



UNIVERSIDADE
ESTADUAL de LONDRINA

LEANDRO TEODOSKI SPOLAOR

**RESPOSTA A ADUBAÇÃO FOSFATADA EM VARIEDADES
DE MILHO UTILIZADAS EM SISTEMA DE AGRICULTURA
FAMILIAR**

Londrina
2016

LEANDRO TEODOSKI SPOLAOR

**RESPOSTA A ADUBAÇÃO FOSFATADA EM VARIEDADES
DE MILHO UTILIZADAS EM SISTEMA DE AGRICULTURA
FAMILIAR**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Simões Azeredo
Gonçalves

Londrina
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Spolaor, Leandro Teodoski .

Resposta a adubação fosfatada em variedades de milho utilizadas em sistema de agricultura familiar / Leandro Teodoski Spolaor. - Londrina, 2016.

67 f. : il.

Orientador: Leandro Simões Azeredo Gonçalves.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2016.

Inclui bibliografia.

1. Milho Crioulo - Tese. 2. Adubação Fosfatada - Tese. 3. Agricultura familiar - Tese. I. Gonçalves, Leandro Simões Azeredo . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

LEANDRO TEODOSKI SPOLAOR

**RESPOSTA A ADUBAÇÃO FOSFATADA EM VARIEDADES DE
MILHO UTILIZADAS EM SISTEMA DE AGRICULTURA FAMILIAR**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Leandro Simões Azeredo
Gonçalves
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Josué Maldonado Ferreira
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Claudemir Zucareli
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Londrina, 26 de Fevereiro de 2016.

Aos meus pais
Claudinei Spolaor e Ivanilda de Melo Teodoski Spolaor
Pelo apoio e educação

DEDICO!

A Santíssima Trindade
Pai, Filho e Espírito Santo

OFEREÇO!

AGRADECIMENTO

A Deus, por estar sempre a frente das batalhas a serem vencidas em minha vida.

Aos meus pais, Claudinei Spolaor e Ivanilda de Melo Teodoski Spolaor, pelo amor carinho, confiança, garra, dedicação, incentivo e suporte.

Ao orientador, sócio e grande amigo Dr. Leandro Simões Azeredo Gonçalves, pela orientação, acompanhando cada etapa, atencioso para cada dúvida. Agradeço pelos conhecimentos adquiridos e sobretudo pela paciência, exigência, competência, confiança e momentos de descontração.

Ao professor Dr. Josué Maldonado Ferreira por disponibilizar as variedades sintéticas de seu banco de germoplasma para a realização deste trabalho e fazer parte da banca avaliadora.

Ao professor Dr. Claudemir Zucareli por todos os anos de orientação na fase de graduação, pelo aprendizado e por estar mais uma vez sendo parte da banca avaliadora.

Ao professor Dr. Cássio Egidio Cavenaghi Prete ceder o espaço da Fazesc para realização deste trabalho.

Ao Prof. Doutor Carlos Alberto Scapim pela parceira firmada, cedendo a área da Fazenda Escola da Universidade Estadual de Maringá para a realização deste trabalho.

Ao Cnpq, pelo apoio financeiro e pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao programa de pós graduação em agronomia da Universidade Estadual de Londrina

Ao tratorista e amigo senhor Raimundo pela paciência na hora de instalação dos experimentos e por transmitir sua experiência.

Ao pessoal da Universidade Estadual de Maringá em nome de Mauricio Carlos Kuki e Filipe Bertagna pelo auxílio na condução dos experimentos e pela amizade e parceria firmada.

Aos meus amigos Benedito Teodoro Neto, Carlo André Zimmer, Cássio Rickli, Leonardo Pontes, Lucas Pivetta e Rodrigo Oliveira Marques pela amizade e momentos de descontração.

Finalmente, à todos que, de alguma forma, fizeram parte de mais uma etapa da minha vida, meu MUITO OBRIGADO!

SPOLAOR, Leandro Teodoski. **Resposta a adubação fosfatada em variedades de milho utilizadas em sistema de agricultura familiar**. 2016. 67 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2016.

RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram: i) avaliar o desempenho produtivo e determinar a eficiência de aquisição e utilização de fósforo (P) em variedades locais de milho no Paraná, Brasil, e ii) classificar as variedades locais como base na sua performance (produtividade) em baixo (eficiente versus ineficiente) e alto (responsivo versus não responsivo) suplemento de P. Foram avaliadas 14 variedades locais e 4 variedades sintéticas de milho do banco de germoplasma da Universidade Estadual de Londrina (UEL) em condições contrastantes de P (sem adição de fertilizante fosfatado no sulco de semeadura, e alta – 112 Kg ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco de semeadura), nos municípios de Londrina e Maringá, Paraná. O delineamento adotado foi de blocos ao acaso em esquema fatorial, com três repetições. A parcela foi constituída por duas linhas de cinco metros espaçadas a 0,90m e 0,20m entre plantas na linha, que resultou no estande estimado de 55.555 plantas ha⁻¹. As seguintes características fitométricas e agrônômicas foram avaliadas: altura de planta, altura de inserção de espiga, número de espigas por planta, rendimento de grãos, concentração de P no grão e os índices de eficiência no uso do P. Os dados foram submetidos à análise de variância, e quando significativos, as médias dos tratamentos e dos experimentos de cultivo foram comparadas pelo teste de Scott e Knott a 5% de probabilidade. Existe variabilidade genética entre os genótipos estudados, e foram identificados oito genótipos (ST0409, ST2109, Caiano, Palha Roxa, ST1309, Amarelão, Caiano2 e ST0509) responsivos ao uso de fósforo para o ambiente Londrina e sete genótipos (ST1309, Amarelão, Caiano, Caiano2, Branco Antigo, Aztecão e ST0509) para o ambiente Maringá. Dentre as variáveis que compõem a eficiência no uso de fósforo, a eficiência de aquisição de P foi o que obteve a maior correlação com a eficiência no uso de P e ao rendimento de grãos, indicando grande importância aos mecanismos ligados a aquisição do que as mecanismos relacionados com o uso interno de P. O genótipo ST0509 apresenta elevado potencial para futuros trabalhos de melhoramento para obtenção de populações e/ou linhagens eficientes no uso do P.

Palavras-chave: *Zea mays*. Milho crioulo. Estresse abiótico. Interação genótipo x ambiente. Adubação fosfatada.

SPOLAOR, Leandro Teodoski. **Response to phosphate fertilizer on corn variety used in farming system family.** 2016. 67 p. Dissertation (Master's Degree in Agronomy) – State University of Londrina, Londrina, 2016.

ABSTRACT

The objectives of this article were: I) evaluate the acquisition's efficiency and the utilization of P in local corn varieties in Paraná state, Brazil, and II) classify the local varieties on the basis on its performance (productivity) in low (efficient vs. Inefficient) and high (responsive vs. non responsive) P supplement. Were evaluated 18 local corn varieties from the Universidade Estadual de Londrina (UEL)'s germoplasm bank in contrasting conditions of P (low - no phosphate fertilizers addition in the sowing groove, and high – 112Kg ha⁻¹ of in the sowing groove), in the cities of Londrina and Maringá, at Paraná state. The adopted design was the factorial model with random blocks, with three repetitions. The plot had two lines with five meters of length and spaced by 0,90m and 0,20m between plants in the line, which resulted in an estimated stand of 55.555 plants ha⁻¹. The following phytometric and agronomic's characteristics were evaluated: plant height, spike insertion height, number of spikes by plant, yield of grains, grain P concentration, and the P use efficiency indexes. The data were submitted to an analysis of variance (ANOVA), and when significant, the treatments and culture experiments' averages were compared by the Scott and Knott test in 5% of probability. By the joint ANOVA, was verified significant effect to yield of grains in the sources genotypes, experiment and the interaction between genotype and environment (IGxE). To the phosphorus use efficiency was observed significant values for all the variables to genotype and IGxE, in relation to the interactions between genotype and environment the variables phosphorus use efficiency (E_{use}), efficiency of phosphorus utilization (E_{util}) and phosphorus harvest index (I_{ph}) were significant and to experiment and environment the variables phosphorus use efficiency (E_{use}), phosphorus acquisition efficiency (E_{aqp}), efficiency of phosphorus utilization (E_{util}) and phosphorus utilization ratio (R_{util}). The variables efficiency of phosphorus utilization (E_{util}), phosphorus utilization ratio (R_{util}) and phosphorus harvest index (I_{ph}) were significant to triple interaction (genotype x experiment x environment) showing a dependency among the factors levels. The genotypes ST0409, ST2109, Caiano, Palha Roxa, ST1309, Amarelão, Caiano2 and ST0509 were classified as efficient in the use of phosphorus at Londrina's environment, when at Maringá's environment were the genotypes ST1309, Amarelão, Caiano, Caiano2, Branco Antigo, Aztecão and ST0509. Exists genetic variability among the studied genotypes, and were identified eight genotypes (ST0409, ST2109, Caiano, Palha Roxa, ST1309, Amarelão, Caiano2 and ST0509) responsive to the phosphorus use to Londrina's environment and seven genotypes (ST1309, Amarelão, Caiano, Caiano2, Branco Antigo, Aztecão and ST0509) to Maringá's environment. Among the variables that constitutes the phosphorus use efficiency, the P acquisition efficiency was the one that had the biggest correlation with the phosphorus use efficiency and to the yield of grains, indicating big importance to the mechanisms linked to the acquisition from whom to the internal use of P. The genotype ST0509 presents elevated potential for future improvement programs for the population and/or strains with efficiency in the use of P.

Keywords: *Zea mays*. Landraces. Abiotic stress.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** – Representação gráfica da eficiência e resposta ao nutriente, pela metodologia de Fageria e Baligar (1993)28
- Figura 2** – Dados diários de temperaturas máximas e mínimas e de precipitação pluvial durante o período de condução do experimento em Londrina **(a)** e Maringá **(b)** na safra de 2014/2015.....32
- Figura 3** – Eficiência no uso e resposta à aplicação de fósforo em variedades de milho, pela metodologia de Fageria e Kluthcouski (1980) nos ambientes de Londrina **(a)** e Maringá **(b)**48
- Figura 4** – Correlação entre variáveis em 18 genótipos de milho avaliados na ausência de fósforo nos ambientes de Londrina **(a)** e Maringá **(b)**54
- Figura 5** – Dendograma da dissimilaridade genética entre 18 variedades de milho pelo UPGMA baseado na matriz de dissimilaridade das variáveis agrônomicas e índices de eficiência de fósforo56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Variedades de milho avaliadas nas áreas experimentais de Londrina e Maringá-PR, safra 2014/2015	30
Tabela 2	– Caracterização química do solo das áreas experimentais de Londrina e Maringá – PR, na profundidade de 0-20 cm, na safra 2014/2015	31
Tabela 3	– Esquema da análise de variância para o delineamento de blocos ao acaso com fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e esperança de quadrados médios (E(QM))	35
Tabela 4	– Esquema da análise de variância conjunta para o delineamento de blocos ao acaso com as fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e esperança de quadrados médios (E(QM)).....	36
Tabela 5	– Esquema da análise de variância conjunta com locais para o delineamento de blocos ao acaso com as fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e esperança de quadrados médios (E(QM)).....	37
Tabela 6	– Resumo da análise de variância para rendimento de grãos (Rend), altura de plantas (ALTP), altura de inserção de espiga (ALTE) e número de espigas por plantas (NEP) de 18 variedades de milho na ausência e presença de fósforo cultivadas no ambiente Londrina-PR, safra 2014/2015.....	39
Tabela 7	– Resumo da análise de variância para eficiência no uso de P (Euso), eficiência de aquisição de P (Eaq), eficiência de utilização interna de P (Eutil), Teor de P nos grãos (TPG), quociente de utilização de P (Qutil) e índice de colheita de P (Icp) relacionados com a eficiência ao fósforo em 18 variedades de milho na ausência e presença de fósforo (P) cultivadas no ambiente Londrina.....	40
Tabela 8	– Análise de variância para 4 caracteres agrônomicos em 18 variedades de milho na ausência ou presença de fósforo na semeadura no ambiente Maringá.....	41
Tabela 9	– Análise de variância para eficiência no uso de P (Euso),	

	eficiência de aquisição de P (E_{aq}), eficiência de utilização interna de P (E_{util}), Teor de P nos grãos (TPG), quociente de utilização de P (Q_{util}) e índice de colheita de P (I_{cp}) relacionados com a eficiência ao fósforo em 18 variedades de milho na ausência e presença de fósforo (P) cultivadas no ambiente Maringá-PR, safra 2014/2015.....	42
Tabela 10	– Resumo da análise de variância conjunta para rendimento de grãos (Rend), altura de planta (ALTP), altura de inserção da primeira espiga (ALTE) e número de espiga por planta (NEP) avaliados na ausência e presença de fósforo na semeadura nos ambientes Londrina e Maringá	43
Tabela 11	– Resumo da análise de variância conjunta para eficiência no uso (E_{uso}), aquisição (E_{aq}) e de utilização interna de P (E_{util}), teor de P nos grãos (TPG), quociente de utilização de P (Q_{util}) e índice de colheita de P (I_{cp}) avaliados na ausência e presença de P na semeadura nos ambientes Londrina e Maringá	44
Tabela 12	– Agrupamento de médias pelo teste Scott-Knott ($P < 0,05$) entre 18 genótipos de milho, avaliados na ausência e presença de fósforo na semeadura nos ambientes de Londrina e Maringá, Paraná, safra 2014/2015	45
Tabela 13	– Agrupamento de médias pelo teste Scott-Knott ($P < 0,05$) entre 18 variedades de milho, avaliados na ausência e presença de fósforo na semeadura para eficiência de uso (E_{uso}), aquisição (E_{aq}) e de utilização interna de P (E_{util}) nos ambientes de Londrina e Maringá.....	50
Tabela 14	– Agrupamento de médias pelo teste Scott-Knott ($P < 0,05$) entre 18 variedades de milho, avaliados na ausência e presença de fósforo na semeadura para teor de P nos grãos (TPG), quociente de utilização de P (Q_{util}) e índice de colheita de P (I_{cp}) nos ambientes de Londrina e Maringá.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al	Alumínio
ANA	Articulação Nacional da Agroecologia
ATP	Adenosina Trifosfato
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EAP	Eficiência de Aquisição de Fósforo
E_{aq}	Eficiência de Aquisição
E_{uso}	Eficiência de Uso de Fósforo
E_{util}	Eficiência de Utilização
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
Fe	Ferro
IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná
I_{cp}	Índice de Colheita
K_2O	Cloreto de Potássio
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MFPa	Massa Fresca de Palhada
MSG	Massa Seca de Grãos
MSPa	Massa seca de Palhada
N	Nitrogênio
ONG	Organização não Governamental
P	Fósforo
P_2O_5	Pentóxido de Fósforo
PTOT	Quantidade de Fósforo Total na Parte Aérea
QPG	Quantidade de Fósforo nos Grãos
QPPa	Quantidade de Fósforo na Palhada
Q_{util}	Quociente de Utilização
TPG	Teor de Fósforo nos Grãos
TPPa	Teor de Fósforo na Palhada
UEL	Universidade Estadual de Londrina
UEM	Universidade Estadual de Maringá
UPGMA	Unweighted Pair-Group Method Using na Arithmetic Average

USDA

United States Department of Agriculture

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	EVOLUÇÃO E DOMESTICAÇÃO DA CULTURA DO MILHO	16
2.2	CULTURA DO MILHO.....	18
2.2.1	Aspectos Gerais.....	18
2.2.2	Produção Milho – Agricultura Familiar.....	19
2.3	DIVERSIDADE GENÉTICA DO MILHO	19
2.3.1	Importância das Variedades Locais	21
2.4	FÓSFORO	22
2.4.1	Comportamento do Fósforo no Solo	22
2.4.2	Importância do Fósforo Para o Desenvolvimento das Plantas.....	24
2.4.3	Melhoramento Para a Eficiência do Uso de Fósforo	25
3	MATERIAL E MÉTODOS	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1	ANÁLISE DE VARIÂNCIA INDIVIDUAL – AMBIENTE LONDRINA	39
4.2	ANÁLISE DE VARIÂNCIA INDIVIDUAL – AMBIENTE MARINGÁ.....	41
4.3	ANÁLISE DE VARIÂNCIA CONJUNTA	42
4.4	ANÁLISE DE AGRUPAMENTO – SCOTT E KNOTT (1974) E CLASSIFICAÇÃO DOS GENÓTIPOS PELA METODOLOGIA DE FAGERIA E KLUTHCOUSKI (1980)	45
4.5	CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS ESTUDADAS.....	52
4.6	ANÁLISE MULTIVARIADA.....	55
	CONCLUSÕES	57
	REFERÊNCIAS	58

1. INTRODUÇÃO

A variabilidade genética existente no milho permite o seu cultivo nos mais diversos ambientes, sendo o seu germoplasma constituído por variedades locais, populações adaptadas e materiais exóticos introduzidos. As variedades locais são consideradas importantes patrimônios genéticos para o melhoramento devido ao seu elevado potencial de adaptação a condições adversas, como por exemplo, déficit hídrico, salinidade, deficiência de nutrientes, toxidez por alumínio, entre outros. As variedades locais são, de modo geral, menos produtivas que os híbridos comerciais em condições onde o produtor emprega alta tecnologia, porém quando esses mesmos híbridos são cultivados em locais onde há algum tipo de estresse, a produtividade se iguala ou é menor que a das variedades locais, e estas por sua vez, são bastante utilizadas por agricultores familiares, devido à facilidade de obtenção e rusticidade.

Segundo dados da FAO (2010), é necessário o aumento de produção em 70% até 2050 para atingir à crescente demanda por alimentos fibras e energia. Contudo para atingir esse aumento novas áreas agrícolas deverão ser incorporadas a cadeia de produção agrícola nos próximos anos, principalmente em regiões tropicais. Entretanto, a maioria dos solos dessas regiões apresenta baixo pH, alto teor de Alumínio (Al), baixa disponibilidade de nutrientes e alta capacidade de adsorção de fósforo (P).

A maioria das áreas utilizadas pelos agricultores familiares estão frequentemente sujeitas a problemas de estresse ambiental, dentre os quais a baixa fertilidade dos solos, principalmente de P, que limitam a produção agrícola no Brasil e em outros países tropicais. O P, faz parte do ATP, um componente indispensável na transferência de energia celular, na respiração e na fotossíntese das plantas, é elemento chave em processos metabólicos e ativação enzimática, e participa ainda da formação de compostos bioquímicos como ácidos nucleicos e fosfolípidos, dos quais depende todo o funcionamento da planta. É considerado um dos macronutrientes essenciais menos prontamente disponível às plantas. A deficiência de P acarreta alterações na morfologia e fisiologia da planta, no transporte e na utilização interna de outros nutrientes.

