	358,46 a3	L 3 x L 8	256,52 a2	BRS 1010	1,717 a3	L 5 x L 9	1,534 a3	L 1 x L 8	0,204 a3	L 4 x L 9	0,180 a1
L 2 x L 5	361,53 a3	L 2 x L 4	256,83 a2	L 1 x L 7	1,737 a3	L 1 x L 3	1,535 a3	BRS 1010	0,206 a3	L 8 x L 9	0,188 a2
L 2 x L 3	371,11 a3	L 5 x L 9	259,49 a2	L 3 x L 4	1,737 a3	L 3 x L 5	1,554 a3	L 1 x L 4	0,209 a3	L 5 x L 9	0,189 a2
L 4 x L 7	375,81 a3	L 7 x L 8	265,95 a2	L 6 x L 9	1,802 a3	L 4 x L 5	1,561 a3	L 3 x L 4	0,210 a3	L 4 x L 7	0,193 a2
L 1 x L 4	377,90 a3	L 4 x L 8	272,41 a2	L 7 x L 8	1,807 a3	L 7 x L 8	1,588 a3	L 3 x L 6	0,210 a3	L 6 x L 7	0,193 a2
L 1 x L 2	378,36 a3	L 4 x L 5	275,62 a2	L 1 x L 8	1,842 a3	L 4 x L 8	1,594 a3	L 2 x L 6	0,212 a3	L 3 x L 4	0,194 a2
L 1 x L 7	381,25 a3	L 4 x L 7	278,50 a2	L 3 x L 6	1,855 a3	L 8 x L 9	1,673 a3	L 4 x L 8	0,213 a3	L 2 x L 4	0,194 a2
L 1 x L 9	382,09 a3	L 8 x L 9	278,84 a2	L 6 x L 7	1,884 a3	L 4 x L 7	1,688 a3	L 7 x L 8	0,216 a3	L 7 x L 9	0,195 a2
L 3 x L 6	383,61 a3	L 1 x L 9	281,95 a2	L 1 x L 3	1,895 a3	L 7 x L 9	1,722 a3	L 3 x L 9	0,217 a3	L 4 x L 8	0,198 a2
L 7 x L 8	388,93 a3	L 2 x L 8	297,83 a3	L 3 x L 9	1,903 a3	L 3 x L 6	1,739 a3	L 8 x L 9	0,225 a3	L 5 x L 8	0,206 a2
L 7 x L 9	389,45 a3	L 3 x L 6	299,31 a3	L 4 x L 7	1,929 a4	BRS 1010	1,788 a4	L 1 x L 3	0,230 a4	L 5 x L 7	0,210 a2
L 6 x L 9	394,87 a4	L 1 x L 4	303,88 a3	L 4 x L 9	1,938 a4	L 1 x L 4	1,828 a4	L 5 x L 7	0,232 a4	L 4 x L 5	0,211 a2
L 6 x L 7	403,02 a4	L 1 x L 8	305,17 a3	L 5 x L 7	1,957 a4	L 5 x L 7	1,857 a4	L 1 x L 5	0,233 a4	L 1 x L 9	0,218 a3
L 1 x L 8	415,92 a4	L 5 x L 7	308,80 a3	L 1 x L 2	1,978 a4	L 3 x L 4	1,872 a4	L 1 x L 9	0,234 a4	L 1 x L 3	0,218 a3
L 5 x L 7	416,39 a4	L 3 x L 4	311,95 a3	L 4 x L 5	1,984 a4	L 1 x L 5	1,906 a4	L 5 x L 9	0,234 a4	L 1 x L 8	0,220 a3
L 4 x L 5	424,40 a4	BRS 1010	331,04 a3	L 1 x L 5	2,025 a4	L 1 x L 8	1,931 a4	L 1 x L 6	0,237 a4	BRS 1010	0,223 a3
L 4 x L 9	428,35 a4	L 1 x L 5	349,14 a3	L 5 x L 9	2,065 a4	L 1 x L 9	1,949 a4	L 4 x L 9	0,240 a4	L 1 x L 6	0,226 a3
L 1 x L 5	442,90 a4	L 6 x L 7	367,74 a3	L 7 x L 9	2,184 a4	L 6 x L 7	2,014 a4	L 7 x L 9	0,251 a4	L 1 x L 5	0,229 a3
L 8 x L 9	448,10 a4	L 1 x L 2	377,82 a3	L 1 x L 9	2,194 a4	L 1 x L 2	2,110 a4	L 4 x L 7	0,253 a4	L 1 x L 4	0,240 a3
L 5 x L 9	473,65 a4	L 1 x L 6	381,28 a3	L 8 x L 9	2,209 a4	L 1 x L 6	2,164 a4	L 1 x L 2	0,260 a4	L 1 x L 7	0,244 a3
L 1 x L 6	489,05 a4	L 1 x L 7	402,99 a3	L 1 x L 6	2,339 a4	L 1 x L 7	2,364 a4	L 4 x L 5	0,268 a4	L 1 x L 2	0,283 a3

Médias com a mesma letra pertencem ao mesmo grupo de acordo com Scott-Knott a 5% de probabilidade

