

SELEÇÃO DE POPULAÇÕES BASE DE MILHO SOB ALTA E BAIXA DOSE DE FÓSFORO EM SOLO DE CERRADO¹

Rodrigo Ribeiro Fidelis², Glauco Vieira Miranda³, Eduardo Andrea Lemus Erasmo²

ABSTRACT

SELECTION OF MAIZE BREEDING POPULATIONS UNDER HIGH AND LOW PHOSPHORUS DOSE IN A CERRADO SOIL

The objective of this research was to obtain and select maize base populations, efficient in phosphorus absorption and utilization, in a savannah soil, in the municipality of Gurupi, Tocantins State, Brazil (11°43'S, 49°15'W, altitude 300 m). The study assessed 45 hybrid combinations (populations), derived from crosses among ten commercial hybrids, in a dystrophic red-yellow Latossol (Oxisol), under low (25 kg ha⁻¹ of P₂O₅) and high (113 kg ha⁻¹ of P₂O₅) phosphorus doses. The traits evaluated were grain yield, plant height, ear height, and number of days for female flowering. The data were submitted to variance analyses and the means of genetic treatments were grouped by the Scott-Knott test. The populations with outstanding behavior in both environments and, therefore, most adapted to the target region, are derived from the following crosses: CO 32 x DKB 350, Z 8480 x CO 32, Z 8480 x P30F88, C 901 x CO 32, C 901 x P30F88, Z 8480 x DKB 350, CO 32 x Z 8420, C 901 x Z 8420, C 901 x C 333 B, Z 8420 x DKB 350, C 901 x Z 8480, DKB 350 x Z 8410, P30F88 x Z 8420, AG 9010 x DKB 350, and P 3041 x AG 9010. It was also concluded that the populations show plant height and ear height appropriate for growing in the region, and that the environment with the lowest dose of phosphorus delays the flowering of the populations.

KEY-WORDS: *Zea mays*; P low input; P mineral stress; Cerrado soil.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo a obtenção e a seleção de populações base de milho eficientes na absorção e utilização de fósforo em solo de Cerrado, no município de Gurupi, Estado do Tocantins. O estudo avaliou 45 combinações híbridas (populações), derivadas do cruzamento de dez híbridos comerciais, em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, sob baixa (25 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e alta (113 kg ha⁻¹ de P₂O₅) dose de fósforo. Os caracteres avaliados foram produtividade de grãos, altura da planta, altura da espiga e número de dias para o florescimento feminino. Os dados foram submetidos a análises de variância e as médias dos tratamentos genéticos foram agrupadas pelo teste Scott-Knott. As populações que mostraram comportamento destacado, nos dois ambientes, consideradas mais adaptadas à região alvo deste estudo, derivam dos seguintes cruzamentos: CO 32 x DKB 350, Z 8480 x CO 32, Z 8480 x P30F88, C 901 x CO 32, C 901 x P30F88, Z 8480 x DKB 350, CO 32 x Z 8420, C 901 x Z 8420, C 901 x C 333 B, Z 8420 x DKB 350, C 901 x Z 8480, DKB 350 x Z 8410, P30F88 x Z 8420, AG 9010 x DKB 350 e P 3041 x AG 9010. Concluiu-se, também, que as populações apresentam altura de planta e de espiga adequadas para o cultivo na região e que o ambiente com menor nível de fósforo retarda o florescimento das populações.

PALAVRAS-CHAVE: *Zea mays*; baixo insumo; estresse mineral; solo de Cerrado.

INTRODUÇÃO

O milho “safrinha” é conduzido em sucessão ao cultivo de primavera-verão, sem irrigação. Representa uma alternativa econômica de uso da terra, em períodos após a safra normal, e possibilita a obtenção de melhores preços na colheita, devido à menor oferta do produto nessa época (Picanço et al. 2004). Esse cultivo ocupa, no Brasil, 3 milhões de hectares, com produção de 5 milhões de toneladas e produtividade de 3.600 kg ha⁻¹ (Duarte 2004).

Segundo Duarte et al. (1995), em geral, as baixas temperaturas são a principal limitação para o desenvolvimento do milho “safrinha”. Porém, em algumas regiões, a deficiência hídrica passa a ser o fator mais importante. A temperatura tem grande influência na duração do ciclo do milho, pois condiciona as taxas dos processos fisiológicos, podendo retardá-los ou acelerá-los. Em áreas tropicais, a temperatura é a principal responsável pelas maiores oscilações de produtividade da cultura (Lafitte et al. 1997).