A principal forma de suprimento de P nos solos brasileiros tem sido o uso de fertilizantes. Devido à alta capacidade de adsorção de P nos solos argilosos,

altas doses de adubos fosfatados são necessárias para obtenção de altas produtividades. Para contornar o problema dos custos dos fosfatos solúveis obtidos pelos processos convencionais de solubilização, fontes alternativas de suprimento de P tem sido estudadas (HARGER et al., 2007). Entretanto, mesmo com a utilização de fontes alternativas, altas doses de P são requeridas durante o ciclo da maioria das culturas principalmente em solos de cerrado. Além disso, estimativas demonstram que nas próximas décadas o preço dos adubos fosfatados devem crescer, pois as reservas de P mais facilmente exploráveis poderão se esgotar ainda neste século (VANCE; UHDE-STONE; ALLAN, 2003; MURREL; FIXEN, 2006; OELKERS; VALSAMI, 2008).

Aumentar a eficiência com a qual P é usado em sistemas agrícolas é, portanto, fundamental para a produção sustentável de alimentos. Nesse sentido, pesquisas que visem desenvolver ou identificar genótipos que tenham maior capacidade de absorção de fósforo no solo (eficiência de aquisição do P – EAP) e de aumento de produtividade ou de biomassa por unidade de P absorvido (eficiência de utilização interna do P – EUPI) tornam-se primordial para a manutenção da sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

Como grande parte dos agricultores familiares utilizam poucos insumos externos à propriedade, algumas variedades locais de milho destacam-se por apresentar uma ampla adaptação a ambientes rústicos de cultivo, sendo importantes fontes de genes de tolerância/resistência a estresses abióticos e bióticos. Nesse sentido, a caracterização do germoplasma pode estimular a sua utilização e contribuir com a identificação de variedades eficientes no uso do P. Portanto, o presente projeto tem como objetivos: i) avaliar o desempenho produtivo e determinar a eficiência de aquisição e utilização de P em variedades locais de milho no Paraná, Brasil, e ii) classificar as variedades locais como base na sua performance (produtividade) em baixo (eficiente *versus* ineficiente) e alto (responsivo *versus* não responsivo) suplemento de P.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 EVOLUÇÃO E DOMESTICAÇÃO DA CULTURA DO MILHO

Evidências revelam que o milho foi domesticado entre 7.000 a 10.000 anos atrás (DOEBLEY et al. 1994; WHITE e DOEBLEY, 1998) pelos americanos nativos, no qual, potencializaram as forças da evolução natural, transformando o milho no principal cultivo para civilizações como os astecas, maias e incas (GALINAT, 1992; MACHADO e PATERNIANI, 1998; PATERNIANI e CAMPOS, 1999). Vestígios de espigas e de polén de milho foram encontrados em Guilá Naquitz, no vale Tehuacán, no México e concluíram que a data em que se deu início ao cultivo do milho é de 5.400 anos antes de Cristo (PIPERNO e FLANERRY, 2001). Entretanto, essas informações são insuficientes para indicar o local correto da domesticação da espécie e ainda, se está começou em somente um local ou em vários locais distintos (WIETHOLTER, 2005)

Inicialmente acreditava-se que o milho era um cereal diploide e que teria evoluído por meio de seleção e por meio de recombinação de genótipos (MANGELSDORF, 1974; GALINAT, 1977; GOODMAN, 1978). Entretanto existem evidências que o milho possui origem alotetraploide, tendo um número básico de cromossomos igual à cinco (MOLINA et al., 1992; POGGIO et al., 1997; WHITE e DOEBLEY, 1998).

Este cereal é classificado como sendo uma gramínea pertencente à família Poaceae, tribo *Maydeae*, gênero *Zea* e espécie *Zea mays*. É uma espécie monóica, alógama, protândrica e diclina (TAIZ e ZEIGER, 2004).

Várias hipóteses têm sido propostas com o intuito de explicar a origem do milho, entretanto, a teoria mais consistente é a que relaciona a ascendência do milho à planta chamada teosinte, uma gramínea com várias espigas sem sabugo que pode cruzar naturalmente com o milho, produzindo descendentes férteis (GALINAT, 1995). Existem fortes evidências genéticas e citogenéticas de que milho e teosinto são aparentados, como a existência de pareamento cromossômico durante a meiose de haploides, a associação secundária de bivalentes e a distribuição tridimensional em metáfases somáticas; onde os cromossomos formam quatro grupos de cinco cromossomos cada (POGGIO et al., 2000).

A origem do milho não foi completamente elucidada, porém existem trabalhos indicando que seu genitor foi *Zea mays* ssp. *mexicana* ou *Zea mays* ssp.

parviglumis, conhecidos como teosintes (GALINAT, 1977; GALINAT, 1992; WHITE e DOEBLEY, 1998; PAABO, 1999; PATERNIANI e CAMPOS, 1999, TAKAHASHI et al., 1999; WANG et al, 1999; PIPERNO e FLANNERY, 2001).

Essas espécies são suspeitas de originarem a planta de milho devido a características em comum, como o número de cromossomos ($2n=20$) e também por serem capazes de se cruzar formando descendente F_1 (GOODMAN, 1995). A existência de um gene denominado *Teosinte crossing barrier 1* (*Tcb1*), os quais causam restrição as compatibilidades nos cruzamentos entre milho e teosinte foram observadas por Evans e Kermicle (2001). Já Terra (2004) observou barreiras em nível genético entre milho e teosinte, o que impossibilitou a formação da geração F_2 , portanto, quando os descendentes F_1 é retrocruzada ocorre à formação de descendentes férteis.

Outras teorias indicam que a espécie genitora do milho tenha sido extinta. Outra, ainda que o milho cultivado teria origens múltiplas e que, após a sua formação, tenha passado por inúmeras alterações gênicas, tornando impossível uma correlação positiva da ancestralidade com qualquer espécie próxima (TAKAHASHI et al., 1999; POGGIO et al., 2000).

Kidwell (2002), diz que 60% do genoma do milho é constituídos por elementos transponíveis, sendo caracterizados por componentes móveis do genoma e apresentando a habilidade de produzir diversos e novos rearranjos cromossomais, tal como, deleções, duplicações, inversões e translocações recíprocas (ZHANG e PETERSON, 1999), que pode ter contribuído significativamente para a intensa diferenciação do milho em relação a seus genitores originais (WHITE e DOEBLEY, 1998). Essa pode ser uma das explicações para a última teoria abordada no parágrafo anterior por estar relacionada com a imensa presença de elementos transponíveis no genoma da cultura do milho.

Segundo Paterniani e Campos (1999) mesmo que existam incertezas relacionadas à origem do milho, uma coisa é dada como certa, a espécie é um cereal essencialmente americano (com origem no México), pois é nas Américas que encontramos seus parentes silvestres mais próximos os quais incluem diversas espécies de Teosintes e *Tripsacum*.

2.2 CULTURA DO MILHO

2.2.1 Aspectos Gerais

Com centro de origem entre México e América Central, o cultivo do milho foi difundido para diversas regiões do mundo com diferentes objetivos (USDA, 2015). É o cereal mais plantado no mundo, tendo o décimo maior volume financeiro do agronegócio (FAO, 2015).

De acordo com o relatório do USDA, no ciclo 2014/15 a produção mundial foi de 1.001,74 bilhões de toneladas de milho, e 987,11 milhões de toneladas é esperado para temporada 2015/16. O Brasil ocupa a terceira posição no ranking, atrás somente dos Estados Unidos da América e da China, com produção de 82 milhões na safra 2014/15 e 77 milhões de toneladas na projeção da safra 2015/16, de acordo com o órgão oficial norte-americano (USDA, 2015). A redução na área de milho é reflexo da desvalorização do preço do cereal perante as culturas de soja e feijão e a falta de perspectiva positiva em médio prazo tem motivado a redução em regiões consideradas tradicionais e que não tem opção de plantio de 2º safra.

A produção de milho, no Brasil, tem-se caracterizado pela divisão em duas épocas de cultivo. A semeadura de verão, ou primeira safra, é realizado na época tradicional, durante o período chuvoso, que varia entre fim de agosto, na região Sul, até os meses de outubro/novembro, no Sudeste e Centro-oeste. No Nordeste, esse período ocorre no início do ano. A safrinha, ou segunda safra compreende a semeadura nos meses de janeiro e Março coincidindo com o final do verão e início do inverno nas regiões Sul-Sudeste e Centro-Oeste (CRUZ, 2011).

Embora o Brasil ocupe a terceira posição em volume de produção de milho no mundo, os níveis de produtividade, em torno de $5,36 \text{ t ha}^{-1}$, são baixos quando comparados aos dois maiores produtores mundiais, Estados Unidos ($10,73 \text{ t ha}^{-1}$) e China ($5,82 \text{ t ha}^{-1}$) (USDA, 2015). Isso se deve principalmente pela diferença de manejo da cultura e no emprego de novas tecnologias nas distintas regiões do país, além do fato de existir um grande número de pequenos produtores cultivando o cereal para subsistência. Esse tipo de diferença no manejo proporciona redução da produtividade média do país. Um exemplo claro é a diferença de produtividade entre o Estado do Paraná ($8,58 \text{ t ha}^{-1}$) e o Estado do Rio Grande do Norte ($0,287 \text{ t ha}^{-1}$), na safra 2014/15 (CONAB, 2015).

2.2.2 Produção Milho – Agricultura Familiar

A agricultura familiar brasileira é constituída por pequenos produtores rurais no Brasil, sendo que estes são os maiores responsáveis pela produção de grande parte dos alimentos que abastecem a mesa dos brasileiros, como por exemplo, milho, feijão, arroz, hortaliças, mandioca e pequenos e médios animais. No entanto, a maioria destes agricultores empregam um baixo nível tecnológico e estão em áreas que tem problemas como baixa fertilidade de solo, acidez, erosão, entre outros que dificultam adequado manejo fitotécnico das culturas trabalhadas (CARPENTIERI-PÍPOLO et al., 2010).

O cultivo do milho se destaca entre as atividades desses agricultores, uma vez que o grão é utilizado em maior parte na alimentação animal. Como grande parte dos agricultores familiares utilizam baixos níveis tecnológicos, algumas variedades locais destacam-se por apresentar uma ampla adaptação a ambientes rústicos de cultivo, sendo importantes fontes de genes de tolerância/resistência a estresses abióticos e bióticos. Segundo Ceccarelli et al (1994) o uso dessas variedades locais pode servir como fonte genética para o melhoramento, devido a sua adaptabilidade a locais no qual são empregadas.

O uso de variedades locais, conferem baixo custo e constitui uma alternativa para a sustentabilidades dos pequenos produtores rurais, além do que, o melhoramento desses materiais pode ser realizado dentro da propriedade pelos próprios agricultores (ABREU et al., 2007).

2.3 DIVERSIDADE GENÉTICA DO MILHO

A ampla variabilidade genética do milho vem permitindo que este cereal se adapte aos mais variados ambientes, desde o extremo norte (58° Norte) ao extremo sul (40° Sul) e altitudes (abaixo do nível do mar – planícies do Cáspio até 3.800 m) (HALLAUER e MIRANDA FILHO, 1988; PATERNIANI e CAMPOS, 1999). O germoplasma de milho representa um enorme reservatório de variações genéticas naturais, sendo descritas aproximadamente 250 raças. No Brasil são encontradas cerca de quatro tipos de raças, denominadas indígenas, comerciais antigas, comerciais recentes e raças exóticas (EMBRAPA, 2008).

Os primeiros exploradores apresentam descrições de diferentes tipos de milho cultivados por todo o globo. As primeiras descrições sugeriam que os grãos de milho eram coloridos e farináceos e com endosperma branco, seguidas de muitas outras, desde grãos amarelos, alaranjados, até de endosperma duro e com variações de preto, vermelho ou roxo. Sabe-se que o milho varia de duro a dentado e que o amarelo é a coloração mais comum (GOODMAN, 1995).

A variação genética presente no milho é visualizada nas inúmeras raças existentes. Segundo Galinat (1992), pela ampla adaptação geográfica e distribuição de milho pelos agricultores, este se diferenciou em várias raças. Harlan (1992) define que raças são tipos diferentes de populações de indivíduos dentro de uma mesma espécie, ou seja, as raças apresentam características particulares e normalmente apresentam nomes locais. Estas características podem estar relacionadas ao período de maturação (precoce ou tardio), características da espiga, fisiologia, genética e até mesmo ao seu uso esperado (WELLHAUSEN et al., 1951).

Com a descoberta do Brasil, verificou-se a existência de diversas tribos indígenas que cultivavam milho. Com o tempo, descobriu-se que cada tribo mantinha em cultivos tipos próprios deste cereal, que eram resultados de longos anos de seleção, objetivando atender às preferências de cada tribo em relação ao tipo de espiga, textura e coloração dos grãos utilizados para o preparo de alimentos e para fins cerimoniais. Com a colonização do homem branco, este passou a cultivar o milho cultivado pelos índios Tupi e Guarani, os chamados Cateto e Cristal. Posteriormente, cultivares norte americanas foram introduzidas no Brasil, ocorrendo hibridações entre as raças locais, originando outros tipos de milho (PATERNIANI, 1998).

A coleção de germoplasma de milho do Brasil é uma das maiores do mundo, conservada nos bancos de germoplasma da Embrapa e do Cimmyt (ABADIE et al. 2000). O Banco Ativo de Germoplasma de Milho está localizado na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG, onde atualmente encontram-se armazenados 3.816 acessos, sendo 81,3% de variedades autóctones, 7,6% de acessos introduzidos de outros países, 5,8% de variedades melhoradas e 5,3% de compostos raciais formados a partir das variedades autóctones (ANDRADE et al., 2008).

2.3.1 Importância das Variedades Locais

As variedades locais, também conhecidas como raças crioulas ou *landraces*, foram originadas, na sua grande maioria, pela ação direta de sucessivas gerações de agricultores familiares, por meio de cruzamentos e/ou pela seleção intrapopulacional de plantas mais adaptadas aos seus sistemas de cultivo (FERREIRA et al., 2009). Essas variedades são importantes por apresentarem elevado potencial de adaptação às condições ambientais específicas (PATERNIANI et al., 2000). Assim, por apresentarem grande variabilidade genética, podem ser utilizadas na busca de genes que conferem tolerância e/ou resistência a fatores bióticos e abióticos ou, ainda, no desenvolvimento de novos cultivares com características alimentares mais interessantes.

O resgate da diversidade das sementes tradicionais é uma iniciativa de grande importância, pois é através do conhecimento, trabalho e da luta dos agricultores que essas variedades não serão perdidas e garantindo a sustentabilidade dos agroecossistemas e a preservação da agricultura familiar (WAGATSUMA, et al., 2007).

Segundo a Lei nº 10.771, de 05 de agosto de 2003, conhecida como “nova lei de sementes e mudas”, define que as variedades locais, tradicionais ou crioulas, são variedades desenvolvidas, adaptadas ou produzidas por agricultores familiares, assentados da reforma agrária ou indígenas, com características fenotípicas bem determinadas e reconhecidas pelas respectivas comunidades e que, a critério do Mapa, considerados também os descritores socioculturais e ambientais, não se caracterizem como substancialmente semelhantes às cultivares comerciais.

A versão original submetida ao Congresso Nacional, mesmo apresentando aspectos de reconhecimento das sementes crioulas, não previa nenhuma abertura legal para o emprego das variedades crioulas nos programas governamentais, movimentos sociais ou ONGs, então através da Articulação Nacional da Agroecologia (ANA), a legislação foi “influenciada” para o reconhecimento oficial dessas sementes, permitindo assim sua produção, comercialização e uso.

Além de servirem como fonte de variabilidade genética em programas de melhoramento, as variedades crioulas também são cultivadas pelos agricultores de pequenas propriedades que não querem ou não podem comprar

sementes híbridas devido ao seu alto custo. Ao contrário das sementes híbridas, que necessitam ser adquiridas anualmente, sementes de variedades crioulas são produzidas pelos próprios agricultores, os quais plantam no ano seguinte as melhores sementes obtidas no ano anterior. Além disso, muitos agricultores realizam a troca de sementes entre si.

2.4 FÓSFORO

2.4.1 Comportamento do Fósforo no Solo

O fósforo do solo é dividido em dois grandes grupos, dependendo da natureza do composto a que está ligado: o fósforo inorgânico, forma na qual as plantas são capazes de absorver, e fósforo orgânico, que deve ser mineralizado para que as plantas possam absorvê-lo (DECHEN e NACHTIGALL, 2007).

A fração inorgânica pode, por sua vez, ser separada em duas partes: o fósforo dos minerais primários e o fósforo adsorvido. Em condições tropicais, a maior parte do fósforo inorgânico se encontra adsorvida pelo solo e não disponível para as plantas (COLLINS; TARDIEU; TUBEROSA, 2008). Uma pequena quantidade, normalmente menor que $1,00 \text{ mg L}^{-1}$, encontra-se na solução, em equilíbrio com o P adsorvido pelos colóides do solo (HAVLIN et al., 1999). A adsorção do P depende, principalmente, do pH (DECHEN; NACHTIGALL, 2007), sendo a forma predominante nos solos com pH abaixo de 6,0, enquanto que em solo alcalinos (pH > 6,0) está mais prontamente disponível na forma HPO_4^{-2} (NOVAIS et al., 2007).

A concentração de P na solução do solo é extremamente baixa, variando de $0,1$ a $1,0 \text{ kg/ha}^{-1}$, já que o P é fortemente removido da solução, tanto por precipitação quanto por adsorção por outros compostos (FURTINI NETO et al., 2010). Segundo Dechen e Nachtigall (2007), em solos ácidos, como os do cerrado brasileiro, há altas concentrações de ferro (Fe) e alumínio (Al) em sua solução, o que pode provocar a precipitação do fósforo inorgânico como fosfatos de Fe e de Al. Com o aumento do pH, a carga superficial de partículas do solo torna-se cada vez mais negativa, aumentando a repulsão (menor adsorção) entre o fosfato e a superfície adsorvente. Contudo, nos solos com pH muito alcalinos, quase todo o fósforo inorgânico se encontra na forma de PO_4^{-3} , forma não absorvida pelas plantas, ou precipitado como hidroxiapatita ou como carbonatoapatita.

A fração do fósforo orgânico pode constituir de 5% a 80% do P total do solo, sendo que as principais formas já identificadas são os fosfatos de inositol (que compõem de 10% a 80% do fósforo orgânico total), além dos fosfolipídios (0,5% a 7%), os ácidos nucleicos (~3%) e outros ésteres-fosfato (>5%). O fósforo orgânico é originado a partir dos resíduos vegetais adicionados ao solo, dos tecidos microbianos e dos produtos de sua decomposição (SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008).

A estabilidade destes compostos depende de sua natureza e de sua interação com a fração mineral, pois eles são utilizados como fonte de carbono pelos microorganismos, cujos resultados são sua mineralização e disponibilização do fósforo para as plantas (PARENTONI; MENDES; GUIMARÃES, 2011).

Em solos poucos intemperizados, o P encontra-se predominante em minerais primários, principalmente como fluorapatita, já nos solos moderadamente intemperizados, a maior porcentagem do P encontra-se na forma orgânica (SANTOS et al., 2008). Em solos altamente intemperizados, as formas inorgânicas encontram-se ligadas com alta energia à fração mineral e as formas orgânicas estabilizadas físicas e quimicamente (NOVAIS; SMYTH, 1999).