Quadro 29 - Conteúdo médio de P na raiz e na parte aérea, e o desdobramento em baixo e alto P para o conteúdo de P na parte aérea, de 46 genótipos (36 F₁'s, nove linhagens parentais e uma testemunha), desenvolvidos em solução nutritiva, em câmara de crescimento, aos 12 dias após a germinação

Conteúdo de P na Raiz		Conteúdo de P na Parte aérea		Conteúdo de P na Parte aérea			
Genótipos Médias		Genótipos Médias		Baixo P		Alto P	
Genótipos Médias		Genótipos Médias		Genótipos Médias		Genótipos Médias	
L 4 x L 5	0,382 a1	L 4 x L 7	0,604 a1	L 4 x L 7	0,332 a1	L 4	0,589 a1
L 4 x L 7	0,383 a1	L 6 x L 7	0,620 a1	L 6 x L 7	0,334 a1	L 6	0,700 a1
L 4 x L 9	0,395 a1	L 4 x L 5	0,620 a1	L 4 x L 8	0,350 a1	L 8	0,747 a1
L 4 x L 8	0,418 a1	L 4	0,690 a1	L 4 x L 5	0,358 a1	L 4 x L 6	0,756 a1
L 5 x L 7	0,435 a1	L 6 x L 8	0,723 a1	L 4 x L 9	0,359 a1	L 4 x L 7	0,876 a1
L 6 x L 7	0,437 a1	L 4 x L 8	0,754 a1	L 3 x L 7	0,405 a1	L 4 x L 5	0,882 a1
L 5 x L 9	0,439 a1	L 5 x L 8	0,754 a1	L 5 x L 8	0,407 a1	L 5	0,901 a1
L 5 x L 8	0,462 a1	L 3 x L 7	0,793 a1	L 2 x L 5	0,416 a1	L 6 x L 7	0,905 a1
L 3 x L 4	0,465 a1	L 5 x L 9	0,805 a1	L 1 x L 5	0,428 a1	L 1 x L 4	0,920 a1
L 3 x L 9	0,480 a1	L 5 x L 7	0,814 a1	L 6 x L 8	0,429 a1	L 9	0,977 a1
L 8 x L 9	0,498 a1	L 1 x L 5	0,826 a1	L 5 x L 9	0,432 a1	L 6 x L 8	1,016 a1
L 6 x L 9	0,504 a1	L 3 x L 6	0,868 a1	L 3 x L 6	0,487 a1	L 7	1,063 a1
L 1 x L 5	0,512 a1	L 7 x L 9	0,868 a1	L 5 x L 7	0,532 a1	L 5 x L 6	1,088 a1
L 7 x L 9	0,544 a1	L 6 x L 9	0,872 a1	L 8 x L 9	0,536 a1	L 5 x L 7	1,097 a1
L 2 x L 5	0,550 a1	L 4 x L 9	0,874 a1	L 2 x L 8	0,550 a1	L 5 x L 8	1,101 a1
L 6 x L 8	0,575 a1	L 8 x L 9	0,879 a1	L 7 x L 9	0,566 a1	L 4 x L 8	1,158 a1
L 1 x L 9	0,585 a1	L 3 x L 4	0,882 a1	L 6 x L 9	0,584 a1	L 6 x L 9	1,160 a1
L 3 x L 7	0,589 a1	L 4 x L 6	0,899 a1	L 3 x L 4	0,587 a1	L 2 x L 7	1,161 a1
L 3 x L 5	0,636 a1	L 1 x L 9	0,923 a1	L 1 x L 9	0,592 a1	L 7 x L 9	1,169 a1
L 2 x L 8	0,702 a1	L 2 x L 8	0,924 a1	L 3 x L 8	0,596 a1	L 3 x L 4	1,177 a1
L 4 x L 6	0,708 a1	L 1 x L 4	0,929 a1	BRS 1010	0,704 a1	L 5 x L 9	1,178 a1
L 4	0,737 a1	L 6	0,930 a1	L 2 x L 4	0,722 a1	L 1 x L 2	1,178 a1
L 1 x L 6	0,742 a1	L 2 x L 5	0,932 a1	L 7 x L 8	0,736 a1	L 3 x L 7	1,180 a1
L 2 x L 6	0,755 a1	L 5 x L 6	0,950 a1	L 1 x L 6	0,751 a1	L 7 x L 8	1,185 a1
L 5 x L 6	0,758 a1	L 5	0,952 a1	L 1 x L 8	0,754 a1	BRS 1010	1,204 a1
L 3 x L 8	0,765 a1	BRS 1010	0,954 a1	L 1 x L 7	0,757 a1	L 2 x L 4	1,215 a1
L 7 x L 8	0,769 a1	L 7 x L 8	0,961 a1	L 1 x L 2	0,772 a1	L 8 x L 9	1,221 a1
L 3 x L 6	0,776 a1	L 2 x L 4	0,968 a1	L 2 x L 3	0,780 a1	L 1 x L 5	1,225 a1
L 1 x L 2	0,785 a1	L 1 x L 2	0,975 a1	L 3 x L 9	0,781 a1	L 1 x L 7	1,232 a1
L 2 x L 9	0,801 a1	L 8	0,988 a1	L 4	0,792 a1	L 1 x L 6	1,233 a1
L 1 x L 7	0,806 a1	L 1 x L 6	0,992 a1	L 3 x L 5	0,804 a1	L 1 x L 8	1,242 a1
L 2 x L 4	0,832 a1	L 1 x L 7	0,994 a1	L 5 x L 6	0,813 a1	L 3 x L 6	1,248 a1
BRS 1010	0,841 a1	L 3 x L 8	0,995 a1	L 2 x L 9	0,882 a2	L 1 x L 9	1,254 a1
L 1 x L 3	0,931 a1	L 1 x L 8	0,998 a1	L 2 x L 7	0,894 a2	L 2 x L 6	1,268 a1
L 2 x L 7	0,991 a2	L 9	1,010 a1	L 1 x L 3	0,914 a2	L 1	1,276 a1
L 1 x L 4	1,015 a2	L 2 x L 7	1,027 a1	L 1 x L 4	0,938 a2	L 2 x L 8	1,299 a1
L 9	1,093 a2	L 3 x L 5	1,072 a1	L 2 x L 6	0,944 a2	L 3 x L 5	1,339 a1
L 7	1,150 a2	L 2 x L 6	1,106 a1	L 5	1,002 a2	L 2 x L 9	1,341 a1
L 1 x L 8	1,198 a2	L 3 x L 9	1,108 a1	L 4 x L 6	1,042 a2	L 4 x L 9	1,388 a1
L 3	1,247 a2	L 2 x L 9	1,111 a1	L 9	1,043 a2	L 3 x L 8	1,393 a1
L 2 x L 3	1,252 a2	L 1 x L 3	1,289 a2	L 6	1,160 a2	L 3 x L 9	1,435 a1
L 6	1,265 a2	L 2 x L 3	1,306 a2	L 8	1,229 a2	L 2 x L 5	1,448 a1
L 2	1,447 a3	L 7	1,312 a2	L 1	1,493 a3	L 1 x L 3	1,663 a1
L 5	1,565 a3	L 1	1,384 a2	L 7	1,561 a3	L 2	1,690 a1
L 1	1,624 a3	L 2	1,660 a2	L 3	1,569 a3	L 2 x L 3	1,832 a1
L 8	2,050 a4	L 3	1,754 a2	L 2	1,631 a3	L 3	1,939 a1