1. Trabalho recebido em mar./2008 e aceito para publicação em out./2009 (n° registro: PAT 3496).

2. Universidade Federal do Tocantins, Campus de Gurupi, Gurupi, TO, Brasil.

E-mails: fidelisrr@uft.edu.br, erasmolemus@uft.edu.br.

3. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Fitotecnia, Viçosa, MG, Brasil. E-mail: glaucovmiranda@ufv.br.

No território brasileiro, os solos ácidos encontram-se, principalmente, na região do Cerrado, ocupando cerca de 204 milhões de hectares do território nacional (Cançado et al. 2002). Essa área ocupa, quase totalmente, a região Centro-Oeste e partes das regiões Norte, Nordeste e Sudeste (Embrapa 1978). Nesse contexto está inserido o Estado do Tocantins, situado na região “Meio-Norte” do país. A baixa fertilidade do solo de Cerrado é bastante conhecida, especialmente no que concerne à sua baixa disponibilidade de fósforo e alta capacidade de fixação deste nutriente (Fageria 1998). De acordo com Silva & Gabelman (1992) e Fageria & Baligar (1997), grande parte dos solos das regiões tropicais e subtropicais é caracterizada pela baixa disponibilidade de fósforo, cuja correção, normalmente, se faz pela adição de altas doses de fertilizantes fosfatados, solução geralmente insatisfatória econômica e ambientalmente.

O fósforo é importante no metabolismo das plantas, desempenhando papel fundamental na transferência de energia na célula, durante a respiração e a fotossíntese (Taiz & Zeiger 2004). Além disso, é componente estrutural dos ácidos nucleicos, que constituem genes e cromossomos, assim como de muitas coenzimas, fosfoproteínas e fosfolípidos (Lehninger et al. 1995). As limitações na disponibilidade de P, no início do ciclo vegetativo, podem resultar em restrições no desenvolvimento, das quais a planta não se recupera, posteriormente, mesmo aumentando-se o suprimento de P a níveis adequados. Como resultado, os sintomas de deficiência de P incluem diminuição na altura da planta, atraso na emergência das folhas e redução na brotação e desenvolvimento de raízes secundárias, assim como na produção de matéria seca e sementes (Grant et al. 2001).

A obtenção de plantas mais eficientes na utilização de fósforo é a maneira mais econômica de se reduzir os custos de produção de determinada cultura, especialmente nas condições de Cerrado (Sant’ana et al. 2003). De acordo com Machado et al. (1999), a eficiência na absorção de fósforo é de fundamental importância para a cultura do milho, especialmente em condições de agricultura familiar, cujos agricultores não têm recursos para adubação da cultura.

A eficiência é definida como a capacidade de determinado genótipo adquirir o nutriente para incorporá-lo e utilizá-lo na produção de biomassa ou material vegetal de rendimento econômico (Blair 1993). No caso de cereais, essa produção inclui, especialmente, os grãos. Segundo Gourley

et al. (1994), os critérios ou definições de eficiência são vários e, geralmente, dividem-se entre os que enfatizam a produtividade e aqueles que enfatizam o requerimento interno do nutriente na planta, que são dependentes de características morfológicas, bioquímicas e fisiológicas.

A existência de diversidade genética é fundamental para o estabelecimento de programas de melhoramento que visem ao desenvolvimento de cultivares tolerantes a esse tipo de deficiência edáfica. Felizmente, a ocorrência de variabilidade genotípica inter e intraespecífica, quanto à absorção, translocação, distribuição e uso de fósforo, bem como para tolerância ao baixo teor de P, tem sido relatada em várias espécies: feijão (Fageria 1998), arroz (Chaubey et al. 1994) e milho (Silva & Gabelman 1992, Machado et al. 1999).

No caso do milho, segundo Machado & Magnavaca (1991), a variabilidade do germoplasma disponível é suficiente para a obtenção de ganhos genéticos e desenvolvimento de genótipos adaptados às condições adversas de clima e solo. A identificação de cultivares de milho eficientes na absorção e uso do fósforo, bem como o conhecimento dos mecanismos responsáveis por esta eficiência, é de extrema importância, face à demanda por produtividades elevadas, mesmo em solos de baixa fertilidade natural e sob redução no uso de fertilizantes (Machado et al. 2001). Dessa forma, o uso de genótipos eficientes na absorção e utilização de fósforo pode ser solução complementar para se aumentar a produtividade e reduzir o custo de produção, especialmente nas condições de Cerrado (Fageria 1998, Sant’ana et al. 2003).