O termo lábil (comumente disponível) é caracterizado por aquele P fracamente retido no solo e tem a função de manter o equilíbrio com a solução do solo, é a soma das frações solúvel e fracamente adsorvida. O P não-lábil é aquele que está fortemente retido no solo, não podendo passar para a solução do solo. O P disponível pode ser definido como aproveitável pela planta (MALAVOLTA, 2006).

A planta, como dreno, tem o solo como sua fonte principal de nutrientes minerais. A fertilização viabiliza a produtividade das plantas no caso de deficiência de nutrientes no solo, satisfazendo a planta, portanto para a contínua produção desejada à necessidade de manutenção do suprimento (fonte) de nutrientes em quantidades adequadas para a planta (NOVAIS et al., 2007)

Alguns compostos, como ácidos nucleicos e fosfolipídios com ligação diéster, têm estrutura química que facilita sua decomposição, sendo facilmente mineralizáveis e, por isso, as quantidades armazenadas no solo são pequenas. Já os fosfatos monoésteres, como os fosfatos de inositol, apresentam alta energia de ligação e alta carga residual, o que lhes confere facilidade de interação com os constituintes inorgânicos do solo. Isso dificulta a mineralização e favorece o

acúmulo no solo, sendo, então, de baixa disponibilidade para as plantas (SANTOS; GATIBONI; KAMINSKI, 2008).

Manter a matéria orgânica do solo em níveis adequados é importante para o bom desenvolvimento da cultura. A mineralização da matéria orgânica resulta em liberação lenta de P para a solução do solo, fazendo com que o P esteja sempre disponível para que a planta possa absorvê-lo. Em solo sob plantio direto no Brasil, tem sido verificado maior relação entre fração de fósforo na forma orgânica e inorgânica do que aquela observada no plantio convencional (ANGHINONI, 2006).

2.4.2 Importância do Fósforo Para o Desenvolvimento das Plantas

O fósforo é um dos seis macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) essenciais para o desenvolvimento das plantas e constitui cerca de 20 g kg⁻¹ da massa de matéria seca das plantas e participa de um grande número de compostos essenciais. É componente de macromoléculas, sendo um constituinte primário do ácido desoxirribonucleico (DNA) e trifosfato de adenosina (ATP), que são responsáveis pela codificação das instruções genéticas e transferência de energia intracelular dentro das células vivas (SUH e YEE, 2011; KERBAUY, 2004; TAIZ e ZEIGER, 2004).

A absorção de P pelas plantas ocorre principalmente na forma de H₂PO₄, é realizada contra um gradiente de concentração através da membrana plasmática, sendo absorvido através de um transportador simporte com cátions, principalmente H⁺, com gasto de energia gerado pela ATPase associada à membrana plasmática (RAGHOTHAMA e KARTHIKEYAN, 2005).

Segundo Jain et al., (2007), plantas bem supridas de P armazenam o excesso do nutriente celular (85 a 95%) no vacúolo. Este P não-metabólico é utilizado para manter os níveis de P no citoplasma adequados.

Quando há redução no suprimento de P para a planta, o nutriente é remobilizado e redistribuído principalmente das folhas velhas e senescentes para as folhas mais novas e/ou outros drenos ativos. Como consequência desta redistribuição, os sintomas de deficiência iniciais ocorrem nas folhas mais velhas, isso é possível, pois o P possui alta mobilidade no floema das plantas (FAQUIN, 2005; EPSTEIN; BLOOM, 2006). Na fase reprodutiva o P é redistribuído para os frutos e sementes, sendo assim, caso ocorra deficiência na fase final de

crescimento, há efeito negativo tanto no desenvolvimento de sementes como maturação da cultura e, conseqüentemente, redução da produtividade (HAVLIN et al., 2005; HYLAND et al. 2005).

Os sintomas de deficiência de P são caracterizados principalmente pela redução no crescimento da planta e coloração verde escura das folhas. Com o agravamento da deficiência, o verde escuro muda para verde acinzentado ao verde azulado com brilho metálico (HAVLIN et al., 2005, MALAVOLTA, 2006).

2.4.3 Melhoramento Para Eficiência no Uso do Fósforo

Ao iniciar um programa de melhoramento genético, o primeiro desafio é conhecer o controle genético, quantificar a herdabilidade da variabilidade fenotípica, além das ações gênicas envolvidas na herança dos caracteres de interesse (DURÃES et al., 2004; ROSADO et al., 2012; NASCIMENTO et al., 2014). O conhecimento destas características auxiliam o melhorista na escolha dos métodos de melhoramento mais adequados (SILVA, 2011).

No âmbito do melhoramento para eficiência do uso de P, tem-se observado que se trate de uma atividade complexa, devido à herança desta característica ser, em geral, poligênica e com alta influência do ambiente (MENDES, 2013; FRITSCHÉ-NETO et al., 2011).

De modo geral, há um grande potencial para o melhoramento de plantas visando à tolerância a certos tipos de estresse nutricional. Na maioria das espécies cultivadas há variações na quantidade de absorção e utilização dos nutrientes, ou a tolerância a toxicidade mineral. Dessa forma é possível, identificar e selecionar genótipos eficientes para uso em locais com baixo ou adequado de nível de nutrientes, além de causar redução dos custos e impactos ambientais (CLARK e DUNCAN, 1991; LIMA FILHO, 1999; BANZIGER e COOPER, 2001).

Um dos principais entraves para o cultivo do milho são os estresses abióticos (déficit hídrico, temperatura, salinidade, deficiência de nutrientes, toxidez por alumínio, entre outros) (HAMMOND et al., 2004; BENNETEEN e HAKE, 2009).

Aumentar a eficiência com a qual P é explorado em sistemas agrícolas é, portanto, fundamental para a produção sustentável de alimentos (ELSER, 2012; ROSE et al., 2013). Nesse sentido, os objetivos do melhoramento consistirão em desenvolver plantas que tenham maior capacidade de absorção de fosfato (eficiência de aquisição do P – EAP) e de aumento de produtividade ou de

biomassa por unidade de P absorvido (eficiência de utilização interna do P – EUIP) tornam-se primordiais para a manutenção da sustentabilidade dos sistemas agrícolas (VENEKLAAS et al., 2012).

A EAP pode ser determinada por diferenças morfológicas, fenológicas e/ou bioquímicas no sistema radicular das plantas, tais como desenvolvimento de raízes laterais e pêlos radiculares: na arquitetura radicular; na associação com microrganismos solubilizadores de fosfato; e produção de exudatos radiculares, tais como ânions orgânicos e enzimas fosfatases (WANG et al., 2010). Enquanto a EUP (eficiência de utilização de fósforo) é atribuída principalmente à eficiência de translocação e uso do P armazenado nas plantas, sendo que o P é transportado a partir de sítios metabolicamente inativos para sítios ativos em condições de baixa disponibilidade de nutriente (VENEKLAAS et al., 2012).

Segundo Ciarelli et al. (1998) alguns conceitos devem ser definidos para um total entendimento do processo de avaliação para eficiência no uso do fósforo. São vários os conceitos de eficiência e, em geral, são baseados nos processos pelos quais as plantas adquirem, translocam, acumulam e usam esse nutriente, para melhorar a produção de matéria seca e/ou grãos, em condições de baixo ou alto nível de nutriente.

Geralmente, o termo eficiência expressa à relação entre a produção obtida e o insumo aplicado, com isso, eficiência nutricional é a quantidade de matéria seca ou grãos produzida por unidade de nutriente aplicado (FAGERIA, 1998; VANCE et al., 2003).

Entretanto na literatura, eficiência nutricional pode ser definida de várias maneiras. De acordo com Graham (1984), eficiência nutricional pode ser definida como a produção relativa de um genótipo em solo deficiente em comparação com sua produção no nível ótimo de nutriente. Cooke (1987) define eficiência nutricional como o aumento de produtividade por unidade de nutriente aplicado. Para Israel e Rufty (1998), eficiência nutricional é a relação entre a biomassa total e a quantidade de nutriente absorvido.

A eficiência nutricional pode ser expressa e calculada de cinco maneiras diferentes; (i) eficiência agrônômica, que é a produção econômica obtida (grãos no caso de culturas anuais) por unidade de nutriente aplicado (MARANVILLE et al., 1980); (ii) a eficiência fisiológica, que é a produção biológica obtida (grãos + palha para culturas anuais) por unidade de nutriente acumulado (SIDDIQI; GLASS,

1981); (iii) eficiência na produção de grãos ou fibras, que é a produção de grãos ou fibras obtida por unidade de nutriente acumulado (CRASWELL; GODWIN, 1984); (iv) eficiência de recuperação, que é a quantidade de nutriente acumulado na planta por unidade de nutriente aplicado (FAGERIA, 1992); (v) eficiência de utilização, que é o produto das eficiências fisiológicas e recuperação, definido como a capacidade da planta em converter o elemento absorvido em produto agrícola de interesse comercial (FRANZINI, 2010).

A eficiência de absorção e utilização do P pela planta está relacionada com vários mecanismos internos e externos, sendo eles: aspectos da morfologia radicular, alterações químicas na rizosfera, alterações de características fisiológicas de cinética de absorção, alterações em processos bioquímicos, variabilidade genética e interações com microorganismos que habitam o solo (LYNCH, 2007; RAMAEKERS et al., 2010; RICHARDSON et al., 2011).

O uso eficiente do P é importante por três razões principais: (i) as reservas fosfáticas, do qual são produzidos os fertilizantes fosfatados, é um recurso natural finito, não renovável, por isso deve ser utilizado de forma eficiente, a fim de que maximize seu tempo de vida, (ii) há necessidade de manter e melhorar o teor de P de muitos solos, para que haja aumento na quantidade de alimento, fibras e bioenergia produzidos. Isto é particularmente importante para países em desenvolvimento, que necessitam aumentar a produção agrícola. Por último (iii), o fenômeno conhecido como eutrofização, excesso de fósforo derivado do solo e fertilizantes nas águas superficiais, provocando aumento excessivo de algas, diminuindo a qualidade da água e eventualmente alterações profundas do ecossistema (SYERS et al., 2008).

Atualmente, várias estratégias de melhoramento procuram selecionar plantas com melhor eficiência no uso de fosforo e/ou plantas mais responsivas ao uso de fertilizantes contendo P (WISSUWA et al., 2009). Tendo sido observados alguns exemplos bem sucedidos na literatura de melhoria de eficiência de utilização de fósforo (SHENOY e KALAGUDI, 2005; WISSUWA et al., 2009 e WANG et al., 2010).

Fageria e Baligar (1993) apresentaram uma forma de agrupar genótipos de acordo com sua eficiência. Esses autores utilizaram gráficos do tipo xy em que no eixo x, tem-se a eficiência, que é definida com produção sob baixo nível do nutriente (os genótipos são tidos como eficientes se produzirem acima da média

nesta condição); e no eixo y tem-se a resposta ao nutriente que é obtida pela expressão $[(PGA-PGB)/P(A-B)]$, em que PGA e PGB correspondem à produção de grãos nos ambientes com alta e baixa disponibilidade do nutriente, respectivamente e $P(A-B)$ é a diferença entre o nível alto e baixo do nutriente (FURTINI, 2008). Classificando então os genótipos como eficientes e/ou responsivos, de acordo com o quadrante em que se encontram (Figura 1).

Y	II Não eficientes e Responsivos	I Eficientes e Responsivos
	III Não eficientes e não responsivos	IV Eficientes e não responsivos X

Figura 1. Representação gráfica da eficiência e resposta ao nutriente, pela metodologia de Fageria e Baligar (1993).

Contudo, apenas com a visualização gráfica não é possível selecionar os melhores genótipos dentro de cada grupo, ou seja, o uso de um índice em que se reuniram a eficiência e a resposta em uma única análise estatística se faz necessária, pois facilita a seleção de genótipos pelos dois atributos simultaneamente. Mesmo que a literatura mostre vários índices de eficiência e resposta ao P (MENDES et al., 2011; PARENTONI et al., 2010; PARENTONI; SOUZA, 2008), não há um consenso sobre qual o método mais adequado.

Vasconcellos et al. (2000), avaliando a eficiência de genótipos de milho quanto ao uso de P, utilizaram como variáveis a produção de grãos (g/planta), a eficiência nutricional (kg grãos/kg de P) e a eficiência de absorção (mg P acumulado/planta). Os autores constataram que nem sempre a eficiência nutricional é um índice adequado para ser usado como critério de seleção, já que, nesse caso, os melhores resultados foram obtidos no nível baixo de P. Nesse estudo, a eficiência

de absorção discriminou melhor os materiais, resultado, também obtido por Furlani et al. (1985) para a cultura do milho.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Quatorze variedades locais e quatro variedades sintéticas de milho (Tabela 1) oriundas do programa de melhoramento da Universidade Estadual de Londrina foram avaliadas em dois ambientes contrastante de P (com e sem aplicação de P no sulco de semeadura), em dois locais do Estado do Paraná, descritos a seguir:

- i) Londrina – Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina, localizada na Região Norte do Estado (coordenadas geográficas: 23°20'32''S e 51°12'32''W), com altitude média de 550m (IAPAR, 2014). O solo do local é caracterizado como Latossolo Vermelho eutrófico (LV) (EMBRAPA, 2006), o clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Cfa, (subtropical úmido);
- ii) Maringá – Fazenda Experimental de Iguatemi da Universidade Estadual de Maringá, localizada na Região Norte do Estado (coordenadas geográficas: 23°25'S e 51°57'W), com altitude média de 550m (IAPAR, 2014). O solo do local é caracterizado como Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2006), o clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Cfa, (subtropical úmido).

Tabela 1. Variedades de milho avaliadas nas áreas experimentais de Londrina e Maringá - PR, safra 2014/2015.

<i>CULTIVAR</i>	<i>TIPO</i>
BRANCO ANTIGO	VARIEDADE LOCAL
CAIANO	VARIEDADE LOCAL
AZTECÃO	VARIEDADE LOCAL
MAIA	VARIEDADE LOCAL
PALHA ROXA	VARIEDADE LOCAL
AMARELÃO	VARIEDADE LOCAL
CARIOCA	VARIEDADE LOCAL
BRANCO GELINSKI	VARIEDADE LOCAL
CUNHA	VARIEDADE LOCAL
AL30	VARIEDADE COMERCIAL
14 VARIEDADES	VARIEDADE LOCAL
PLANALTO	VARIEDADE LOCAL
CAIANO 2	VARIEDADE LOCAL
AMARELÃO 2	VARIEDADE LOCAL
ST0509	VARIEDADE SINTÉTICA
ST2109	VARIEDADE SINTÉTICA
ST1309	VARIEDADE SINTÉTICA
ST0409	VARIEDADE SINTÉTICA

Os experimentos foram semeados manualmente no dia 13 de Outubro de 2014 em Londrina-PR, e no dia 20 de Dezembro de 2014 em Maringá-PR, em área previamente preparada (gradagem pesada e gradagem leve). O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial, sendo a unidade experimental constituída por duas linhas de cinco metros, com espaçamento entre plantas de 0,90 x 0,20m, que resultou no estande estimado de 55.555 plantas ha⁻¹.

Para a caracterização dos ambientes de alta e baixa disponibilidade de P, amostras de solo foram retiradas na camada de 0-20 cm em cada local para análise química (Tabela 2).

A adubação de semeadura para a condição de alta disponibilidade de P foi realizada com aplicação de 400 Kg ha⁻¹ do formulado 8-28-16 (32 Kg ha⁻¹ de N, 112 Kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 64 Kg ha⁻¹ de K₂O). Para a condição de baixa disponibilidade de P, a adubação de semeadura foi realizada com aplicação de 66 Kg ha⁻¹ de uréia e 150 Kg ha⁻¹ do formulado 00-00-20 (30 Kg ha⁻¹ de N e 64 Kg ha⁻¹ de K₂O). A adubação de cobertura foi realizada nos dois ambientes (contrastantes de P), quando as plantas encontram-se no estágio de V6, sendo aplicados 200 Kg ha⁻¹ de ureia (90 Kg ha⁻¹ de N).

Tabela 2. Caracterização química do solo das áreas experimentais de Londrina e Maringá - PR, na profundidade de 0-20 cm, Safra 2014/2015.

Local – Londrina									
Prof.	pH		H+Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	CTC	V	P
cm	CaCl ₂	H ₂ O						%	mg dm ⁻³
0-20	5,5	5,9	4,28	5,30	2,20	1,60	13,38	68,01	8,55
Local - Maringá									
Prof.	pH		H+Al	Ca ²	Mg ²	K+	CTC	V	P
cm	CaCl ₂	H ₂ O						%	mg dm ⁻³
0-20	4,7	5,2	4,44	2,65	0,77	0,33	8,19	45,77	19,21

A capacidade de suprimento de P de cada ambiente foi obtida considerando-se a quantidade de P no solo na camada de 0 a 20 cm, fornecida pela análise de solo (P disponível nas camadas de 0-20 cm) mais a quantidade de P suprida via fertilizantes. Os demais tratos culturais foram realizados de acordo com recomendado para a cultura seguindo as indicações técnicas da Circular Técnica 78 (Nutrição e Adubação no Milho) (COELHO, 2006).

Os dados referentes às médias de precipitação pluvial e temperaturas máximas e mínimas, observadas no período experimental, foram obtidos junto à estação meteorológica situada na sede do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) em Londrina, PR. (Figura 2).

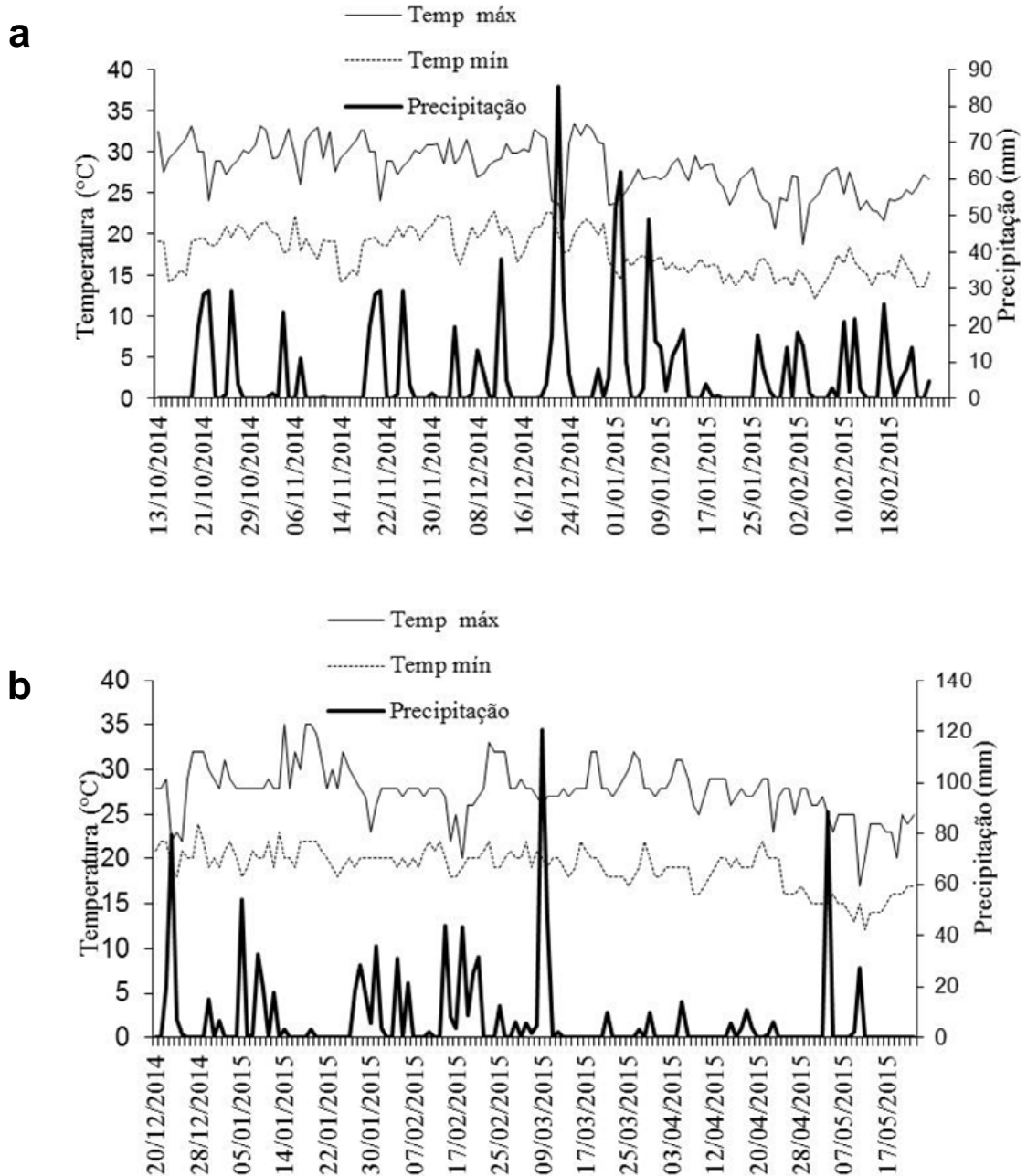


Figura 2. Dados diários de temperaturas máximas e mínimas e de precipitação pluvial durante o período de condução do experimento em Londrina (a) e Maringá (b) na safra de 2014/2015.