Médias com a mesma letra pertencem ao mesmo grupo de acordo com Scott-Knott a 5% de probabilidade.

5. CONCLUSÕES

Tanto os efeitos aditivos como não aditivos foram importantes, mas os componentes quadráticos associados à CGC indicaram a predominância dos efeitos aditivos na produtividade de grãos para a eficiência ao uso de P.

Na média acumulada de dois anos agrícolas, as interações CGC x Ambientes e CEC x Ambientes foram significativas, indicando que a seleção do melhor progenitor e da melhor combinação híbrida deve ser realizada em cada ambiente.

As linhagens 1 (L3) e 5 (L51502020) apresentaram os maiores efeitos médios \hat{g}_i , associados à CGC, na ausência e na presença de P na semeadura, indicando maior eficiência e maior responsividade a P, respectivamente.

O cruzamento 5x7 (L51502020 x L22) apresentou o maior efeito \hat{s}_{ij} (CEC), tanto na presença como na ausência de P na semeadura, sendo mais pronunciado na responsividade, evidenciando a ação complementar de genes.

Os níveis de 2,5 μM e 250 μM de P foram adequados para caracterizar genótipos de milho em solução nutritiva.

Há diversidade fenotípica para comprimento de raízes, diâmetro médio, volume total, volume de raízes finas, massa seca de raiz e de parte aérea, para a relação massa seca de raiz/massa seca de parte aérea e para conteúdo de P na raiz e na parte aérea.

O comprimento, volume total e volume de raízes finas foram maiores em baixo P que em alto P e também foram maiores para híbridos que para linhagens. Com o diâmetro médio de raízes ocorreu o contrário.

Em baixo P houve aumento de massa seca de raiz e diminuição do conteúdo de P na parte aérea.

A ausência de P na semeadura propiciou menores perdas de produtividade, na comparação relativa dos tratamentos com e sem P na adubação de semeadura, entre os dois anos agrícolas, indicando que um sistema radicular mais desenvolvido pode reduzir perdas de produtividade em anos de estiagem, à semelhança do melhor desenvolvimento radicular observado em solução nutritiva, em baixo nível de P.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A.M.; CARLINI-GARCIA, L.A.; SILVA, A.R.; SANTOS, M.F; GARCIA, A.A.F.; SOUZA JR., C.L. Combining ability of inbred lines of maize and stability of their respective single-crosses. **Scientia Agricola**, 60:83-89, 2003.

ALLARD, R.W. **Princípios do melhoramento genético das plantas**. Rio de Janeiro: USAID/ Edgard Blucher, 1971. 381p.

ALVES, V.M.C.; NOVAIS, R.F.; OLIVEIRA, M.F.G.; SANT'ANNA, R. Cinética e translocação de fósforo em híbridos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 33:1047-1052, 1998.

ALVES, V.M.C.; PARENTONI, S.N.; MARRIEL, I.E.; VASCONCELLOS, C.A.; PITTA, G.V.E; PURCINO, A.A.C. Eficiência nutricional em milho: a experiência da Embrapa Milho e Sorgo. In: XXIII CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, Uberlândia, 2000. **Resumos Expandidos...** Sete Lagoas: ABMS/Embrapa Milho e Sorgo/Universidade Federal de Uberlândia, 2000. CD-ROM.