A detecção e possibilidade de exploração e uso das diferenças genotípicas em milho, no que tange à eficiência na absorção e uso de fósforo, apresenta-se como uma das estratégias viáveis para se contornar o problema da falta desse elemento nas regiões tropicais e subtropicais (Machado et al. 1999). No aspecto nutricional, um genótipo eficiente à baixa disponibilidade de P no solo pode ser definido como aquele capaz de crescer satisfatoriamente, sendo capaz de absorver o nutriente, distribuí-lo internamente e/ou dele fazer melhor uso para produzir biomassa (Oliveira et al. 1999). Dessa forma, o desenvolvimento de genótipos de milho, adaptados a condições adversas de fertilidade do solo, especialmente deficiência de fósforo, representa fator adicional para se melhorar a eficácia no uso do adubo fosfatado e a sustentabilidade do sistema produtivo, notadamente em condições de pequeno produtor (Machado et al. 1999).

Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo a obtenção e a identificação de populações base de milho eficientes na absorção e utilização de fósforo, em solo de Cerrado, no sul do Estado do Tocantins, com ênfase na produtividade de grãos.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a obtenção das populações, no primeiro semestre de 2003, em Viçosa, MG (Estação Experimental Diogo Alves de Melo, Universidade Federal de Viçosa), montou-se um dialelo parcial, envolvendo dez cultivares comerciais de milho, cujas características são apresentadas na Tabela 1. Assim, foram constituídos 45 tratamentos experimentais (populações), correspondendo a 44 combinações híbridas (o híbrido AG 9010 x CO 32 não foi obtido), mais a variedade Nativo, utilizada como testemunha. Essas cultivares foram oriundas de diferentes programas de melhoramento, sendo consideradas com potencial produtivo satisfatório, de adaptação a solos ácidos e com tolerância à toxidez de alumínio. Os cruzamentos foram feitos no esquema de fileiras pareadas, sendo realizados manualmente, planta a planta, de maneira que cada combinação híbrida foi representada por, pelo menos, cinquenta espigas.

A avaliação dos tratamentos genéticos foi conduzida em dois experimentos (sob baixo e elevado níveis de fósforo), em Gurupi (TO), na área Experimental da Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário (11°43' de latitude Sul, 49°15' de longitude Oeste e altitude de 300 m). Em ambos, o delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com duas repetições. Cada parcela experimental foi constituída por duas fileiras de 5,0 m de comprimento, com espaçamento entre fileiras de 0,90 m e 0,20 m

entre plantas na fileira. O estande final estimado, após o desbaste, foi de 55.555 plantas ha⁻¹.

O solo onde se instalou o experimento (Tabela 2), classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, encontrava-se sob vegetação natural de Cerrado, ou seja, nunca havia sido preparado para receber qualquer cultura. O plantio foi realizado em fevereiro do ano agrícola 2003/2004, época mais indicada para a semeadura do milho “safrinha” na região sul do Estado do Tocantins, em solos de terras altas.

Foi utilizado o preparo convencional do solo, com uma aração e duas gradagens. A adubação de semeadura foi realizada utilizando-se 23 kg ha⁻¹ de N, na forma de sulfato de amônio, e 68 kg ha⁻¹ de K₂O. Para simular os ambientes com baixo e alto níveis de fósforo, foram utilizadas as doses 25 kg ha⁻¹ e 113 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente. Em ambas as situações, contudo, não foi feita a correção da acidez do solo. Assim, a primeira condição ficou caracterizada como de duplo estresse (baixo P e ausência da correção) e a segunda apenas pela ausência dessa correção. A adubação de cobertura foi feita utilizando-se 120 kg ha⁻¹ de nitrogênio, também na forma de sulfato de amônio, parcelada em duas vezes: a primeira no estágio fenológico de quatro folhas e a segunda no de oito folhas completamente expandidas (Ritchie et al. 1993). Os tratamentos fitossanitários foram efetuados mediante aplicação de herbicidas e inseticidas, com produtos recomendados para a cultura do milho (Fancelli & Dourado Neto 2000).