Foram avaliadas as seguintes características fitotécnicas da cultura:

- Altura de plantas - determinada em metros e efetuada no período de pré-colheita por meio de mensuração do comprimento do colmo (da superfície do solo até a base da inflorescência masculina), sendo avaliadas dez plantas tomadas ao acaso por parcela.
- Altura de inserção de espiga - expressa em metros, e determinada por meio da mensuração da distância entre a superfície do solo até a inserção da espiga principal. Nesta avaliação foram consideradas as mesmas dez plantas utilizadas na avaliação de altura de plantas.
- Número de espigas por planta - determinada pela contagem do número de espigas colhidas na área útil da parcela. O número obtido foi dividido pelo número de plantas, obtendo-se assim, o número médio de espigas por planta. Foram consideradas apenas espigas que apresentaram grãos formados.
- Rendimento de grãos - obtida a partir da debulha e pesagem dos grãos oriundos de todas as espigas colhidas na área útil ($7,2 \text{ m}^2$) das parcelas experimentais (kg parcela^{-1}) e, em seguida, convertida para kg ha^{-1} após ser corrigida para umidade de 13%.
- Massa seca de Palhada (MSPa) - No momento da colheita, cinco plantas, representativas de cada parcela, foram cortadas rente ao solo. Posteriormente, foi estimada a massa das plantas por parcela, considerando o estande. De cada parcela, foram retiradas amostras representativas de grãos e de palhada. As amostras foram secas em estufas com ventilação forçada, a 65°C , até peso constante, para a determinação da porcentagem de matéria seca de grãos e de palhada.
- Teor de fósforo nos grãos (TPG) E Teor de fósforo na palhada (TPPa) – as amostras foram moídas e homogeneizadas, e o teor foi obtido pelo método espectrofotométrico do azul de molibdênio, no laboratório de solos da UEL (SILVA, 1999).

Com base nos dados obtidos em campo e em laboratório foi possível obter as seguintes características para o ambiente sob alto e baixo P:

- Teor de P nos grãos (TPG), em g kg^{-1} ;
- Teor de P na palhada (TPPa), em g kg^{-1} ;
- Massa seca de grãos (MSG), em kg ha^{-1} , obtida pelo produto entre PG e porcentagem de matéria seca de grãos;

- Massa seca de palhada (MSPa), em Kg ha⁻¹, obtido entre MFPa e porcentagem de matéria seca de palhada;
- Quantidade de P nos grãos (QPG), Kg ha⁻¹, obtida pelo produto entre MSG e porcentagem de P na MSG;
- Quantidade de P na palhada (QPPa), Kg ha⁻¹, obtida pelo produto entre MSPa e porcentagem de P na MSPa;
- Quantidade total de P na parte aérea (PTOT), Kg ha⁻¹, obtida pela expressão QPG+QPPa;
- Quociente de utilização de P (Q_{util}), equivale a unidade de massa seca de grãos por unidade de P nos grãos, expresso em Kg Kg⁻¹; e
- Índice de colheita de P (I_{cp}), que equivale a unidade de P nos grãos por unidade de P na parte aérea, expresso em Kg Kg⁻¹.

Para determinar a eficiência no uso de P, foram utilizados os índices de eficiência propostos por Moll et al. (1981). Nesse estudo, a quantidade de fósforo no solo disponível para a planta em cada ambiente foi obtida pelos resultados da análise de solo e somada à quantidade de P aplicado. Foram definido três tipos de eficiência do nutriente, de acordo com Parentoni et al. 2011:

- Eficiência de aquisição (E_{aq}) – definida como a capacidade do genótipo de absorver o P disponível no solo, correspondendo a Kg de P na planta (PTOT) por kg de P disponível no solo, obtida pela expressão:

$$E_{AQ} = \frac{PTOT}{P_s}$$

- Eficiência de utilização interna (E_{util}) – definida como a capacidade do genótipo de utilizar o P absorvido pela planta para produzir grãos, correspondendo a Kg de massa seca de grãos produzidos (MSG), por kg de P na planta, obtida pela expressão:

$$E_{UTIL} = \frac{MSG}{PTOT}$$

- Eficiência de uso de P (E_{uso}) – definida como o produto das eficiências de aquisição e utilização interna de P, correspondendo à massa seca de grãos (em Kg) produzidos por Kg de P disponível no solo, obtida pela expressão:

$$E_{USO} = E_{AQ} \times E_{UTIL}$$

Os dados foram submetidos à análise de variância individual, ou seja, para cada experimento, seguindo o modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + b_j + e_{ij}$$

em que:

Y_{ij} = valor observado da i-ésima genótipo na j-ésima repetição;

μ = média geral;

t_i = efeito fixo do i-ésimo genótipo ($i = 1, 2, \dots, 18$)

b_j = efeito aleatório da j-ésimo bloco ($j = 1, 2, 3$);

e_{ij} = erro experimental

As esperanças dos quadrados médios das fontes de variação relativas ao modelo estatístico usado estão presentes na Tabela 3.

Tabela 3. Esquema da análise de variância para o delineamento de blocos ao acaso com as fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e esperança de quadrados médios (E(QM)).

FV	GL	QM	E(QM)
BLOCO	(B-1)	QMB	$\sigma^2 + g\phi b$
GENÓTIPOS	(G-1)	QMG	$\sigma^2 + h\phi g$
RESÍDUO	(G-1)(R-1)	QMR	σ^2
TOTAL	GR-1		

A análise de variância conjunta no mesmo local foi realizada obedecendo aos critérios de homogeneidade dos quadrados médios, onde a razão entre o maior e menor quadrado médio residual não foi superior a sete (GOMES, 1990). Para tanto considerou-se o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + E_j + GE_{ij} + B/E_{jk} + e_{ijk}$$

Em que:

μ : média geral dos experimentos;

G_i : efeito fixo do i-ésimo genótipo ($i = 1, 2, \dots, 18$);

E_j : efeito fixo do j-ésimo experimento ($j = 1, 2$);

GE_{ij} : efeito da interação do i-ésimo genótipo com o j-ésimo experimento;

B/E_{jk} : efeito do k-ésimo bloco dentro do j-ésimo experimento;

e_{ijk} : erro aleatório.

As esperanças dos quadrados médios das fontes de variação relativas ao modelo estatístico usado estão presentes na Tabela 4.

Tabela 4. Esquema da análise de variância conjunta para o delineamento de blocos ao acaso com as fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e esperança de quadrados médios (E(QM)).

FV	GL	QM	E(QM)
BLOCO/EXPERIMENTO	(B-1)E	QMB	$\sigma^2 + g\phi b/e$
GENÓTIPOS (G)	(G - 1)	QMG	$\sigma^2 + ah\phi g$
EXPERIMENTO (E)	(E - 1)	QME	$\sigma^2 + g\sigma^2 b/e + gb\phi e$
G x E	(G - 1) (E - 1)	QMGA	$\sigma^2 + r\phi g e$
RESÍDUO	(G-1)(B-1)E	QMR	σ^2
TOTAL	GEB-1		

A análise de variância conjunta considerando locais (Londrina e Maringá) foi realizada obedecendo aos critérios de homogeneidade dos quadrados médios, onde a razão entre o maior e menor quadrado médio residual não foi superior a sete (GOMES, 1990). Para tanto considerou-se o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijklkm} = \mu + G_i + E_j + L_k + GE_{ij} + GL_{ik} + EL_{jk} + GEL_{ijk} + (B/L)E_{jkm} + e_{ijklkm}$$

Em que:

μ : média geral dos experimentos;

G_i : efeito fixo do i-ésimo genótipo ($i = 1, 2, \dots, 18$);

E_j : efeito fixo do j-ésimo experimento ($j = 1, 2$);

L_k : efeito fixo do k-ésimo local ($k = 1, 2$);

GE_{ij} : efeito da interação do i-ésimo genótipo com o j-ésimo experimento;

GL_{ik} : efeito da interação do i-ésimo genótipo com o k-ésimo local;

EL_{jk} : efeito da interação do j-ésimo experimento com o k-ésimo local;

GEL_{ijk} : efeito da interação tripla do i-ésimo genótipo com j-ésimo experimento e do k-ésimo local;

$(B/L)E_{jkm}$: efeito do k-ésimo bloco dentro do k-ésimo local com j-ésimo experimento;

e_{ijklkm} : erro aleatório.

As esperanças dos quadrados médios das fontes de variação relativas ao modelo estatístico usado estão presentes na Tabela 5.

Tabela 5. Esquema da análise de variância conjunta com locais para o delineamento de blocos ao acaso com as fontes de variação (FV), graus de liberdade (GL) e esperança de quadrados médios (E(QM)).

FV	GL	QM	E(QM)
BLOCO/EXPERIMENTO/LOCAL	8	QMB	$\sigma^2 + g\sigma_b^2$
GENÓTIPOS (G)	17	QMG	$\sigma^2 + g\sigma_b^2 + rgl\theta_g$
EXPERIMENTOS (E)	1	QME	$\sigma^2 + g\sigma_b^2 + rgl\theta_e$
LOCAIS (L)	1	QML	$\sigma^2 + g\sigma_b^2 + rgl\theta_l$
G x E	17	QMGE	$\sigma^2 + rgl\theta_{ge}$
G x L	17	QMGL	$\sigma^2 + g\sigma_b^2 + rgl\theta_{gl}$
E x L	1	QMEL	$\sigma^2 + g\sigma_b^2 + rgl\theta_{el}$
G x E x L	17	QMSEL	$\sigma^2 + rgl\theta_{gel}$
RESÍDUO	136	QMR	σ^2
TOTAL			

Verificando diferenças entre os genótipos, experimentos e locais, os mesmos foram submetidos ao teste de agrupamento de médias Scott e Knott (1974). Para identificar os genótipos adequados aos ambientes, utilizou-se o método proposto por Fageria e Kluthcouski (1982), que classificam os genótipos quanto à eficiência no uso e resposta à aplicação do fósforo eficiência e resposta (ER). A utilização do nutriente foi definida pela média de rendimento de grãos em baixo nível. A resposta à utilização do nutriente foi obtida pela diferença entre o rendimento de grãos nos dois níveis dividida pela diferença entre as doses. Utilizou-se a representação gráfica no plano cartesiano para classificar as cultivares. No eixo das abscissas, encontra-se a eficiência na utilização do fósforo, no eixo das ordenadas, encontra-se a resposta à sua utilização. O ponto de origem dos eixos é a eficiência média e a resposta média dos genótipos. No primeiro quadrante são representados os genótipos eficiente e responsivos, no segundo as não-eficientes e reponsivas, no terceiro as não eficientes e não responsivas, e no quarto as eficientes e não reponsivas.

No experimento sob ausência de P, foram analisados a correlação

entre as variáveis pela análise de Pearson e, posteriormente, foi realizado análise de agrupamento UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean*) por meio da distância euclidiana média ponderada. Todas análises foram realizadas utilizando os programas computacionais Genes (Cruz, 2013) e R (<http://www.r-project.org>).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. ANÁLISE DE VARIÂNCIA INDIVIDUAL – LOCAL LONDRINA

Pela análise de variância conjunta no local Londrina foram observadas diferenças significativas para fonte variação genótipos para maioria das variáveis agrônômicas no ambiente de Londrina, exceto para número de espigas por planta (NEP) (Tabela 6). Esse resultado evidencia a existência de variabilidade genética entre os genótipos avaliados.

Para fonte de variação experimento observou-se apenas significância para rendimento de grãos (Rend), demonstrando que os experimentos (com e sem estresse de P) foram contrastantes para essa variável. Esse fato pode ser verificado no valor médio do Rend, no qual, no experimento com estresse de P foi de 3199,58 Kg ha⁻¹, enquanto no experimento sem estresse de P foi de 4197,42 Kg ha⁻¹, diferença de aproximadamente 24% (997,84 Kg ha⁻¹).

Tabela 6. Resumo da análise de variância para caracteres agrônômicos em 18 genótipos de milho em experimentos com e sem estresse de fósforo no ambiente Londrina-PR, safra 2014/2015.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	QUADRADO MÉDIO ^{1/}			
		REND	ALTP	ALTE	NEP
BLOCO/E	4	2362971,19	0,186	0,080	0,061
GENÓTIPOS (G)	17	6213784,87**	0,385**	0,266**	0,043
EXPERIMENTO (E)	1	26883306,36**	0,465	0,488	0,027
G x E	17	613924,89	0,120	0,049	0,053
RESÍDUO	68	526258,12	0,133	0,050	0,054
MÉDIA		3698,50	2,45	1,48	1,05
CV(%)		19,61	14,87	15,14	22,00

^{1/}Rend: Rendimento de grãos (Kg ha⁻¹), ALTP: altura de planta (m), ALTE: altura de inserção da primeira espiga (m), NEP: número de espiga por planta.

**Significativo a 1% de probabilidade.

Fidélis et al. (2008) avaliando 45 híbridos interpopulacionais em dois experimentos contratantes de P (aplicação no plantio de 25 e 113 Kg ha⁻¹ de P₂O₅) em solos do cerrado, verificaram um rendimento de grãos médio de 638 e 420,7 Kg ha⁻¹, respectivamente. Coimbra et al. (2014) avaliando 36 cultivares comerciais de milho em baixa e alta disponibilidade fósforo verificaram um rendimento de grãos médio de 3380,49 e 4773,64 Kg ha⁻¹, respectivamente, uma redução de 30%. Segundo Fageria (1998) entre os três macronutrientes (N, P e K), o P é o nutriente

mais limitante no crescimento da cultura do milho e que, em quantidades apropriadas estimula o desenvolvimento radicular e que está estritamente ligado à absorção de nutrientes, e, conseqüentemente, à eficiência nutricional.

Para interação genótipos x experimentos (GE) não foi detectado diferenças significativas para as variáveis analisadas, indicando um comportamento semelhante dos genótipos em ambos os experimento (Tabela 5). Os coeficientes de variação (CV's) observados estão dentro dos limites aceitáveis na experimentação agrícola. Além disso, mostram-se magnitudes inferiores a demais estudos em condições de estresse abiótico (Fritsche-Neto et al., 2011; Dovale e Fritsche-Neto, 2013), comprovando alta precisão experimental e confiabilidade nas estimativas.

Para as variáveis relacionadas com a eficiência no uso do P, verificou-se efeito significativo para fonte de variação genótipos para maioria das variáveis, exceto para teor de P nos grãos (TPG) e quociente de utilização de P (Q_{util}) (Tabela 7). Para as fontes de variações de experimento e GE verifica-se efeito significativo para todas as características, indicando um comportamento diferenciado dos genótipos diante da variação dos experimentos.

Tabela 7. Análise de variância para seis caracteres relacionados com a eficiência ao fósforo em 18 genótipos de milho em experimentos com e sem estresse de fósforo no ambiente Londrina-PR, safra 2014/2015.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	QUADRADO MÉDIO ^{1/}					
		E_{USO}	E_{AQ}	E_{UTIL}	TPG	Q_{UTIL}	I_{CP}
BLOCO/E	4	3530,52	0,047	774,31	0,460	2265,34	0,008
GENÓTIPOS (G)	17	6520,86**	0,055**	8967,35**	0,475	9326,65	0,016**
EXPERIMENTO (E)	1	295568,98**	2,297**	36391,19*	4,623*	69357,23**	0,0001
G x E	17	3297,12**	0,028*	7384,01**	0,908*	21107,94**	0,008**
RESÍDUO	68	989,32	0,013	2002,19	0,474	8984,37	0,003
MÉDIA		108,60	0,34	317,39	2,58	413,71	0,78
CV(%)		28,96	33,42	14,10	26,64	22,91	6,75

^{1/} E_{uso} : Eficiência de uso de P ($Kg Kg^{-1}$), E_{aq} : eficiência de aquisição de P ($Kg Kg^{-1}$), E_{util} : eficiência de utilização interna de P ($Kg Kg^{-1}$), TPG: teor de P nos grãos ($g Kg^{-1}$), Q_{util} : quociente de utilização de P ($Kg Kg^{-1}$) e I_{cp} : índice de colheita de P ($Kg Kg^{-1}$).

** Significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente.

Os CV's variaram de 6,75 (índice de colheita – I_{cp}) a 33,42 (eficiência de aquisição de P – E_{aq}) (Tabela 7). Silva (2012) avaliando 243 linhagens de sorgo em ambiente com estresse de P verificaram valores de CV's variando de 9,30 (TPG) a 29,62 (E_{aq}). Mendes (2013) avaliando 140 linhagens endogâmicas recombinantes

de milho em ambiente com estresse de P verificaram valores de CV's variando de 10,84 (I_{cp}) a 21,00 (E_{uso}).

Pela análise de interação de Cruz e Castoldi (1991) apenas as variáveis E_{uso} e E_{aq} foram consideradas do tipo simples, ou seja, a classificação dos genótipos não se altera frente à mudança do experimento. Esse resultado é discordante com o verificado por Parentoni (2008), no qual, verificou alta correlação entre os índices avaliados em ambientes contrastantes ao P, indicando interação predominantemente do tipo simples e, portanto, sem alteração na classificação dos genótipos nos diferentes ambientes.