ALVES, V.M.C.; VASCONCELLOS, C.A.; PITTA, G.V.E.; MAGNAVACA, R. Seleção de genótipos de milho para eficiência à fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 23:1083-1090, 1988.

BAHIA FILHO, A.F.C.; MAGNAVACA, R.; SCHAFFERT, R.E.; ALVES, V.M.C. Identification, utilization, and economic impact of maize germplasm tolerant to low levels of phosphorus and toxic levels of exchangeable aluminum in Brazilian soils. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; SCHAFFERT, R.E.; FAGERIA, N.K.; ROSOLEM, C.A.; CANTARELLA, H. (eds.). **Plant-soil interactions at low pH: Sustainable agriculture and forestry production**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. p. 59-70.

BALIGAR, V.C.; FAGERIA, N.K. Nutrient use efficiency in acid soils: nutrient management and plant use efficiency. In: MONIZ, A.C.; FURLANI, A.M.C.; SCHAFFERT, R.E.; FAGERIA, N.K.; ROSOLEM, C.A.; CANTARELLA, H. (eds.). **Plant-soil interactions at low pH: sustainable agriculture and forestry production**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. p. 75-95.

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 237p.

BARBIN, D. **Planejamento e análise estatística de experimentos agronômicos**. Arapongas: Ed. Midas, 2003. 208p.

BRASIL, E.C. **Mecanismos envolvidos na eficiência de aquisição de fósforo em genótipos de milho**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2003. 161p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).

BRASIL, E.C.; ALVES, V.M.C.; MARRIEL, I.E. ; PITTA, G.V.E.; CARVALHO, J.G. Matéria seca e acúmulo de nutrientes em genótipos de milho contrastantes quanto a aquisição de fósforo. **Ciência e Agrotecnologia**, 31: 704 -712, 2007.

BUCHANAN, B.B.; GRUISSEM, W.; JONES, R.L. **Biochemistry & molecular biology of plants**. Rockville, Maryland: American Society of Plant Physiologists, 2001. 1367p.

BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L.T; CANTARELLA, H. (eds.). **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafos, 1993, p. 63-145.

CHAUBEY, C.N.; SENADHIRA, D.; GREGORIO, G.B. Genetic analysis of tolerance for phosphorus deficiency in rice (*Oryza sativa* L.). **Theoretical and Applied Genetics**, 89:313-317, 1994.

CHAVES, L.J. Interação de genótipos com ambientes. In: NASS, L.L.; VALOIS, A.C.C.; MELO, I.S.; VALADARES-INGLIS (eds.). **Recursos genéticos e melhoramento - plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 673-713.

CLARK, R.B.; DUNCAN, R.R. Improvement of plant mineral nutrition through breeding. **Field Crops Research**, 27: 219-240, 1991.

COELHO, A.M. Nutrição e adubação do milho. In: CRUZ, J.C.; KARAM, D.; MONTEIRO, M.A.R.; MAGALHÃES, P.C (eds.). **A cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. p. 131-157.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/index.php>>. Acesso em: 11, dezembro, 2013.

CORRALES, I.; AMENOS, M.; POSCHENRIEDER, C.; BARCELO, J. Phosphorus efficiency and root exudates in two contrasting tropical maize varieties. **Journal of Plant Nutrition**, 30:887-900, 2007.

CRUZ, C.D. **Princípios de genética quantitativa**. Viçosa: UFV, 2005. 394p.

CRUZ, C.D. **Programa Genes: Biometria**. Viçosa: UFV, 2006. 382p.

CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. v1. Viçosa: UFV, 2004. 480p.

CRUZ, C.D.; VENCOVSKY, R. Comparação de alguns métodos de análise dialélica. **Revista Brasileira de Genética**, 12:425-438, 1989.

DEAGRO/FIESP. **Safrá Mundial de Milho 2013/14 - 8º levantamento do USDA**. São Paulo: Departamento do Agronegócio/FIESP, 2013. 01 p. (Informativo Deagro, 10). Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/safrá-mundial-de-milho-2/>> Acesso em: 11, dezembro, 2013.

DE SOUSA, S.M.; CLARK, R.T.; MENDES, F.F.; OLIVEIRA, A.C.; VASCONCELOS, M.J.V.; PARENTONI, S.N.; KOCHIAN, L.V.; GUIMARÃES, C.T.; MAGALHÃES, J.V. A role for root morphology and related candidate genes in P acquisition efficiency in maize. **Functional Plant Biology**, 39:925-935, 2012.

DIAS, L.A.S.; BARROS, W.S. **Biometria experimental**. Viçosa: UFV, 2009. 408p.

DoVALE, J.C.; FRITSCHÉ-NETO, R. Genetic control of traits associated with phosphorus use efficiency in maize by REML/BLUP. **Revista Ciência Agronômica**, 44:554-563, 2013 .

DoVALE, J.C.; FRITSCHÉ-NETO, R.; BERMUDEZ, F.; MIRANDA, G.V. Efeitos gênicos de caracteres associados à eficiência no uso de nitrogênio em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 47:385-392, 2012.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. Sunderland: Sinauer Assoc. 2005. 400p.