As seguintes variáveis foram avaliadas: produtividade de grãos (PG), obtida a partir do peso de grãos por parcela, transformado para kg ha⁻¹ e corrigido para 13% de umidade; altura da planta (AP), medida em centímetros, após o pendoamento, da superfície do solo à inserção da folha bandeira, em cinco plantas competitivas por parcela; altura de espiga (AE), também medida em centímetros e após o pendoamento, da superfície do solo à inserção da espiga superior no colmo, nas mesmas cinco plantas avaliadas para AP; e dias para florescimento feminino (FF), correspondente ao número de dias decorrentes

Tabela 1. Identificação e características das cultivares comerciais utilizadas como genitores ou testemunha experimental (T).

| Cultivar | Tipo | Ciclo | Tipo de grão |
|------------|--------------------------------|--------------|--------------|
| C 901 | Híbrido simples | Superprecoce | Semiduro |
| P 3041 | Híbrido triplo | Precoce | Duro |
| AG 9010 | Híbrido simples modificado | Superprecoce | Semiduro |
| Z 8480 | Híbrido simples | Precoce | Semiduro |
| C 333 B | Híbrido simples modificado | Semiprecoce | Semiduro |
| Z 8420 | Híbrido simples | Precoce | Duro |
| Z 8410 | Híbrido simples | Precoce | Duro |
| P 30F88 | Híbrido simples | Semiprecoce | Duro |
| CO 32 | Híbrido triplo | Precoce | Semiduro |
| DKB 350 | Híbrido simples | Precoce | Semiduro |
| Nativo (T) | Variedade de polinização livre | Precoce | Semiduro |

Tabela 2. Resultado da análise química do solo, em que se conduziram os experimentos de avaliação das combinações híbridas.

| Profundidade | Ca | Mg | H+Al | K | P (Mel.) | MO | pH | CaCl ₂ |
|--------------|-----|------------------------------------|------|----|---------------------|-----|----|-------------------|
| cm | — | cmol _c dm ⁻³ | — | — | mg dm ⁻³ | % | | |
| 0-20 | 1,8 | 0,9 | 4,5 | 91 | 0,7 | 3,1 | | 4,7 |

da emergência até a emissão da inflorescência feminina (boneca), em 50% das plantas da parcela.

Os dados experimentais foram submetidos a análises individual e conjunta de variância, com aplicação do teste F. A análise conjunta foi realizada sob condições de homogeneidade das variâncias residuais. Para as comparações entre as médias de tratamentos, foi utilizado o teste Scott-Knott (Scott & Knott 1974), a 5% de probabilidade, o que foi feito utilizando-se o aplicativo computacional SAEG (Ribeiro Júnior 2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância mostrou efeitos significativos para os tratamentos genéticos (populações) e para os ambientes (alto e baixo P), em todas as características avaliadas (Tabela 3). Revelou, ainda, que, para as características altura de planta e de espiga, não houve interação significativa, ou seja, o comportamento das populações mostrou-se independente dos ambientes representados pelos níveis de fósforo e, por isso, esses fatores foram estudados isoladamente. Já para as características produtividade de grãos e dias para o florescimento feminino, houve interação significativa, mostrando que os níveis de fósforo podem ter influenciado, de forma diferenciada, as combinações híbridas em estudo. Dessa forma, para estas variáveis, foi realizado o desdobramento dos fatores (estudo de populações dentro de ambientes).

Para produtividade de grãos, no ambiente em que foi aplicada alta dose de fósforo (113 kg ha⁻¹), as populações foram divididas em dois grupos de médias, pelo teste Scott-Knott (Tabela 4). Assim, manifestaram, sobretudo, estresse referente à falta

de correção da acidez do solo, condição muito comum, principalmente entre pequenos produtores da região. O grupo mais produtivo foi constituído de 28 combinações híbridas, com produtividades variando entre 601,9 kg ha⁻¹ e 1402,8 kg ha⁻¹. O grupo menos produtivo foi constituído por 16 combinações híbridas e pela testemunha Nativo, com produtividades entre 129,6 kg ha⁻¹ e 537,1 kg ha⁻¹.