4.2. ANÁLISE DE VARIÂNCIA INDIVIDUAL – AMBIENTE MARINGÁ

Pela análise de variância conjunta verificaram-se diferenças significativas para fonte variação genótipos para todas as variáveis agrônômicas no ambiente de Maringá, denotando uma ampla variabilidade entre os genótipos estudados (Tabela 8). Para a fonte de variação experimento não foi detectado diferenças. Um dos motivos para não detecção de diferenças entre os experimentos pode ser devido ao nível de P no solo nesse ambiente, no qual, encontra-se com valor de 19,21 mg dm⁻³, sendo considerado adequado (OLIVEIRA, 2003; COELHO, 2006). Em contrapartida, o ambiente Londrina apresentou 8,55 mg dm⁻³, considerado de baixo à moderado.

Tabela 8. Resumo da análise de variância para caracteres agrônômicos em 18 genótipos de milho em experimentos com e sem estresse de fósforo no ambiente Maringá-PR, safra 2014/2015.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	QUADRADO MÉDIO ^{1/}			
		REND	ALTP	ALTE	NEP
BLOCO/E	4	1008124,59	0,1653	0,0818	0,0316
GENÓTIPO (G)	17	5825232,01**	0,7741**	0,4289**	0,0303**
EXPERIMENTO (E)	1	5005625,55	0,0746	0,0274	0,0022
E x G	17	1113007,80*	0,2073	0,0364	0,0073
RESÍDUO	68	313386,88	0,2083	0,0385	0,0109
MÉDIA		3581,59	2,54	1,55	0,83
CV(%)		15,63	17,95	12,65	12,55

^{1/}Rend: Rendimento de grãos (Kg ha⁻¹), ALTP: altura de planta (m), ALTE: altura de inserção da primeira espiga (m), NEP: número de espiga por planta.

**Significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

O rendimento de grãos no experimento com ausência de P na semeadura foi de 3366,30 Kg ha⁻¹, enquanto no experimento com presença de P foi de 3796,88 Kg ha⁻¹, uma diferença de aproximadamente 11% (430,57 Kg ha⁻¹). Na fonte de interação GE, houve efeito significativo apenas para Rend, sendo considerado predominantemente do tipo simples segundo a metodologia de Cruz e Castoldi (1991). Os CV's variaram de 12,55 (NEP) a 17,95 (ALTP), sendo considerados menores quando comparados com o ambiente Londrina, exceto para variável ALTP.

Para as variáveis relacionadas com a eficiência no uso do P verificou-se efeito significativo para todas as variáveis na fonte de variação genótipos, em contrapartida, para a fonte de variação experimento, apenas E_{uso} e E_{aq} foram significativas, indicando variações entre os experimentos (Tabela 9). Para interação GE a maioria das variáveis foram significativas, exceto TPG. Pela análise de Cruz e Castoldi (1991), verificou-se também que as variáveis E_{uso} e E_{aq} foram do tipo simples, enquanto o restante das outras variáveis do tipo complexa.

Tabela 9. Resumo da análise de variância para seis caracteres relacionados com a eficiência ao fósforo em 18 genótipos de milho em experimentos com e sem estresse de fósforo no ambiente Maringá-PR, safra 2014/2015.

FONTE DE VARIÇÃO	GL	QUADRADO MÉDIO ^{1/}					
		E _{USO}	E _{AQ}	E _{UTIL}	TPG	Q _{UTIL}	I _{CP}
BLOCO/E	4	777,63	0,013	2240,56	0,702	3928,97	0,001
GENÓTIPOS (G)	17	2903,58**	0,040**	6200,28**	1,327**	10050,23**	0,004**
EXPERIMENTO (E)	1	30211,00**	0,479**	307,41	0,050	581,32	0,0001
E X G	17	891,63**	0,014**	2560,98*	0,726	5629,81*	0,013**
RESÍDUO	68	159,69	0,003	1374,44	0,454	2624,69	0,001
MÉDIA		49,55	0,19	258,97	3,27	320,22	0,81
CV(%)		25,50	27,36	14,31	20,57	16,00	3,84

^{1/}E_{uso}: Eficiência de uso de P (Kg Kg⁻¹), E_{aq}: eficiência de aquisição de P (Kg Kg⁻¹), E_{util}: eficiência de utilização interna de P (Kg Kg⁻¹), TPG: teor de P nos grãos (g Kg⁻¹), Q_{util}: quociente de utilização de P (Kg Kg⁻¹) e I_{cp}: índice de colheita de P (Kg Kg⁻¹).

** Significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente.

4.3 ANÁLISE DE VARIÂNCIA CONJUNTA

Pela análise de variância conjunta tripla foram observadas diferenças significativas para fonte variação genótipos para maioria das variáveis agrônômicas, exceto para NEP (Tabela 10). Esse resultado evidencia a existência de variabilidade entre os genótipos avaliados. Para fonte de variação experimento

houve efeito significativo apenas para Rend, indicando que ausência de adubação de P na semeadura foi suficiente para que ocorresse a deficiência de P a ponto de afetar o rendimento de grãos (Tabela 10). Esse fato pode ser constatado no valor médio do Rend, onde no experimento com estresse de P foi de 3281,91 Kg ha⁻¹, enquanto no experimento sem estresse de P foi de 4002,28 Kg ha⁻¹, uma diferença de 18% no rendimento (720,38 Kg ha⁻¹).

Para fonte de variação local não foi detectado diferenças, indicando que os locais foram semelhantes para as variáveis agrônomicas estudadas (Tabela 9). Esse fato pode ser verificado nos dados de rendimento, no qual, no ambiente de Londrina o rendimento médio foi de 3698,50 Kg ha⁻¹, enquanto no ambiente de Maringá foi de 3581,59 Kg ha⁻¹. Nas interações, apenas GE e GL para Rend foi significativo, demonstrando desempenho diferenciado dos genótipos diante da variação dos experimentos e dos locais.

Tabela 10. Análise de variância conjunta para quatro caracteres agrônomicos em 18 genótipos de milho em experimentos com e sem estresse de fósforo nos ambientes Londrina e Maringá, Paraná, safra 2014/2015.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	QUADRADO MÉDIO ^{1/}			
		REND (KG HA ⁻¹)	ALTP ------(M)-----	ALTE	NEP
BLOCO/E/A	8	1685547,89	0,176	0,081	0,046
GENÓTIPOS (G)	17	9801481,23**	0,994**	0,639**	0,032
EXPERIMENTOS (E)	1	27544800,66**	0,4565	0,142	0,022
LOCAIS (L)	1	738084,04	0,405	0,263	0,023
G x E	17	1151169,88**	0,127	0,030	0,028
G x L	17	2237535,64**	0,166	0,056	0,041
E x L	1	4344131,25	0,084	0,373	0,006
G x E x L	17	575762,81	0,201	0,055	0,033
RESÍDUO	136	419822,50	0,171	0,044	0,032
MÉDIA		3640,04	2,50	1,52	0,94
CV(%)		17,80	16,54	13,89	19,04

^{1/}Rend: Rendimento de grãos (Kg ha⁻¹), ALTP: altura de planta (m), ALTE: altura de inserção da primeira espiga (m) e NEP: número de espiga por planta.

** Significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

Para as variáveis relacionadas com a eficiência no uso do P foram observados efeito significativo para todas as variáveis nas fontes de variação genótipos e locais, o que evidencia a existência de variabilidade entre os genótipos e

entre os locais (Tabela 11). Observaram-se também efeito significativo para a maioria das variáveis na fonte de variação experimento, exceto para TPG e I_{cp} .

Nas interações entre as fontes de variações, todas as variáveis foram significativas para GE, enquanto para GL foram significativas as variáveis E_{uso} , E_{util} e I_{cp} e para EL as variáveis E_{uso} , E_{aq} , E_{util} e Q_{util} (Tabela 11).

Tabela 11. Análise de variância para seis caracteres relacionados com a eficiência ao fósforo em 18 genótipos de milho em experimentos com e sem estresse de fósforo no ambiente de Londrina e Maringá, Paraná, safra 2014/2015.

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	QUADRADO MÉDIO ^{1/}		
		E_{uso}	E_{aq}	E_{util}
		------(Kg Kg ⁻¹)-----		
BLOCO/E/A	8	2154,07	0,030	1507,44
GENÓTIPOS (G)	17	8360,22**	0,087**	11478,08**
EXPERIMENTOS (E)	1	257385,69**	2,437**	15004,61*
LOCAIS (L)	1	188294,22**	1,136**	184268,20**
G x E	17	3224,77**	0,029**	5526,71**
G x L	17	1064,21*	0,008	3689,55**
E x L	1	68394,30**	0,339*	21693,99**
G x E x L	17	963,98	0,013	75110,81**
RESÍDUO	136	574,51	0,008	229611,31
MÉDIA		79,07	0,27	288,18
CV(%)		30,31	33,18	14,25
FONTE DE VARIAÇÃO	GL	TPG	Q_{util}	I_{cp}
		(g Kg ⁻¹)	------(Kg Kg ⁻¹)-----	
BLOCO/E/A	8	0,581	3097,15	0,005
GENÓTIPOS (G)	17	1,264**	13227,10**	0,012**
EXPERIMENTOS (E)	1	1,853	28619,58*	0,0001
LOCAIS (L)	1	25,576**	471913,26**	0,032*
G x E	17	0,921*	15471,82**	0,010**
G x L	17	0,538	6145,78	0,008**
E x L	1	2,820	41318,97**	0,0002
G x E x L	17	0,713	11265,93*	0,011**
RESÍDUO	136	0,464	5804,53	0,002
MÉDIA		2,93	366,97	0,80
CV(%)		23,52	20,76	5,45

^{1/} E_{uso} : Eficiência de uso de P (Kg Kg⁻¹), E_{aq} : eficiência de aquisição de P (Kg Kg⁻¹), E_{util} : eficiência de utilização interna de P (Kg Kg⁻¹), TPG: teor de P nos grãos (g Kg⁻¹), Q_{util} : quociente de utilização de P (Kg Kg⁻¹) e I_{cp} : índice de colheita de P (Kg Kg⁻¹).

*, ** Significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente.

Para as variáveis E_{util} , Q_{util} e I_{cp} , a interação tripla foi estatisticamente significativa, indicando uma dependência entre os níveis dos fatores.

4.4. ANÁLISE DE AGRUPAMENTO - SCOTT E KNOTT (1974) E CLASSIFICAÇÃO DOS GENÓTIPOS PELA METODOLOGIA DE FAGERIA E KLUTHCOUSKI (1980)

O resumo dos agrupamentos de médias pelo teste Scott-Knott considerando a presença e ausência de P para as variáveis rendimento de grãos, altura de plantas e altura de inserção de espigas para os ambientes de Londrina e Maringá estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Agrupamento de médias pelo teste Scott-Knott ($P < 0,05$) entre 18 genótipos de milho, avaliados na ausência e presença de fósforo na semeadura nos ambientes de Londrina e Maringá, Paraná, safra 2014/2015.

GENÓTIPOS ^{2/}	REND ^{1/}				ALTP	ALTE
	LONDRINA		MARINGÁ			
	COM P	SEM P	COM P	SEM P		
BRANCO ANTIGO	3059,86 Ac	2515,75 Ab	3261,60 Ad	3817,68 Ab	2,70 B	1,70 B
CAIANO	4817,83 Aa	3851,19 Aa	3590,84 Ad	3980,41 Ab	2,93 A	1,72 B
AZTECÃO	4116,08 Ab	2816,12 Bb	3761,03 Ac	4510,80 Ab	2,70 B	1,73 B
MAIA	4409,25 Ab	3174,37 Bb	2553,31 Ae	3053,96 Ac	3,15 A	1,94 A
PALHA ROXA	4159,45 Ab	3421,38 Aa	4168,11 Ac	2850,06 Bc	2,66 B	1,70 B
AMARELÃO	4991,44	4295,69 Aa	4935,07 Ab	4323,98 Ab	2,80 B	1,87 A
CARIOCA	5239,87 Aa	2386,69 Bb	4531,08 Ab	2820,74 Bc	2,55 B	1,54 B
BRANCO GELINSKI	3841,95 Ab	2024,86 Bc	2770,23 Ae	2382,66 Ad	2,48 C	1,61 B
CUNHA	2164,43 Ac	1438,54 Ac	3043,95 Ad	1706,35 Be	2,28 C	1,34 D
AL30	3247,17 Ac	2666,30 Ab	4543,38 Ab	3315,33 Bc	2,10 C	1,22 D
14 VARIEDADES	3242,87 Ac	2645,73 Ab	3862,67 Ac	3471,04 Ac	2,42 C	1,49 C
PLANALTO	3989,70 Ab	2725,04 Bb	3903,62 Ac	3303,04 Ac	2,18 C	1,21 D
CAIANO 2	4997,35 Aa	4638,90 Aa	3996,02 Ac	4414,59 Ab	2,58 B	1,60 B
ST 0509	5159,45 Aa	5207,98 Aa	6126,28 Aa	6719,51 Aa	2,32 C	1,33 D
AMARELÃO 2	2314,36 Ac	1428,52 Ac	2254,44 Ae	1160,83 Be	2,17 C	1,21 D
ST 2109	5414,70 Aa	4208,69 Ba	3556,69 Ad	2165,67 Bd	2,46 C	1,48 C
ST 1309	4705,31 Aa	3946,78 Aa	4677,14 Ab	3505,12 Bc	2,18 C	1,28 D
ST 0409	5682,46 Aa	4199,96 Ba	3208,32 Ad	3091,67 Ac	2,32 C	1,34 D

^{1/}Rend: Rendimento de grãos (Kg ha^{-1}), ALTP: altura de planta (m) e ALTE: altura de inserção da primeira espiga (m).

^{2/}Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula e minúscula na horizontal e vertical, respectivamente constituem grupo estatisticamente homogêneo.

Para as variáveis ALTP e ALTE, foi observado que as variações estão relacionadas às particularidades de cada genótipo, sendo que os genótipos AL30, Amarelão 2, Planalto, ST 1309, Cunha, ST 0509, ST 0409, 14 variedades, ST 2109 e Branco Gelinski apresentaram os menores valores para ALTP (2,10, 2,17, 2,18, 2,18, 2,28, 2,32, 2,32, 2,42, 2,46 e 2,48 m, respectivamente), enquanto para ALTE foram os genótipos Planalto, Amarelão 2, AL30, ST 1309, ST 0509, Cunha e ST0409 (1,21, 1,21, 1,22, 1,28, 1,33, 1,34 e 1,34, respectivamente). A ALTP e ALTE são variáveis morfológicas de elevada importância na cultura do milho, pois estão diretamente relacionados com a tolerância ao acamamento (LI et al., 2007).

Em relação à Rend, foram formados três grupos no experimento com estresse de P em Londrina, sendo que o grupo mais produtivo foi constituído de oito genótipos (ST0509, Caiano2, Amarelão, ST2109, ST0409, ST1309, Caiano e Palha Roxa), com rendimento variando de 3421,38 a 5207,98 Kg ha⁻¹ (Tabela 12). Para o ambiente Maringá, foram formados cinco grupos no experimento com estresse de P, sendo o genótipo ST 0509 o mais produtivo (6719,51 Kg ha⁻¹), seguido pelos genótipos Aztecão, Caiano2, Amarelão, Caiano e Branco Antigo, com rendimento médio de 4510,80, 4414,59, 4323,98, 3980,41 e 3817,68 Kg ha⁻¹, respectivamente. Esse resultado revela a diversidade genética entre os genótipos e o potencial de algumas variedades a serem utilizadas em programas de melhoramento de milho voltados a pequenos agricultores, que se caracterizam pela utilização de pouca ou nenhuma tecnologia.

Para os experimentos com presença de P na semeadura, os genótipos ST0409, ST2109, Carioca, ST0509, Caiano2, Amarelão, Caiano e ST1309 foram os mais produtivos no ambiente Londrina, com 5682,46, 5414,70, 5239,87, 5159,45, 4997,35, 4991,44, 4817,83 e 4705,31 Kg ha⁻¹, respectivamente, enquanto no ambiente de Maringá o mais produtivo foi o genótipo ST0509, com 6126,28 kg ha⁻¹.

Utilizando a metodologia proposta por Fageria e Kluthcouski (1980) observa-se concordância com o agrupamento Scott e Knott (1974), no qual identificaram os genótipos ST0409, ST2109, Caiano, Palha Roxa, ST1309, Amarelão, Caiano2 e ST0509 como eficientes no uso de fósforo para ambiente Londrina, e no ambiente Maringá os genótipos ST1309, Amarelão, Caiano, Caiano2, Branco Antigo, Aztecão e ST0509 (Figura 3). A partir desses resultados, pode ser

inferir que os processos associados à absorção, translocação, assimilação e redistribuição de P são mais eficientes nesses genótipos em relação aos demais.

Pesquisas que visem desenvolver plantas que tenham maior capacidade de absorção de fósforo no solo (eficiência de aquisição do P – EAP) e de aumento de rendimento ou de biomassa por unidade de P absorvido (eficiência de utilização interna do P – EUIP) é primordial para a manutenção da sustentabilidade dos sistemas agrícolas (VENEKLAAS et al., 2012). A EAP pode ser determinada por diferenças morfológicas, fisiológicas e/ou bioquímicas no sistema radicular das plantas, tais como desenvolvimento de raízes laterais e pelos radiculares, na arquitetura radicular, na interação com microrganismos (micorrizas e bactérias) e produção de exsudatos radiculares, tais como ânions orgânicos e enzimas fosfatase (Wang et al., 2010). Enquanto, a EUIP é atribuída principalmente à eficiência na reciclagem, translocação e uso do P armazenado nas plantas em condições de baixa disponibilidade do nutriente (CALDERÓN-VÁZQUEZ et al., 2011; VENEKLAAS et al., 2012).

Quanto à resposta à aplicação de fósforo, sete genótipos (Aztecão, Maia, Carioca, Branco Gelinski, Planalto, ST2109 e ST 0409) foram responsivos a aplicação de P pelo agrupamento Scott e Knott (1974) e pela metodologia de Fageria e Kluthcouski (1980). Para ambiente Maringá, sete genótipos (Palha Roxa, Carioca, Cunha, AL30, Amarelão 2, ST2109 e ST1309) foram responsivos a aplicação do P pelo agrupamento Scott e Knott (1974), sendo esses também responsivos pela metodologia de Fageria e Kluthcouski (1980), juntamente com os genótipos Planalto e Amarelão (Figura 3). Estes resultados corroboram com os obtidos por Machado et al. (1999), Fidelis et al. (2010) que também detectaram diferentes magnitudes de resposta em função da concentração de P entre diferentes variedades locais.

Além de terem sido considerados responsivos, os genótipos ST0409 e ST2109 (para ambiente Londrina) e ST1309 e Amarelão (para ambiente Maringá) foram apontados também como eficazes em utilizar o fósforo em baixa concentração. Esse resultado demonstra sua possível adaptação tanto no ambiente com deficiência quanto àqueles cujos níveis de disponibilidade P são ideais. Em contrapartida, os genótipos Amarelão2, Cunha, 14 variedades e Branco Antigo (ambiente Londrina) e Branco Gelinski, ST0409, 14 variedades e Maia (ambiente Maringá) apresentaram baixo rendimento de grãos em ambiente com deficiência de

P (ou seja, inferior à média dos genótipos) e também baixos índices de resposta à aplicação de P.