FAMOSO, A.N.; CLARK, R.T.; SHAFF, J.E.; CRAFT, E.; McCOUCH, .SR.; KOCHIAN, L.V. Development of a novel aluminum tolerance phenotyping platform used for comparisons of cereal aluminum tolerance and investigations into rice aluminum tolerance mechanisms. **Plant Physiology**, 153:1678–1691, 2010.

FAO – Food and Agriculture Organization. **Use of phosphate rocks for sustainable agriculture**. Rome: FAO Land and Water Development Division/The International Atomic Energy Agency, 2004. 148p. (FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin, 13). Disponível em: <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/fpnb13.pdf>. Acesso em: 11, dezembro, 2013.

FERNANDES, C.; MURAOKA, T. Absorção de fósforo por híbridos de milho cultivados em solo de cerrado. **Scientia Agricola**, 59:781-787, 2002.

FERREIRA, D.F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, 6:36-41, 2008.

FERREIRA, D.F.; REZENDE, G.D.S.P.; RAMALHO, M.A.P. An adaptation of Griffing's method IV of complete diallel cross analysis for experiments repeated in several environments. **Brazilian Journal of Genetics**, 16:357-366, 1993.

FERREIRA, M.M.M. Sintomas de deficiência de macro e micronutrientes de plantas de milho híbrido BRS 1010. **Revista agro@ambiente on-line**, 6:74-83, 2012.

FIXEN, P.E. **Reservas mundiais de nutrientes dos fertilizantes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2009. 7 p. (Informações agronômicas, 126).

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

FRITSCHÉ-NETO, R.; MIRANDA, G.V.; DeLIMA, R.O.; SOUZA, L.V.; SILVA, J. Herança de caracteres associados à eficiência de utilização do fósforo em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 45:465-471, 2010.

FRITSCHÉ-NETO, R.; VIEIRA, R.A.; SCAPIM, C.A.; MIRANDA, G.V.; REZENDE, L.M. Updating the ranking of the coefficients of variation from maize experiments. **Acta Scientiarum**, 34:99-101, 2012.

FURLANI, A.M.C.; BATAGLIA, O.C.; LIMA, M. Eficiência de linhagens de milho na absorção e utilização de fósforo em solução nutritiva. **Bragantia**, 44: 129-147, 1985.

GAMA, E.E.G.; PARENTONI, S.N.; ALVES, Y.M.C.; GUIMARÃES, P.E.O.; PACHECO, C.A.P.; LEITE, C.E.P.; TEIXEIRA, F.F.; MAGALHÃES, J.V. Combining ability among maize inbred lines for tolerance to low phosphorus content in the soil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHOSPHORUS DYNAMICS IN THE SOIL-PLANT CONTINUUM, 3., 2006. Uberlândia. **Proceedings...** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. p. 124.

GARDNER, C.O.; EBERHART, S.A. (1966). Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. **Biometrics**, 22: 439-452, 1966.

GLIESSMAN, S.R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: UFRGS. 2001. 653p.

GOMES, E.A.; SOUZA, F.A.; SOUSA, S.M.; VASCONCELOS, M.J.V.; MARRIEL, I.E.; SILVA, U.C. **Prospecção de comunidades microbianas do solo ativas no aproveitamento agrícola de fontes de fósforo de baixa solubilidade**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 34 p. (Documentos, 107).

GONÇALVES, M.C.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Tópicos especiais de biometria no melhoramento de plantas: com exemplos numéricos e de programação no SAS**. Viçosa: UFV, 2012. 282p.

GONÇALVES-VIDIGAL, M.C.; SILVÉRIO, L.; ELIAS, H.T.; VIDIGAL FILHO, P.S.; KVITSCHAL, M.V.; RETUCI, V.S.; SILVA, C.R. Combining ability and heterosis in common bean cultivars. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 43:1143-1150, 2008.

GRIFFING, B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal of Biological Sciences**, 9: 463-493, 1956.

HALLAUER, A.R. Methods used in developing maize inbreds. **Maydica**, 35: 1-16, 1990.

HALLAUER, A.R.; MIRANDA FILHO, J.B. **Quantitative genetics in maize breeding**. Ames: Iowa State University Press, 1985. 468p.

HINSINGER, P.; JAILARD, B.; Le CADRE-BARTGÉLÉMY, E.; PLASSARD, C.; DREVON, J.J. The roots of phosphorus acquisition efficiency in crops In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHOSPHORUS DYNAMICS IN THE SOIL-PLANT CONTINUUM, 2006. Uberlândia. **Proceedings...** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. p. 75-76.

JAMJOD, S.; MANN, C.E.; RERKASEM, B. Combining ability of the response to boron deficiency in wheat. In: RANDALL, P.J.; DELHAIZE, E.; RICHARDS, R.A.; MUNNS, R. (eds.). **Genetic aspects of plant mineral nutrition**. Series: Developments in Plant and Soil Sciences. Netherlands: Springer Netherlands, 1993. p. 359-361.

KOCHIAN, L.V.; HOEKENGA, O.A.; PIÑEROS, M.A. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. **Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology**, 55:459-493, 2004.

LYNCH, J.P. Roots of the second green revolution. **Australian Journal of Botany**, 55:493-512, 2007.

MACHADO, C.T.T.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L.; MACHADO, A.T. Variabilidade entre genótipos de milho para eficiência no uso de fósforo. **Bragantia**, 58: 109-124, 1999.

MAGNAVACA, R.; GARDNER, C.O.; CLARK, R.B. Evaluation of maize inbred lines for aluminum tolerance in nutrient solution. In: GABELMAN, H. W.; LONGHMAN, B. C. (eds.). **Genetic aspects of plant mineral nutrition**. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers, 1987. p. 255-265.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Presss, 1995. 889p.

MARSCHNER, P.; SOLAIMAN, Z.; RENGEL, Z. Rhizosphere properties of Poacea genotypes under P-limiting conditions. **Plant and Soil**, 283:11-24, 2006.

MENDES, F.F. **Controle genético da eficiência no uso de fósforo em milho tropical**. Lavras : UFLA, 2012. 134p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas).

MIKEL, M.A. Genetic composition of contemporary U.S. commercial dent corn germplasm. **Crop Science**, 51: 592-599, 2011.

MIRANDA FILHO, J.B. **O delineamento de experimentos e a interpretação dos dados**. In: Curso: "Tecnologia do milho no Brasil". Sete Lagoas, 1974.

MIRANDA FILHO, J.B. Princípios de experimentação e análise estatística. In: PATERNIANI, E.; VIÉGAS, G.P. (eds.). **Melhoramento e produção do milho**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 765-795.

MIRANDA FILHO, J.B.; GORGULHO, E.P. Cruzamentos com testadores e dialelos. In: NASS, L.L.; VALOIS, A.C.C.; MELO, I.S.; VALADARES-INGLIS, M.C. (eds.). **Recursos genéticos e melhoramento - plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 649-671.

MIRANDA FILHO, J.B.; VENCOSKY, R. Analysis of variance with interaction of effects. **Revista Brasileira de Genética**, 18:129-134, 1995.

MOLL, R.H.; KAMPRATH, E.J.; JACKSON, W.A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, 74:562-564, 1982.

MORAIS, A.R.; OLIVEIRA, A.C.; GAMA, E.E.G.; SOUZA JR., C.L. A method for combined analysis of the diallel crosses repeated in several environments. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 26:371-381, 1991.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 729p.

NASS, L.L.; LIMA, M.; VENCOSKY, R.; GALLO, P.B. Combining ability of maize inbred lines evaluated in three environments in Brazil. **Scientia Agricola**, 57:129-134, 2000.

NIHEI, T.H.; FERREIRA, J.M. Análise dialéctica de linhagens de milho com ênfase na resistência a doenças foliares. **Pesquisa agropecuária brasileira**, 47:369-377, 2012.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 399p.

OLIVEIRA, A.C.; MORAIS, A.R.; SOUZA JUNIOR, C.L.; GAMA, E.E.G. Análise de cruzamentos dialécticos parciais repetidos em vários ambientes.. **Brazilian Journal of Genetics**, 10:517-533, 1987.

OLIVEIRA, C.A.; ALVES, V.M.C.; MARRIEL, I.E.; GOMES, E.A.; SCOTTI, M.R.; CARNEIRO, N.P.; GUIMARÃES, C.T.; SCHAFFERT, R.E.; SÁ, N.M.H. Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in na Oxisol of the Brazilian Cerrado Biome. **Soil Biology and Biochemistry**, 41:1782-1787, 2009.

OLIVEIRA, V.R.; CASALI, V.W.D.; CRUZ, C.D.; PEREIRA, P.R.G.; SCAPIM, C. Capacidade de combinação entre linhagens de pimentão diferindo na tolerância ao baixo teor de fósforo no solo. **Bragantia**, 57: 203-214, 1998.

ORDÁS, B.; CAICEDO, M.; ROMAY, M.C.; REVILLA, P.; ORDÁS, A. Effect of visual selection during the development of inbred lines of maize. **Crop Science**, 52:2538-2545, 2012.

PARENTONI, S.N. **Estimativa de efeitos gênicos de diversos caracteres relacionados à eficiência e resposta ao fósforo em milho tropical**. Piracicaba: Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, 2008. 207p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas).

PARENTONI, S.N.; ALVES, V.M.C.; MILACH, S.K.; CANÇADO, G.M.A; BAHIA FILHO, A.F.C. Melhoramento para tolerância a alumínio como fator de adaptação a solos ácidos. In: NASS, L.L.; VALOIS, A.C.C.; MELO, I.S.; VALADARES –INGLIS (eds.). **Recursos genéticos e melhoramento - plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 783-851.

PARENTONI, S.N.; GAMA, E.E.G.; SANTOS, M.X.; LOPES, M.A.; ALVES, V.M.C.; BAHIA FILHO, A.F.C.; VASCONCELLOS, C.A.; MAGNAVACA, R.; PACHECO, C.A.P.; MEIRELLES, W.F.; GUIMARÃES, P.E.O.; SILVA, A.E.; NASPOLINI FILHO, W.; MORO, J.R.; VIANA, R.T.; PITTA, G.V.E.; FRANCA, G.E.; PURCINO, A.A.C.; SOUZA, I.R.P.; MARRIEL, I.E.; MACHADO, A.T.; CORREA, L.A.; OLIVEIRA, A.C.; PAIVA, E. Adaptação de milho a solos ácidos: Tolerância à toxidez de alumínio e eficiência no uso de nutrientes no programa de pesquisa da EMBRAPA Milho e Sorgo. In: REUNION LATINOAMERICANA DEL MAIZ, 18, Sete Lagoas, 1999. **Memórias...** Sete Lagoas: Embrapa–Milho e Sorgo; México: CIMMYT, 1999. p. 179-199.