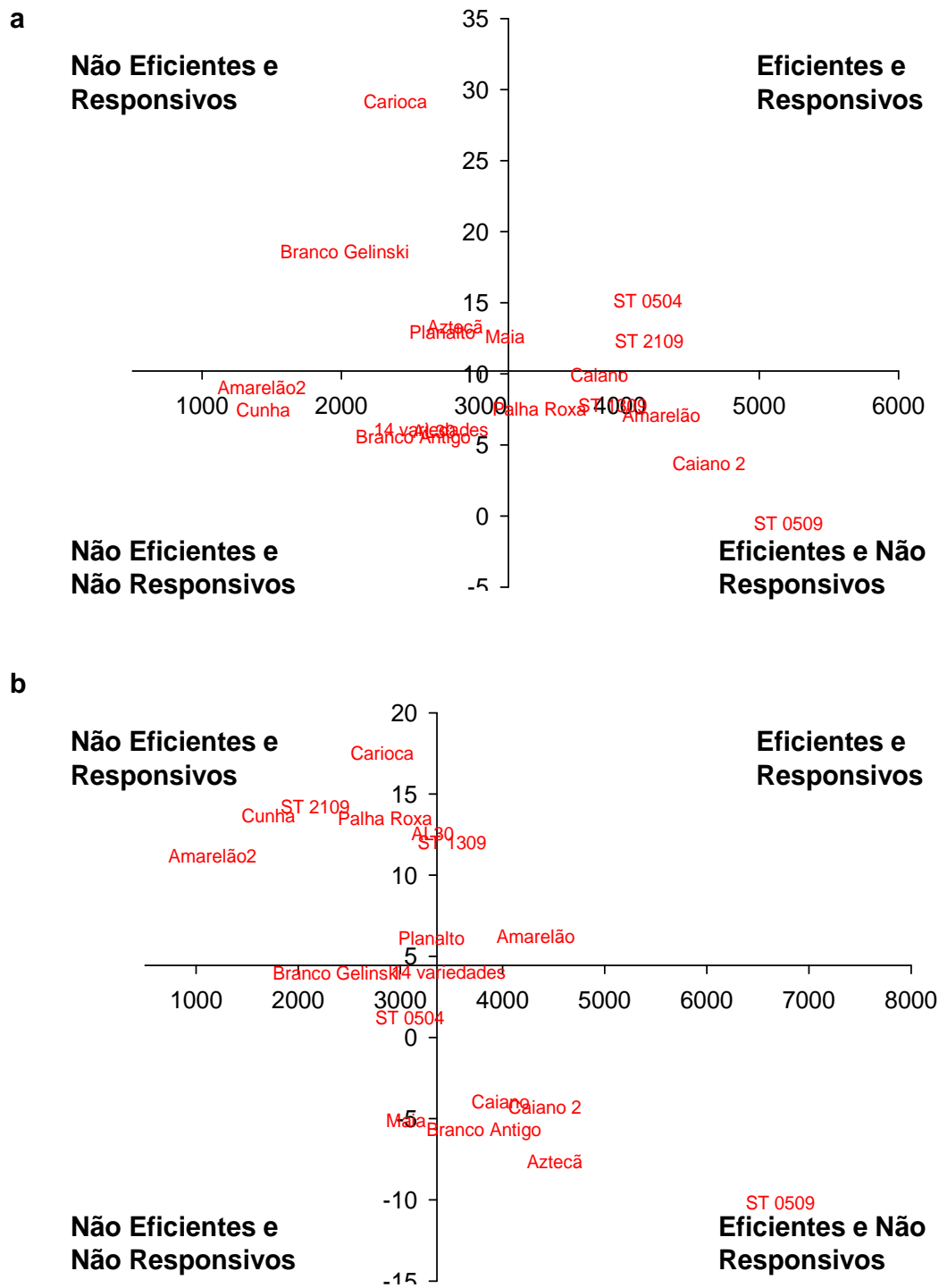


Figura 3. Eficiência no uso e resposta à aplicação de fósforo em variedades de milho, pela metodologia de Fageria e Kluthcouski (1980) nos ambientes de Londrina (a) e Maringá (b).

Para a variável E_{uso} os genótipos Caiano2 e ST0509 obtiveram os maiores valores (236,01 e 264,97 Kg Kg⁻¹, respectivamente) para ambiente Londrina

no experimento com baixo P, enquanto no ambiente Maringá o maior valor foi obtido para variável ST0509 (153,05 Kg Kg⁻¹) (Tabela 13). A E_{uso} é função das E_{aq} e E_{util} e, portanto, esses genótipos são considerados como que apresentaram maior capacidade de adquirir o P do solo e também capacidade de utilização mais eficiente do P adquirido. Fritsche-Neto et al. (2010) e Mendes et al. (2014) estudando o controle genético da E_{uso} verificaram predominância da dominância sobre essa variável, sendo, portanto, que os maiores ganhos deverão ocorrer por meio do uso de melhoramento interpopulacionais, de forma a explorar os efeitos não aditivos entre populações e os aditivos dentro de populações. Esse resultado também é corroborado por Chen et al. (2008, 2009), que identificaram QTL's relacionados a E_{uso} , com efeitos, predominantemente, de dominância parcial ou de sobredominância.

Em relação E_{aq} , os genótipos Caiano, Maia, Palha Roxa, Amarelão, Caiano2, ST0509, ST2109, ST1309 e ST0409 obtiveram os maiores valores para ambiente Londrina no experimento com baixo P, enquanto no ambiente de Maringá os maiores valores foram obtidos apenas nos genótipos Caiano, Aztecão e ST0509 (Tabela 13). Para E_{util} os genótipos Planalto e ST0509 obtiveram os maiores valores, em contrapartida, no ambiente de Maringá os maiores valores foram verificados pelos genótipos Aztecão, Amarelão, Carioca, 14 variedades, Planalto, Caiano2, ST0509, Amarelão2 e ST1309.

Segundo Wang et al. (2010), a importância relativa da E_{aq} e da E_{util} sobre a E_{uso} varia de acordo com a espécie vegetal e as condições ambientais. Parentoni e Souza (2008) verificaram que a E_{aq} foi aproximadamente duas vezes mais importante que a E_{util} , na variabilidade observada na E_{uso} , nos ambiente sob baixa disponibilidade de P e três vezes mais importante com alta disponibilidade de P. Sendo assim, os autores sugerem a utilização de pesos maiores para E_{aq} do que para E_{util} , para aumento na E_{uso} de P.

Para Wang et al. (2010) as características mais importantes para E_{aq} estão relacionadas à morfologia e à arquitetura do sistema radicular. Além disso, outras características também têm sido apontadas como capazes de aumentar a E_{aq} , como por exemplo, a capacidade de exsudação de ácidos orgânicos e enzimas, como as fosfatase, e a associação simbiótica com microrganismos da rizosfera.

Tabela 13. Agrupamento de médias pelo teste Scott-Knott ($P < 0,05$) entre 18 genótipos de milho, avaliados na ausência e presença de fósforo na semeadura para eficiência de uso (E_{uso}), aquisição (E_{aq}) e de utilização interna de P (E_{util}) nos ambientes de Londrina e Maringá, Paraná, safra 2014/2015.

Genótipos	-----Londrina-----					
	E_{uso}		E_{aq}		E_{util}	
	Com P	Sem P	Com P	Sem P	Com P	Sem P
Branco Antigo	40,33 Ba	127,99 Ac	0,170 Ba	0,435 Ab	236,57 Ac	295,79 Ab
Caiano	56,16 Ba	195,94 Ab	0,202 Ba	0,658 Aa	283,92 Ac	308,59 Ab
Aztecão	79,20 Aa	127,38 Ac	0,303 Aa	0,418 Ab	262,85 Ac	306,30 Ab
Maia	58,12 Ba	161,50 Ac	0,201 Ba	0,599 Aa	299,19 Ac	277,38 Ab
Palha Roxa	48,75 Ba	174,07 Ab	0,221 Ba	0,543 Aa	220,25 Bc	318,64 Ab
Amarelão	56,92 Ba	218,55 Ab	0,222 Ba	0,675 Aa	255,98 Ac	323,11 Ab
Carioca	69,07 Ba	121,43 Ac	0,207 Ba	0,407 Ab	331,82 Ab	292,61 Ab
Branco Gelinski	50,64 Ba	117,17 Ac	0,166 Ba	0,357 Ab	305,21 Ac	327,81 Ab
Cunha	28,53 Aa	73,19 Ad	0,132 Aa	0,251 Ac	222,33 Ac	287,49 Ab
AL30	42,80 Ba	135,65 Ac	0,114 Ba	0,421 Ab	382,64 Ab	319,46 Ab
14 variedades	42,75 Ba	134,61 Ac	0,132 Ba	0,376 Ab	326,38 Ab	369,20 Ab
Planalto	52,59 Ba	138,64 Ac	0,180 Aa	0,353 Ab	287,50 Bc	419,04 Aa
Caiano 2	60,68 Ba	236,01 Aa	0,166 Ba	0,740 Aa	365,78 Ab	330,80 Ab
ST 0509	68,01 Ba	264,97 Aa	0,267 Ba	0,598 Aa	260,04 Bc	452,79 Aa
Amarelão 2	30,51 Aa	63,61 Ad	0,106 Aa	0,173 Ac	289,72 Bc	366,43 Ab
ST 2109	71,38 Ba	203,20 Ab	0,219 Ba	0,585 Aa	327,72 Ab	350,15 Ab
ST 1309	62,02 Ba	200,80 Ab	0,147 Ba	0,574 Aa	447,42 Aa	354,21 Bb
ST 0409	94,61 Ba	201,67 Ab	0,351 Ba	0,589 Aa	277,24 Ac	343,60 Ab

Genótipos	-----Maringá-----					
	E_{uso}		E_{aq}		E_{util}	
	Com P	Sem P	Com P	Sem P	Com P	Sem P
Branco Antigo	26,84 Bb	71,29 Ac	0,114 Bb	0,295 Ab	236,72 Ab	243,19 Ab
Caiano	36,64 Ba	91,92 Ab	0,131 Ba	0,424 Aa	280,12 Aa	215,95 Bb
Aztecão	41,38 Ba	94,12 Ab	0,199 Ba	0,463 Aa	218,97 Ab	203,49 Ab
Maia	27,61 Bb	69,16 Ac	0,149 Ba	0,268 Ab	184,93 Bb	258,94 Aa
Palha Roxa	40,22 Ba	70,78 Ac	0,132 Ba	0,331 Ab	304,88 Aa	213,99 Bb
Amarelão	49,60 Ba	96,13 Ab	0,169 Ba	0,372 Ab	306,80 Aa	262,21 Aa
Carioca	41,22 Aa	42,48 Ad	0,139 Aa	0,151 Ad	307,99 Aa	273,23 Aa
Branco Gelinski	18,46 Bb	45,04 Ad	0,062 Bb	0,163 Ad	293,04 Aa	276,97 Ab
Cunha	17,71 Ab	23,48 Ae	0,074 Ab	0,095 Ad	242,75 Ab	233,37 Ab
AL30	22,64 Ab	26,93 Ae	0,106 Ab	0,132 Ad	226,86 Ab	236,35 Ab
14 variedades	22,38 Bb	60,77 Ad	0,088 Bb	0,243 Ac	260,54 Aa	259,54 Aa
Planalto	23,22 Ab	37,35 Ad	0,084 Ab	0,126 Ad	273,06 Aa	296,68 Aa
Caiano 2	40,24 Ba	89,27 Ab	0,136 Ba	0,296 Ab	297,24 Aa	304,24 Aa
ST 0509	55,74 Ba	153,05 Aa	0,197 Ba	0,482 Aa	283,64 Aa	318,97 Aa
Amarelão 2	9,84 Ab	15,59 Ae	0,043 Ab	0,059 Ad	236,41 Ab	271,76 Aa
ST 2109	39,78 Aa	49,04 Ad	0,188 Aa	0,201 Ac	211,68 Ab	242,39 Ab
ST 1309	46,16 Ba	81,15 Ac	0,139 Ba	0,290 Ab	331,93 Aa	287,58 Aa
ST 0409	31,09 Bb	75,36 Ac	0,170 Ba	0,325 Ab	194,29 Ab	232,28 Ab

^{1/}Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula e minúscula na horizontal e vertical, respectivamente constituem grupo estatisticamente homogêneo.

Nos experimentos com valores adequados de P para ambiente Londrina observa-se a não diferenciação dos genótipos para E_{uso} e E_{aq} , enquanto para E_{util} o maior valor obtido foi verificado para o genótipo ST1309. No ambiente Maringá, foram formados dois grupos para E_{uso} , sendo que os genótipos Caiano, Aztecão, Palha roxa, Amarelão, Carioca, Caiano2 e ST0509 e ST2109 e ST1309 obtiveram os maiores valores. Para E_{aq} foram formados também dois grupos, sendo os mesmos genótipos para E_{uso} , juntamente com os genótipos Maia e ST0409. Em

relação a Eutil, os maiores valores foram obtidos pelos genótipos Caiano, Palha Roxa, Amarelão, Carioca, Branco Gelinski, 14 variedades, Planalto, Caiano2, ST0509 e ST1309.

Tabela 14. Agrupamento de médias pelo teste Scott-Knott ($P < 0,05$) entre 18 variedades de milho, avaliados na ausência e presença de fósforo na semente para teor de P nos grãos (TPG), quociente de utilização de P (Q_{util}) e índice de colheita de P (I_{cp}) nos ambientes de Londrina e Maringá.

Genótipos	-----Londrina-----					
	TPG		Q_{util}		I_{cp}	
	Com P	Sem P	Com P	Sem P	Com P	Sem P
Branco Antigo	3,04 Aa	2,63 Aa	331,28 Ab	381,62 Aa	0,712 Ab	0,775 Aa
Caiano	2,61 Aa	2,48 Aa	407,62 Ab	417,71 Aa	0,810 Aa	0,745 Aa
Aztecão	4,43 Aa	2,02 Ba	280,16 Bb	520,49 Aa	0,790 Aa	0,707 Ab
Maia	2,97 Aa	2,90 Aa	346,97 Ab	348,24 Aa	0,863 Aa	0,793 Aa
Palha Roxa	2,94 Aa	2,59 Aa	366,71 Ab	391,87 Aa	0,728 Ab	0,815 Aa
Amarelão	3,01 Aa	2,62 Aa	351,51 Ab	385,52 Aa	0,889 Aa	0,840 Aa
Carioca	2,04 Aa	2,67 Aa	517,28 Aa	377,57 Aa	0,655 Bb	0,781 Aa
Branco Gelinski	2,81 Aa	2,77 Aa	356,72 Ab	363,73 Aa	0,856 Aa	0,808 Aa
Cunha	3,43 Aa	2,10 Ba	294,72 Bb	484,19 Aa	0,754 Ab	0,602 Ac
AL30	2,16 Aa	2,51 Aa	476,01 Aa	401,35 Aa	0,812 Aa	0,796 Aa
14 variedades	2,53 Aa	2,26 Aa	397,51 Ab	464,70 Aa	0,822 Aa	0,802 Aa
Planalto	2,88 Aa	2,09 Aa	349,73 Ab	488,57 Aa	0,822 Aa	0,856 Aa
Caiano 2	2,03 Aa	2,56 Aa	510,42 Aa	394,06 Aa	0,811 Aa	0,840 Aa
ST 0509	3,12 Aa	1,72 Ba	325,94 Bb	610,78 Aa	0,800 Aa	0,759 Aa
Amarelão 2	2,67 Aa	2,01 Aa	381,70 Ab	508,80 Aa	0,762 Ab	0,804 Aa
ST 2109	2,21 Aa	2,17 Aa	456,86 Aa	465,91 Aa	0,721 Bb	0,816 Aa
ST 1309	2,08 Aa	2,52 Aa	501,34 Aa	416,87 Aa	0,895 Aa	0,872 Aa
ST 0504	3,31 Aa	2,18 Aa	338,14 Ab	480,95 Aa	0,731 Ab	0,787 Aa

Genótipos	-----Maringá-----					
	TPG		Q_{util}		I_{cp}	
	Com P	Sem P	Com P	Sem P	Com P	Com P
Branco Antigo	3,53 Aa	3,13 Ab	284,08 Ab	321,83 Aa	0,833 Ab	0,758 Bb
Caiano	2,97 Ab	3,13 Ab	337,98 Aa	324,70 Aa	0,830 Ab	0,667 Bc
Aztecão	4,12 Aa	4,03 Ab	259,67 Ab	247,96 Ab	0,850 Aa	0,821 Aa
Maia	4,82 Aa	3,08 Bb	207,53 Bb	327,54 Aa	0,891 Aa	0,793 Ba
Palha Roxa	2,72 Bb	3,90 Aa	368,68 Aa	256,33 Bb	0,829 Ab	0,835 Aa
Amarelão	2,96 Ab	3,21 Ab	356,37 Aa	318,36 Aa	0,865 Aa	0,825 Aa
Carioca	2,82 Ab	2,95 Ab	363,48 Aa	342,88 Aa	0,852 Aa	0,802 Aa
Branco Gelinski	2,81 Ab	3,02 Ab	356,85 Aa	333,04 Aa	0,822 Ab	0,833 Aa
Cunha	2,78 Ab	3,76 Aa	365,92 Aa	271,46 Bb	0,670 Bd	0,863 Aa
AL30	3,46 Aa	4,53 Aa	290,31 Ab	275,77 Ab	0,782 Bb	0,873 Aa
14 variedades	3,16 Ab	3,18 Ab	323,56 Aa	319,21 Aa	0,811 Ab	0,814 Aa
Planalto	3,03 Ab	2,85 Ab	337,56 Aa	351,29 Aa	0,808 Ab	0,844 Aa
Caiano 2	2,73 Ab	2,53 Ab	367,03 Aa	399,51 Aa	0,811 Ab	0,765 Ab
ST 0509	3,16 Ab	2,42 Ab	317,04 Ba	413,54 Aa	0,895 Aa	0,770 Bb
Amarelão 2	3,42 Aa	3,27 Ab	293,16 Ab	321,57 Aa	0,807 Ab	0,852 Aa
ST 2109	3,78 Aa	3,45 Ab	265,05 Ab	291,55 Ab	0,799 Ab	0,831 Aa
ST 1309	2,23 Ab	3,01 Ab	449,72 Aa	341,24 Ba	0,739 Bc	0,846 Aa
ST 0504	4,04 Aa	3,86 Aa	261,86 Ab	264,53 Ab	0,741 Bc	0,880 Aa

¹Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula e minúscula na horizontal e vertical, respectivamente constituem grupo estatisticamente homogêneo.

Para a variável TPG os genótipos não diferiram pelo agrupamento Scott e Knott (1974) nos experimentos de baixo e alto P no ambiente Londrina, enquanto no ambiente Maringá os maiores valores para o experimento de ausência de P foram obtidos pelos genótipos Aztecão, Palha Roxa, Cunha, AL30 e ST0409 (Tabela 13). Para o experimento com alto P, foram formados dois grupos, sendo

sete genótipos (Branco Antigo, Aztecão, Maia, AL30, Amarelão2, ST2109, ST0409) obtiveram os maiores valores. Esse resultado demonstra que a maioria dos genótipos classificados como eficientes ao P apresentou valores de TPG menores.

Os índices que compõem a Eutil são o Qutil (unidade de massa seca de grãos produzidas por unidade de P nos grãos) e Icp (quantidade de P nos grãos dividida pela quantidade de p total na parte aérea da planta). No Qutil para o ambiente de Londrina evidenciou a ausência de significância dos experimentos para a maioria dos genótipos, exceto para os genótipos Aztecão, Cunha e ST 0509. Para o ambiente de Maringá, também observou-se ausência de diferença entre os experimentos para a maioria dos genótipos, com exceção dos genótipos Palha Roxa, Cunha e ST 1309, Maia e ST0509.

Para o ambiente de Londrina não houve diferenças dos genótipos na ausência de P, em contrapartida, no ambiente de Maringá observou-se a formação de dois grupos, sendo 12 genótipos alocados no grupo com os maiores valores, que variaram de 318,36 a 413,54 Kg Kg⁻¹ (Tabela 14). No experimento com presença de P, os genótipos Carioca, AL30, Caiano2, ST2109 e ST1309 obtiveram os maiores valores. Para o ambiente Maringá, 11 genótipos (Caiano, Palha Roxa, Amarelão, Carioca, Branco Gelinski, Cunha, 14 variedades, Planalto, Caiano2, ST0509 e ST1309) apresentaram as maiores médias.

Observa-se que para o Icp não se verificou diferenças para presença e ausência de P na maioria dos genótipos, exceto para os genótipos Carioca e ST2109 no ambiente de Londrina, e no ambiente Maringá os genótipos Branco Antigo, Caiano, Maia, Cunha, AL30, ST0529, ST1309 e ST0409 (Tabela 13). Na ausência de P, foram formados três grupos no ambiente Londrina, sendo 16 genótipos alocados no grupo com os maiores valores, enquanto no ambiente de Maringá também foram formados três grupos, no qual, 14 genótipos formaram o grupo com os maiores valores.

4.5 CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS ESTUDADAS

O conhecimento da correlação entre diversas características é de elevada importância em experimentos de campo, principalmente dentro de avaliações de genótipos para características de baixa herdabilidade, ou então de difícil mensuração e identificação. Dentre as causas responsáveis pela correlação

entre as variáveis, têm-se o pleiotropismo e a ligação genética. O primeiro caso ocorre quando um ou mais locos afetam diversas variáveis, enquanto o segundo refere-se a blocos gênicos localizados em um mesmo cromossomo, com tendência a serem transmitidos em conjunto.

Nos ambiente de Londrina e Maringá, observou-se uma alta correlação de Rend com E_{uso} (0,99 e 0,9, respectivamente), E_{aq} (0,91 e 0,81, respectivamente), e correlações moderadas com E_{util} (0,35 e 0,29, respectivamente) e Q_{util} (0,14 e 0,48, respectivamente) (Figura 4). Esses resultados estão em consonância ao observado por Mendes (2012) e Silva (2012), indicando que os genes responsáveis por aumentar a absorção de P pela planta também contribuíram para aumentar a E_{uso} e, por consequência, a produtividade de grãos. Por outro lado, a E_{util} apresentou correlações de menor magnitude com Rend e E_{uso} , indicando menor associação entre essas variáveis. Esse resultado também é corroborado por mendes (2012) e Silva (2012).

Para Rend x I_{cp} , verifica-se alteração na correlação entre os ambientes, sendo que no ambiente de Londrina foi observado correlação positiva (0,37), enquanto no ambiente de Maringá essa correlação foi negativa (-0,48). Uma possível explicação para esse resultado pode estar relacionada com a ausência de estresse com a deficiência de P no ambiente Maringá.

Entre as características Rend e TPG para os ambientes Londrina e Maringá, observou-se correlação negativa de -0,08 e -0,36, respectivamente. Como a característica TPG é o inverso da variável Q_{util} e como esta última é um dos componentes da característica E_{util} em ambiente com estresse de P, correlações fenotípicas de alta magnitude e negativas foram observadas entre TPG e E_{util} (-0,67 e -0,80, respectivamente) e entre TPG e Q_{util} (-0,98 e -0,92, respectivamente). Esse resultado indica que a redução do TPG pode ser critério de seleção ideal para aumentar a E_{util} . Silva (2012) avaliando 243 linhagens de sorgo observaram correlações negativas de alta magnitude entre TPG x E_{util} (-0,74) e TPG x Q_{util} (-0,97).

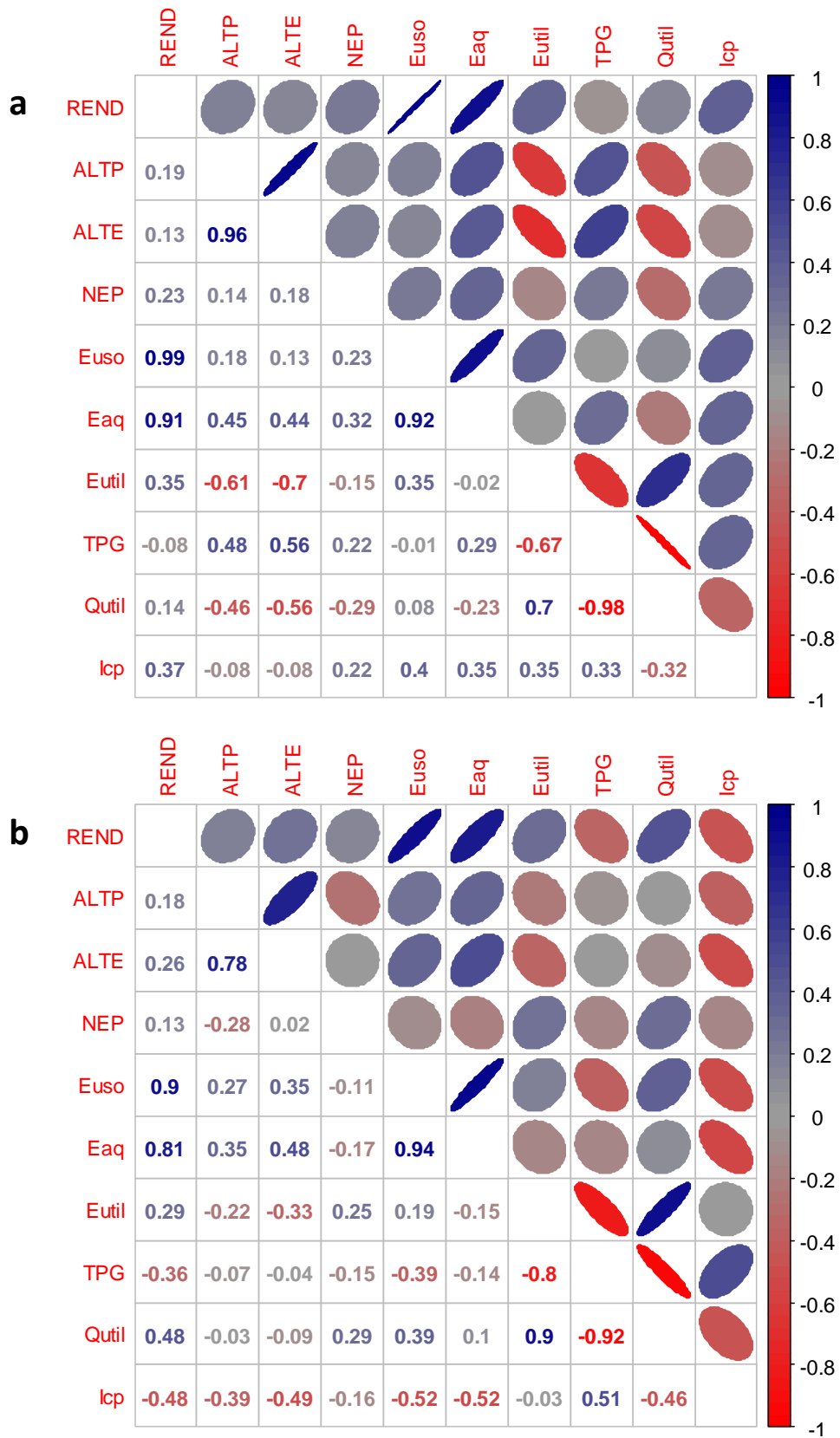


Figura 4. Correlação entre variáveis em 18 genótipos de milho avaliados na ausência de fósforo nos ambientes de Londrina (**a**) e Maringá (**b**).

4.6 ANÁLISE MULTIVARIADA

Com a formação do dendrograma obtido pela análise de agrupamento UPGMA a partir de variáveis agrônômicas e índice de eficiência de fósforo foi possível agrupar as variáveis conforme o grau de similaridade, onde dentro de cada grupo possuem acessos com características similares e entre os agrupamentos verificam-se características distintas para os acessos analisados.

Foram gerados dois dendrogramas, para os experimentos conduzidos em Londrina e Maringá para ambiente com estresse de P. Quando os genótipos foram avaliados no ambiente Londrina, um corte a 1.05 (mudança abrupta no dendrograma) possibilitou a formação de quatro grupos, sendo o grupo I alocados 12 genótipos (Palha roxa, Caiano, Caiano2, Amarelão, ST1309, ST0504, ST2109, Carioca, Branco Antigo, AL30, Branco Gelinski e Maia), o grupo II com três genótipos (Planalto, 14 variedades e Amarelão2), o grupo III com dois genótipos (Cunha e Aztecão) e o grupo IV com apenas o genótipo ST0509.

Para o dendrograma formado a partir do experimento conduzido em Maringá, um corte a 1,1 possibilitou a formação de três grupos, sendo os genótipos Caiano e ST0509 alocados separadamente nos grupos II e III, enquanto os demais genótipos foram alocados no grupo I. Na comparação entre os ambientes de Londrina e Maringá observaram-se padrões de dissimilaridade distintos entre as matrizes geradas, demonstrando um desempenho distinto entre os genótipos avaliados. Entretanto, ambos os dendrogramas demonstraram a alocação isolada do genótipo ST0509, no qual, esse genótipo apresenta uma elevada produtividade associada com a eficiência no uso de P. Sendo assim, esse genótipo apresenta potencial para futuros trabalhos de melhoramento para obtenção de populações e/ou linhagens eficientes no uso do P.

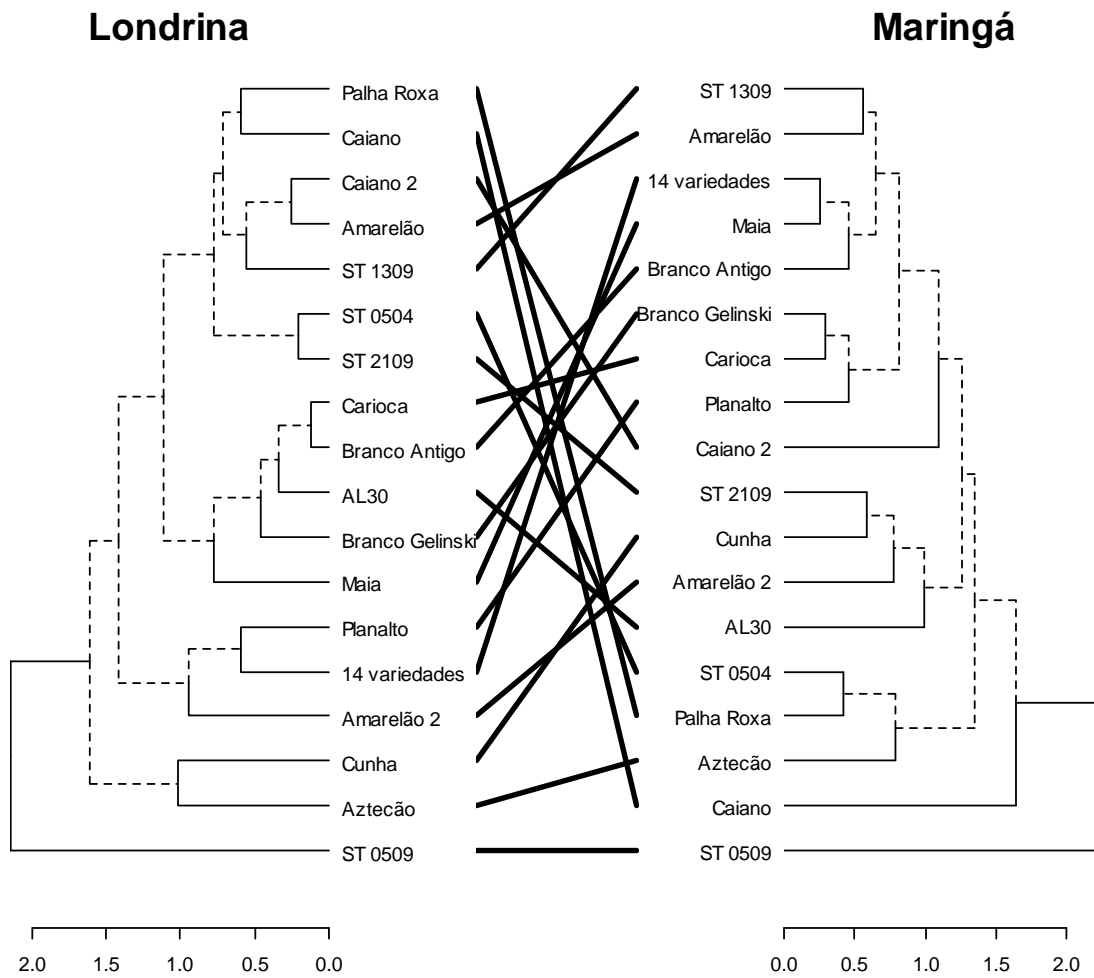


Figura 5. Dendrograma da dissimilaridade genética entre 18 variedades de milho pelo UPGMA baseado na matriz de dissimilaridade das variáveis agronômicas e índices de eficiência de fósforo.

CONCLUSÃO

Existe variabilidade genética entre os genótipos estudados, sendo identificados oito genótipos (ST0409, ST2109, Caiano, Palha Roxa, ST1309, Amarelão, Caiano2 e ST0509) responsivos ao uso de fósforo para o ambiente Londrina e sete genótipos (ST1309, Amarelão, Caiano, Caiano2, Branco Antigo, Aztecão e ST0509) para o ambiente Maringá.

Dentre as variáveis que compõem a eficiência no uso de fósforo, a eficiência de aquisição de P, se mostrou mais relacionada com a eficiência no uso de P e ao rendimento de grãos, indicando grande importância aos mecanismos ligados a aquisição do que as mecanismos relacionados com o uso interno de P

O genótipo ST0509 apresenta elevado potencial para futuros trabalhos de melhoramento para obtenção de populações e/ou linhagens eficientes no uso do P.

REFERÊNCIAS

- ABADIE, T.; CORDEIRO, C.M.T.; ANDRADE, R.V; MAGALHÃES, J.R; PARENTONI, S.N. A coleção nuclear de milho no Brasil. In: UDRY, C. V.; DUARTE, W. **Uma história brasileira do milho no Brasil: o valor dos recursos genéticos**. Brasília: Paralelo 15, 2000. p 65-78
- ABREU, L.; CANSI, E.; JURIATTI, C. Avaliação do rendimento sócio-econômico de variedades crioulas e híbridos comerciais de milho na microregião de Chapecó. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 1, p. 1230-1233, 2007.
- ANDRADE. R. V.; SANTOS, M. X.; FERREIRA, A. S.; OLIVEIRA A. C.; avaliação de acessos de milho crioulo coletados na região central do brasil. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.1, n.2, p.67-74, 2002.
- ANGHINONI, I. Phosphorus forms and availability in Brazilian tropical and subtropical soils under management systems. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHOSPHORUS DYNAMICS IN THE SOIL-PLANT CONTINUUM, 10., 2006, Uberlândia. **Proceedings...** Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2006. p. 13-14
- BÄNZIGER, M.; COOPER, M. Breeding for low input conditions and consequences for participatory plant breeding examples from tropical maize and wheat. **Euphytica**, v. 122, n. 3, p. 503-519, 2001.
- BENNETZEN, J.L.; HAKE, S.C. Handbook of maize: its biology. **Springer Science**, New York. 2009
- CALDERÓN-VÁZQUEZ, C.; SAWERS, R. J. H.; HERRERA-ESTRELLA, L. Phosphate deprivation in maize: Genetics and Genomics. **Plant Physiology**, v.156, p.1067-1077, 2011.
- CARPENTIERI-PÍPOLO, V.; SOUZA, A.; GARBUGLIO. D. D.; SILVA, D. A.; FERREIRA, J. F.; PEREIRA, T. Avaliação de cultivares de milho crioulo em sistema de baixo nível tecnológico. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 32, n. 2, p. 229–233, 2010.
- CECCARELLI, S. Specific adaptation and breeding for marginal conditions. **Euphytica**, v. 77, n. 3, p. 205-219, 1994.
- CHEN, J.; XU, L.; CAI, Y.; XU, J. Identification of QTLs for phosphorus utilization efficiency in maize (*Zea mays* L.) across P levels. **Euphytica**, v.167, p.245-252, 2009.
- CHEN, J.; XU, L.; CAI, Y.; XU, J. QTL mapping of phosphorus efficiency and relative biologic characteristics in maize (*Zea mays* L.) at two sites. **Plant and Soil**, v.313, p.251-266, 2008.

- CIARELLI, D. M. et al. Genetic variation among maize genotypes for phosphorus-uptake and phosphorus-use efficiency in nutrient solution. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 21, n. 10, p. 2219-2229, Nov. 1998.
- CLARK, R. B.; DUNCAN, R. R. Improvement of plant mineral nutrition through breeding. *Field Crops Research*, v. 27, n. 3, p. 219-240, 1991.
- COIMBRA, R. R.; FRITSCHÉ-NETO, R.; COIMBRA, D. B.; NAOE, L. K.; CARDOSO, E. A.; MIRANDA, G. V. Relationship between maize tolerance to low phosphorus content in the soil and the phosphorus responsiveness. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 2, p. 332-339, Mar./Abr. 2014
- COOKE, G. W. Maximizing fertilizer efficiency by overcoming constraints to crop growth. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 10, n. 9/16, p. 1357-1369, 1987.
- CRASWELL, E. T.; GODWIN, D. C. The efficiency of nitrogen fertilizers applied to cereals growing in different climates. In: TINKER, P. B.; LAUCHLI, A. (Ed.). **Advances in plant nutrition**. New York: Praeger, 1984. p. 1-55.
- CRUZ, C.D.; CASTOLDI, F.L. Decomposição da interação genótipos x ambientes em partes simples e complexa. **Revista Ceres**, v.38, p.422-430, 1991.
- CRUZ, C. D.; REGAZZIE, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 2004. v. 1.
- CRUZ, C. D. Genes – a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 35, nº 3, pag. 271-276, 2013.
- CRUZ, J.C. **Cultivo do Milho**, Embrapa Milho e Sorgo Versão Eletrônica <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_7ed/index.htm> Acesso em 15 de julho de 2014.
- COELHO, A. M. **Nutrição e Adubação do Milho** – Circular Técnica 78, Sete Lagoas, mg, 10p, 2006.
- COLLINS, N. C.; TARDIEU, F.; TUBEROSA, R. Quantitative trait loci and crop performance under abiotic stress: where do we stand? **Plant Physiology**, Bethesda, v. 147, p. 469-486, Junho 2008.
- CONAB. COMPANHIA BRASILEIRA DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2015/2016: primeiro levantamento, outubro de 2015. Brasília, 2015. 162p.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, R. G. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. F. et al. (Org.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 91-132.