PARENTONI, S.N.; GAMA, E.E.G.; SANTOS, M.X.; PACHECO, C.A.P.; MEIRELLES, W.F.; CORREA, L.A.; GUIMARAES, P.E.O.; CASELA, C.R.; FERREIRA, A.S.; ALVES, V.M.C.; TAVARES, F.T.; RIBEIRO, P.H.E. **Híbrido simples de milho BRS 1010**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2004. 6 p. (Comunicado técnico, 107).

PARENTONI, S.N.; MENDES, F.F.; GUIMARÃES, L.J.M. Melhoramento para eficiência no uso de fósforo. In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. (org.). **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Viçosa: UFV, 2011. 250p.

PARENTONI, S.N.; SOUZA JUNIOR, C.L. Phosphorus acquisition and internal utilization efficiency in tropical maize genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 43:893-901, 2008.

PARENTONI, S.N.; SOUZA JR., C.L.; ALVES, V.M.C.; GAMA, E.E.G.; COELHO A.M.; OLIVEIRA, A.C.; GUIMARÃES, P.E.O.; GUIMARÃES, C.T.; VASCONCELOS, M.J.V.; PACHECO, C.A.P.; MEIRELLES, W.F.; MAGALHÃES J.V.; GUIMARÃES, L.J.M.; SILVA, A.R.; MENDES, F.F.; SCHAFFERT, R.E. Inheritance and breeding strategies for phosphorus efficiency in tropical maize (*Zea mays* L.). **Maydica**, 55:1-15, 2010.

PARENTONI, S.N.; VASCONCELOS, C.A.; ALVES, V.M.C.; PACHECO, C.A.P.; SANTOS, M.X.; GAMA, E.E.G.; MEIRELLES, W.F.; CORREA, L.A.; PITTA, G.V.E.; BAHIA FILHO, A.F.C. Eficiência na utilização de fósforo em genótipos de milho. In:

XXIII CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, Uberlândia, 2000. **Resumos...** Sete Lagoas: ABMS/Embrapa Milho e Sorgo/Universidade Federal de Uberlândia, 2000. p. 92.

PATERNIANI, E. Métodos tradicionais de melhoramento do milho. In: BÜLL, L.T.; CANTERELLA, H. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade.** Piracicaba: Potafos, 1993. p. 23-42.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental.** Piracicaba: Nobel, 1985. 466p.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos.** Piracicaba: FEALQ, 2002. 309p.

PINTO, R.J.B. **Introdução ao melhoramento genético de plantas.** Maringá: UEM, 2009. 351p.

PRASANNA, B.M. Diversity in global maize germplasm: characterization and utilization. **Journal of Biosciences**, 37: 843-55, 2012.

RAGHOTHAMA, K.G. Phosphate acquisition. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, 50: 665-693, 1999.

RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A.F.B.; SANTOS, J.B.; NUNES J.A.R. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas.** Lavras: UFLA, 2012. 522p.

RAMALHO, M.A.P.; FERREIRA, D.F.; OLIVEIRA, A.C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas.** Lavras: UFLA, 2000. 303p.

RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B.; ZIMMERMANN, M.J.O. **Genética quantitativa em plantas autógamas: aplicações ao melhoramento do feijoeiro.** Goiânia: UFG, 1993. 271p.

RENGEL, Z.; MARSCHNER, P. Nutrient availability and management in the rhizosphere: exploiting genotypic differences. **New Phytologist**, 168:305-312, 2005.

RESENDE, M.D.V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 562p.

RESENDE, M.D.V.; DUARTE, J.B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 37:182-194, 2007.

RICHARDSON, A.E.; LYNCH, J.P.; RYAN, P.R.; DELHAIZE, E.; SMITH, F.A.; SMITH, S.E.; HARVEY, P.R.; RYAN, M.H.; VENEKLAAS, E.J.; LAMBERS, H.; OBERSON, A.; CULVENOR, R.A.; SIMPSON, R. Plant and microbial strategies to improve the phosphorus efficiency of agriculture. **Plant and Soil**, 349:121-156, 2011.

SAS INSTITUTE INC. **SAS/STAT® 9.2: User's Guide: Statistics. Version 9.2**. Cary, NC: SAS Institute Inc, 2008.

SCAPIM, C.A.; BRACCINI, A.L.; PINTO, R.J.B.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; RODOVALHO, M.A.; SILVA, R.M.; MOTERLE, L.M. Componentes genéticos de médias e depressão por endogamia em populações de milho-pipoca. **Ciência Rural**, 36:36-41, 2006a.

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

SCAPIM, C.A.; PACHECO, C.A.P.; TONET, A.; BRACCINI, A.L.; PINTO, R.J.B. Análise dialéctica e heterose de populações de milho-pipoca. **Bragantia**, 61:219-230, 2002.