DOEBLEY, J.; BACIGALUPO, A.; STEC, A. Inheritance of kernel weight in two maize – teosinte hybrid populations: implications for crop evolution. **Journal of Heredity**, Oxford, v. 85, p. 191-195, 1994.

DOVALE, J. C.; FRITSCHÉ-NETO, R. Genetic control of traits associated with phosphorus use efficiency in maize by REML/BLUP. **Revista Ciência Agronômica** (UFC. Online), v. 44, p. 554-563, 2013.

DURÃES, F. O. M.; SANTOS, M. X.; GOMES E GAMA, E. E.; MAGALHÃES, P. C.; ALBUQUERQUE, E. P. E.; GUIMARÃES, C. T. Fenotipagem associada a tolerância a seca em milho para uso em melhoramento, estudos genômicos e seleção assistida por marcadores. **Embrapa Milho e Sorgo**, 2004.

ELSER, J. J. Phosphorus: a limiting nutrient for humanity? **Current Opinion in Biotechnology**, v. 23, n. 6, p. 833-838, 2012.

EMBRAPA. **Milho cultivado no Brasil e banco de germoplasma – uma forma de classificação da variabilidade genética**. Comunicado técnico, Sete lagoas, mg, 11p. 2008

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. – Rio de Janeiro : EMBRAPA-SPI, 306p. 2006.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2006. 403p.

EVANS, M.M.S.; KERMICLE, J.L. Teosinte crossing barrier 1, a locus governing hybridization of teosinte with maize. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 103, p. 259-265, 2001.

FAGERIA N.D.; KLUTHCOUSKI, J. **Metodologia para avaliação de cultivares de arroz e feijão para condições adversas de solo**. Brasília, EMBRAPA/CNPAF. 22p. 1982.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 6-16, 1998.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Screening crop genotypes for mineral stresses. In: ORKSHOP ON ADAPTATION OF PLANTS TO SOIL STRESSES, 1., 1993, Lincoln. **Proceedings...** Lincoln: University of Nebraska, 1993. p. 92.

FAGERIA, N.K. **Maximizing crop yields**. New York: Marcel Dekker, 1992. 274p

FAO. 2010. Prospects for food, nutrition, agriculture and major commodity groups at http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/esag/docs/Interim_report_AT2050web.pdf (verified 02 January 2016).

FAO. 2015. **FAO**. FAO Stat Available at <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> (verified 09 July 2015).

FAQUIN, V. Nutrição mineral de plantas. Lavras:UFLA/FAEPE, 2005. 183p.

FERREIRA, J. M.; MOREIRA, R. M. P.; HIDALGO, J. A. F. Capacidade combinatória e heterose em populações de milho crioulo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, p 332-339, 2009

FIDÉLIS, R. R. et al. Classificação de populações de milho quanto a eficiência e resposta ao uso de fósforo em solos naturais de cerrado. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 3, p. 39-45, julho/setembro. 2008.

FRANZINI, V. I. **Eficiência do uso de fósforo por cultivares de arroz e de feijoeiro e da fixação biológica de nitrogênio por cultivares de feijoeiro**. 2010.189 p. Tese (Doutorado em solos e nutrição de plantas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

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.

FURLANI, A. M. C.; BATAGLIA, O. C.; LIMA, M. Eficiência de linhagens de milho na absorção e utilização de fósforo em solução nutritiva. **Bragantia**, Campinas, v. 44, n. 1, p. 29-147, 1985.

FURTINI, I. V. **Implicações da seleção no feijoeiro efetuada em ambientes contrastantes em níveis de nitrogênio**. 2008. 67 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

FURTINI NETO, A. E. et al. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 252 p.

GALINAT, W.C. The origin of corn. In: SPRAGUE, G. F. (ed). *Corn and Corn Improvement*. Madison: American Sociedade Agronomic, 1977. 47p.

GALINAT, W.C. Evolution of corn. In: SPARKS, D.L. *Advances in agronomy*. London: Academic Press, 1992. 403p.

GALINAT, W. C. El origen del maiz: El grano de la humanidade. The origen of maize: Grain and humanity. **Economic Botany**. New York. p.3-12, 1995.

Gomes, F. P. **Curso de estatística experimental**. 13 ed. Piracicaba: São Paulo, USP/ESALQ, 468p, 1990.

GOODMAN, M.M. A brief survey of the races of maize and current attempts to infer racial relationships. In: WALDEN, D. B. **Maize Breeding and Genetics**, New York, p. 143-158, 1978.

GOODMAN, M.M. Maize. In: SIMONS, N.W.; SMARTT, J. *Evolution of crop plants*. 2.ed. New York: **Longman Scientific Technical**, 1995. 531 p.

- GRAHAM, R. D. Breeding for nutritional characteristics in cereals. In: TINKER, P. B.; LAUCHI, A. (Ed.). **Advances in plant nutrition**. New York: Praeger, 1984. p. 57-102.
- HALLAUER, A.R.; MIRANDA FILHO, J.B. **Quantitative genetics in maize breeding**. Ames: Iowa University Press, 1988. 468p
- HAMMOND, J. P.; BROADLEY, M. R.; WHITE, P. J. Genetic responses to phosphorus deficiency. **Annals of Botany**, v.94, p.323-332, 2004.
- HARLAN, J.R. **Crops and man**. Madison: American Society of Agronomy, 1992. 284 p.
- HARGER, N.; BRITO, O. R.; RALISCH, R.; ORTIZ, F. R.; WATANABE, T. S. Avaliação de fontes e doses de fósforo no crescimento inicial do milho. **Semina. Ciências Agrárias**, Londrina, v.28, p.39-44, jan./mar.2007.
- HAVLIN, J. L. et al. **Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutriente management**. New York: Prentice Hall, 1999. 499 p.
- HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. **Soil fertility and fertilizers**. 7th ed. Upper Saddle River: Pearson Education, 2005. 515p.
- HYLAND, C.; KETTERINGS, Q.; DEWING D.; STOCKIN. K.; CZYMMEK, K. ALBRECHT. G.; GEOHRING. L. **Phosphorus basics: the phosphorus cycle**. New York: Cornell University, 2005. 2 p. (Agronomy Fact Sheet Series).
- IAPAR. **Monitoramento Agroclimático do Paraná**. Londrina, 2014. Disponível em: <<http://200.201.27.14/Site/Sma/Index.html>>. Acesso em 21/07/2014.
- ISRAEL, D. W.; RUFTY, J. W. Influence of phosphorus nutrition on phosphorus and nitrogen utilization efficiencies and associated physiological responses in soybean. **Crop Science**, Madison, v. 28, p. 954-960, 1988.
- JAIN, A.; VASCONCELOS, M. J.; RAGHOTHAMA. K. G.; SAHI. S.V. Molecular mechanisms of plant adaptation to phosphate deficiency. **Plant Breeding Review**. Berlin. Vol. 29, nº 4, p. 359-419, março, 2007.
- KERBAUY, G.B. Fisiologia vegetal. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A, 2004.
- KIDWELL, M.G. Transposable elements and the evolution of genome size in eukaryotes. **Genetica**, Dordrecht, v. 115, p. 49-63, 2002.
- LI, Y. et al. The genetics relationships among plant-height traits found using multiple trait QTL mapping of a dent corn and popcorn cross. **Genome**; Toronto, v.50, n.4, p.357 -364, 2007.
- LIMA FILHO, O. F. Resistência a fatores abióticos: desordens nutricionais. In: DESTRO, D. & MONTALVÁN, R. (Org.). Melhoramento genético de plantas. 1ed.Londrina: EDUEL, 1999, p. 769-810.

LYNCH, J. P. Roots of the second green revolution. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v. 55, nº 5, p 493-512, aug. 2007.

LYNCH, J. P.; HO, M. D. Rhizoeconomics: carbon costs of phosphorus acquisition. **Plant and Soil**, The Hague, v. 269, n. 1/2, p. 45-56, 2005.

MACHADO, C.T. DE T.; FURLANI, A.M.C.; MACHADO, A.T. Índices de eficiência de variedades locais e melhoradas de milho ao fósforo. **Bragantia**, v.60, p.225-238, 2001.

MACHADO, C.T.T.; PATERNIANI, M.L.S. Origem, domesticação e difusão do milho. In: SOARES, A.C.; MACHADO, A.T.; SILVA, B.M.; WEID, VON DER, J.M. Milho crioulo: conservação e uso da biodiversidade. Rio de Janeiro: ASPTA, 1998. 185 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição de plantas**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 2006, 638p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, C.G.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997, 319p.

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

MARANVILLE, J.W.; CLARK, R.B.; ROSS, W.M. Nitrogen efficiency in grain sorghum. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.2, p.577-589, 1980.

MENDES, F. F.; GUIMARÃES, L. J. M.; SOUZA, J. C. SOUZA.; GUIMARÃES, P. E.O.; MAGALHÃES, J. V.; GARCIA, A. A. F.; PARENTONI, S. N.; GUIMARÃES, C. T. Genetic Architecture of Phosphorus Use Efficiency in Tropical Maize Cultivated in a Low-P Soil. **Crop Science**, Madison, vol. 54, julho-agosto, 2014

MENDES, F. F. **Controle genético de características relacionadas à eficiência no uso de fósforo em milho tropical**. 2012. 114 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

MENDES, F. F. et al. Seleção Simultânea para eficiência de uso e resposta ao fósforo em híbridos de milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 6., 2011, Búzios. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRJ, 2011. 1 CD-ROM.

MOLINA, M.C.; POGGIO, L.; NARANJO, C. Cytogenetic analysis in *Zea mays* ssp. *mays* x *Zea mays* ssp. *parviglumis* and *Zea mays* ssp. *mays* x *Zea mays* ssp. *mexicana*. **Maize Genetics Cooperation News Letter**, Missouri, v. 107, n. 66, 1992.

MOLL. R. H.; KEMPRATH. E. J.; JACKSON, W. A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy journal**, Madison, v.74, n.3, p.562-564, Marc. 1981

MURREL, T. S.; FIXEN, P. E. Improving fertilizer P effectiveness: challenges for the future. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PHOSPHORUS DYNAMICS IN THE SOIL-PLANT CONTINUUM, 3., 2006, Uberlândia. **Proceedings**. Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2006. p. 150-151.

NASCIMENTO, W. M. O. GURGEL, F. L.; BHERING, L. L.; RIBEIRO, O. L. Pre-breeding of camucamuzeiro: a study of genetic parameters and dissimilarity. **Revista Ceres**, v. 61, n. 4, p. 538-543, 2014.

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

NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R. F. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 133-204.

OELKERS, E. H.; VALSAMI, J. E. Phosphate mineral reactivity and global sustainability. **Elements**, Raleigh, v. 4, n. 2, p. 83-88, Apr. 2008.

PAABO, S. Neolithic genetic engineering. **Nature**, London, v. 398, n. 6724, p. 194-195, 1999.

PARENTONI, S. N.; MENDES, F. F.; GUIMARÃES, L. J. M. Melhoramento para eficiência no uso de P. In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Visconde do Rio Branco: Suprema, p. 250-255, 2011.

PARENTONI, S. N.; SOUZA, C. L. de. Phosphorus acquisition and internal utilization efficiency in tropical maize genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 7, p. 893-901, julho 2008.

PARENTONI, S. N. et al. Eficiência na utilização de fósforo em genótipos de milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 23., 2000, Uberlândia. **Resumos...** Sete Lagoas: ABMS/EMBRAPA Milho e Sorgo; UFU, 2000. p. 92.

PATERNIANI, E. Diversidade genética e raças de milho no Brasil. In: SOARES, A.C.; MACHADO, A.T.; SILVA, B.M.; WEID, J.M. von der. **Milho crioulo: conservação e uso da biodiversidade**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1998. 185p.

PATERNIANI, E.; CAMPOS, M.S. Melhoramento de milho. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: UFV, 1999. 817p.

PATERNIANI, E.; NASS, L.L.; SANTOS, M. X. dos. O valor dos recursos genéticos de milho para o Brasil- uma abordagem histórica da utilização do germoplasma. In: UDRY, C.V; DUARTE, W. **Uma história brasileira do milho - o valor dos recursos genéticos**/Consolación Villa fañe Udry & Wilton Duarte (org) - Brasília: Paralelo 14, 2000. 136p.

PIPERNO, D.R.; FLANNERY, K.V. The earliest archaeological maize (*Zea mays* L.) from highland Mexico: New accelerator mass spectrometry dates and their

implications. **Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America**, Washington, v. 98, n. 4, p. 2101-2103, 2001.

POGGIO, L.; ROSATO, M.; MAZOTI, L.B.; NARANJO, C.A. Variable meiotic behaviour among plants of an alloplasmic line of maize. **Cytologia**, Tokyo, v. 62, p. 271-274, 1997.

POGGIO, L.; CONFALONIERI, V.; COMAS, C.; GONZALEZ, G.; NARANJO, C.A. Evolutionary relationships in the genus *Zea*: analysis of repetitive sequences used as cytological FISH and GISH markers. *Genetics and Molecular Biology*, Ribeirão Preto, v. 23, n. 4, p. 1021-1027, 2000.

RAMAEKERS, L.; REMANS, R.; RAO, I. M.; BLAIR., M. W.; VANDERLEYDEN, J. Strategies for improving phosphorus acquisition efficiency of crop plants. *Field Crops Research*. Amsterdam, v. 117, n. 1, p. 169-176, 2010.

RICHARDSON, A. E.; LYNCH, J. P.; RYAN, P. R.; DELHAIZE, E.; SMITH, F. A.; SMITH, S. E.; HARVERY, P. R.; RYAN, M. H.; VENEKLAAS, E. J.; LAMBERS, H.; OBERSON, A.; CULVENOR, R. A.; SIMPSON, R. J. Plant and microbial strategies to improve the phosphorus efficiency of agriculture. ***Plant and Soil***, New York, v. 349, n.1, p.121-156, 2011.

ROSADO, A. M.; ROSADO, T. A.; ALVES, A. A.; LAVIOLA, B. G.; BHERINF. L. L. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. ***Pesquisa Agropecuária Brasileira***, v. 47, n. 7, p. 966-973, 2012.

ROSE, T. J.; LIU, L.; WISSUWA, M. Improving phosphorus efficiency in cereal crops: Is breeding for reduced grain phosphorus concentration part of the solution? ***Frontiers in Plant Science***, New York, v.4, n.1, p.1-6, 2013.

SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. ***Ciência Rural***, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 576-586, mar./abr. 2008.

SHENOY, V. V.; KALAGUDI, G.M. Enhancing plant phosphorus use efficiency for sustainable cropping. ***Biotechnol Adv*** 23: 501–513, 2005

SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. ***Journal of Plant Nutrition***, New York, v.4, p.289-302, 1981

SILVA, L. A. **Fenotipagem para a eficiência de fósforo em linhagens de sorgo**. 2012. 98p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”, Jaboticabal.

SILVA, V. M. P.; et al. **Melhoramento genético do porte do feijoeiro**. 2011. 73p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SILVA F. C. da. Manual de análises químicas de solos plantas e fertilizantes. Brasília: EMBRAPA. Comunicação para transferência de tecnologia: Rio de Janeiro: **EMBRAPA Solos**: Campinas: 1999. 370 p.

SMITH, F.W. The phosphate uptake mechanism. **Plant and Soil**. Dordrecht, v. 245, n. 1, p. 105-114, 2002.

SUH, S.; S. YEE. 2011. Phosphorus use-efficiency of agriculture and food system in the US. *Chemosphere* 84(6): 806–13

SYERS, J. K, JOHNSTON, A. E, CURTIN, D. Efficiency of Soil and Fertilizer Phosphorus: Reconciling Changing Concepts of Soil Phosphorus Behaviour with Agronomic Information. FAO, **Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 18**, 2008. Rome, Italy.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TAKAHASHI, C.; MARSHALL, J.A.; BENNETT, M.D.; LEITCH, I.J. Genomic relationships between maize and its wild relatives. **Genome**, Ottawa, v. 42, p. 1201-1207, 1999.

TERRA, T.F. Análises citogenéticas e moleculares em populações de milho (*Zea mays* L.), teosinto (*Zea mexicana*) e em híbridos entre as duas espécies. 2004. 67f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

USDA. 2015. **World Agricultural Supply and Demand Estimates**. United States Dep. Agric.: 1–40 Available at <http://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.pdf> (verified 15 Decemver 2015).

VANCE, C. P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D. L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, Cambridge, v. 157, n. 3, p. 423-447, June 2003.

VASCONCELLOS, C. A.; ALVES, V. M. C.; PARENTONI, S. N.; PITTA, G. V. E. Eficiência no uso de fosforo em genótipos de milho. In: REUNIAO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRICAÇÃO DE PLANTAS, 34 24.; REUNIAO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8.; SIMPOSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6.; REUNIAO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3., 2000, Santa Maria, RS. Guia do congressista. . . Santa Maria, RS: SBCS/UFRGS, 2000. p. 99.

VENEKLAAS, E. J.; LAMBERS, H.; BRAGG, J.; FINNEGAN, P. M.; LOVELOCK, C. E.; PLAXTON, W. C.; PRICE, C. A.; SCHEIBLE, W. R.; SHANE, M. W.; WHITE, P. J.; RAVEN, J. A. Opportunities for improving phosphorus-use efficiency in crop plants. **New Phytologist**, v. 195, n.2, p.306-320, 2012.

WANG, R.L.; STEC, A.; HEY, J.; LUKENS, L.; DOEBLEY, J. The limits of selection during maize domestication. **Nature**, London, v. 398, p. 236-239, 1999.

WANG, X.; SHEN, J.; LIAO, H. Acquisition or utilization, which is more critical for enhancing phosphorus efficiency in modern crops? **Plant Science**, v. 179, n.2, p.302-306, 2010.

WAGATSUMA, E.; GUELLER, J. L.; HORING, C. F.; TSUTSUMI, C, Y. Avaliação de cultivares crioulas de milho em agricultura orgânica no Oeste do Paraná 2005/2007. Revista Brasileira de Agroecologia. Paraná, n.2, out.2007.

WELLHAUSEN, E. J., L. M. ROBERTS, Y E. HERNÁNDEZ X. P. C. MANGELSDORF. **Razas de maíz en México. Su origen, características y distribución.** OEE-SAG. Folheto No.5. México, D. F. 236 p. 1951.

WHITE, S.E.; DOEBLEY, J.F. Of genes and genomes and the origin of maize. Trends in Genetics, Oxford, v. 14, n. 8, 1998.

WISSUWA, M.; MAZZOLA, M. P. C. Novel approaches in plant breeding for rhizosphere-related traits. **Plant Soil**, p.321-409, 2009

ZHANG,J.; PETERSON, T. Genome rearrangements by nonlinear transposons in maize. **Genetics**, Baltimore, v. 153, p. 1403-1410, 1999.