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

SCHACHTMAN, D.P.; REID, R.J.; AYLING, S.M. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. **Plant Physiology**, 116:447-453, 1998.

SCOTT, A.J.; KNOTT, M.A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, 30:507-512, 1974.

SILVA, A.E.; GABELMAN, W.H Screening maize inbred lines for tolerance to low-P stress condition. **Plant and Soil**, 146:181-187, 1992.

SILVA, A.E.; GABELMAN, W.H.; COORS, J.G. Inheritance studies of low-phosphorus tolerance in maize (*Zea mays* L.), grown in a sand-alumina culture medium. **Plant and Soil**, 146:189-197, 1992.

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA Comunicação para Transferência de Tecnologia; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos; Campinas: EMBRAPA Informática, 1999. 370p.

SILVA, V.M.P.; CARNEIRO, P.C.S.; MENEZES JÚNIOR, J.A.N.; CARNEIRO, V.Q.; CARNEIRO, J.E.S.; CRUZ, C.D.; BORÉM, A. Genetic potential of common bean parents for plant architecture improvement. **Scientia Agricola**, 70:167-175, 2013.

SILVA, V.Q.R.; AMARAL JÚNIOR, A.T.; GONÇALVES, L.S.A.; FREITAS JÚNIOR, S. P.; RIBEIRO, R.M. Heterotic parameterizations of crosses between tropical and temperate lines of popcorn. **Acta Scientiarum**, 33:243-249, 2011.

SIMON, G.A.; SCAPIM, C.A.; PACHECO, C.A.P.; PINTO, R.J.B.; BRACCINI, A.L.E.; TONET, A. Depressão por endogamia em populações de milho-pipoca. **Bragantia**, 63:55-62, 2004.

SINGH, R.K.; CHAUDHARY, B.D. **Biometrical methods in quantitative genetic analysis**. New Delhi: Kalyani Publishers, 1979. 304p.

SIQUEIRA, J.O.; SOUZA, F.A.; CARDOSO, E.J.B.N.; TSAI, S.M. (eds.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisas no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. 716p.

SOUSA, S.M.; GOMES, E.A.; SOUZA, F.A.; VASCONCELOS, M.J.V. **Importância da morfologia radicular na eficiência da aquisição de fósforo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010a. 33 p. (Documentos, 105).

SOUSA, S.M.; PARENTONI, S.N.; GUIMARAES, C.T.; MAGALHAES, J.V. de; VASCONCELOS, M.J.V. **Análise do sistema radicular para seleção de genótipos de milho mais eficientes na aquisição de fósforo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010b. 20 p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 24).

SOUZA JR., C.L.; BARRIOS, S.C.L.; MORO, G.V. Performance of maize single-crosses developed from populations improved by a modified reciprocal recurrent selection. **Scientia Agricola**, 67:198-205, 2010.

SOUZA, L.V.; MIRANDA, G.V.; GALVÃO, J.C.C.; ECKERT, F.R.; MANTOVANI, E.E.; LIMA, R.O.; GUIMARÃES, L.J.M. Genetic control of grain yield and nitrogen use efficiency in tropical maize. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 43: 517-1523, 2008.

SPRAGUE, G.F.; TATUM, L.A. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. **Journal of the American Society of Agronomy**, 34:923-932, 1942.

STEEL, R.G.D.; TORRIE, J.H. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. New York: McGraw-Hill, 1980. 633p.

STORCK, L.; LOPES, S.J.; GARCIA, D.C.; ESTEFANEL, V. **Experimentação vegetal**. Santa Maria: UFSM, 2011. 200p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

TROYER, A.F.; WELLIN, E.J. Heterosis decreasing in hybrids: yield test inbreds. **Crop Science**, 49:1969-1976, 2009.

VANCE, C.P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D.L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, 157:423-447, 2003.

VASCONCELLOS, C.A.; ALVES, V.M.C.; PARENTONI, S.N.; PITTA, G.V.E. Eficiência no uso de fósforo em genótipos de milho. In: XXIV REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS; VIII REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS; VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO; III REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO. Santa Maria, 2000. **Resumos...** Santa Maria: SBCS/UFRGS, 2000. p. 99.

VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIÉGAS, G.P. (eds.). **Melhoramento e produção do milho**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.137-214.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**.

Ribeirão Preto: Revista Brasileira de Genética, 1992. 486p.

VIANA, J.H.M.; RESENDE, A.V.; GUIMARÃES, C.T.; PARENTONI, S.N. **Avaliação da variabilidade espacial do solo em experimentos de eficiência nutricional em milho, conduzidos em área com baixos teores de nutrientes: um estudo de caso**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2009. 19 p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 18).

VIEIRA, R.A.; SCAPIM, C.A.; TESSMANN, D.J.; HATA, F.T. Diallel analysis of yield, popping expansion, and southern rust resistance in popcorn lines. **Revista Ciência Agronômica**, 42:774-780, 2011.

VIEIRA, S. **Análise de variância: (Anova)**. São Paulo: Atlas, 2006. 204p.

VOSE, P.B. Rationale of selection for specific nutritional characters in crop improvement with *Phaseolus vulgaris* L. as a case study. **Plant and Soil**, 72:351-364, 1983.

ZIMMERMANN, F.J.P. **Estatística aplicada à pesquisa agrícola**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004. 402p.