Estas produtividades são consideradas muito baixas para a região - média regional de 1.960 kg ha⁻¹ e estadual de 2.650,0 kg ha⁻¹ (Conab 2008). Entretanto, deve-se considerar que não se tratam de cultivares comerciais e sim de populações que ainda não passaram por qualquer processo de seleção, isto é, representam populações base em potencial. Logo, pode-se inferir que existe variabilidade genética entre os genótipos avaliados para o estresse solos ácidos e que tal variabilidade pode servir de fonte de seleção para obtenção de cultivares comerciais adaptadas à região alvo da presente pesquisa.

O alto coeficiente de variação (CV = 43%), para a variável produtividade de grãos, compromete tais inferências. Entretanto, é importante ressaltar que valores elevados não são, necessariamente, considerados inadequados para ensaios sob condições de estresse (Blum 1988). Gama et al. (2002) encontraram coeficiente de variação de 27,5%, sob ambiente de estresse mineral, e Santos et al. (1998) obtiveram valores de CV de 22,3% e 23,4%, nos ambientes de N+ (100 kg ha⁻¹ de N) e N- (sem adubação), respectivamente. No presente estudo, como foi realizada a análise conjunta dos experimentos, o ambiente de intenso estresse (baixo P e ausência de correção da acidez do solo) foi o que contribuiu mais para elevar o valor final desse coeficiente.

Tabela 3. Resumo das análises de variância para produtividade de grãos (PG), dias para o florescimento feminino (FF), altura da planta (AP) e altura da espiga (AE) de populações de milho cultivadas em dois ambientes (ensaios sob baixa e alta dose de fósforo).

| FV | GL | Quadrado Médio | | | |
|-----------------|----|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | PG | FF | AP | AE |
| | | kg ha ⁻¹ | dias | cm | cm |
| Blocos/Ensaio | 2 | 41689,59 ^{ns} | 2,2767 ^{**} | 471,6384 ^{ns} | 281,9617 [*] |
| Populações (P) | 44 | 121191,6 ^{**} | 17,05556 ^{**} | 289,5122 ^{**} | 126,7985 ^{**} |
| Ambiente (A) | 1 | 2125760 ^{**} | 520,2 ^{**} | 34794,88 ^{**} | 13062,02 ^{**} |
| Interação P x A | 44 | 78866,47 [*] | 7,677272 [*] | 106,1040 ^{ns} | 39,16759 ^{ns} |
| Resíduo | 88 | 50703,68 | 4,7955 | 119,19 | 58,82 |
| Média geral | - | 529,40 | 68,56 | 124,21 | 49,99 |
| CV (%) | - | 42,78 | 3,21 | 8,84 | 15,43 |

^{ns}: valores não significativos; * e **: valores significativos, pelo teste F, a 5% ou 1% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 4. Médias de produtividade de grãos (PG) e dias para o florescimento feminino (FF), em populações de milho e suas procedências (cruzamentos), cultivadas em solo de Cerrado, sob condições de alta e baixa dose de fósforo (P), na região sul do Estado do Tocantins (Gurupi, TO, 2003/2004).

| População | Cruzamento | PG | | FF | |
|-------------|-------------------|-----------------------|---------|--------|---------|
| | | Alto P | Baixo P | Alto P | Baixo P |
| | | kg ha ⁻¹ | | dias | |
| UFVM77-0387 | Z 8420 x Z 8410 | 1402,8 a ¹ | 305,6 b | 66,0 b | 71,0 a |
| UFVM77-0361 | P30F88 x C 333 B | 1095,4 a | 328,7 b | 69,0 a | 72,5 a |
| UFVM77-0371 | C 333 B x CO 32 | 1046,3 a | 129,6 b | 67,0 a | 75,0 a |
| UFVM77-0389 | DKB 350 x Z 8410 | 953,7 a | 525,9 a | 65,0 b | 70,5 a |
| UFVM77-0381 | CO 32 x DKB 350 | 902,8 a | 899,1 a | 67,0 a | 70,5 a |
| UFVM77-0379 | CO 32 x Z 8420 | 868,5 a | 663,9 a | 67,5 a | 70,0 a |
| UFVM77-0365 | P30F88 x Z 8420 | 868,5 a | 525,0 a | 66,5 b | 70,5 a |
| UFVM77-0305 | C 901 x Z 8480 | 837,0 a | 574,1 a | 69,0 a | 68,0 b |
| UFVM77-0319 | P 3041 x AG 9010 | 832,4 a | 478,7 a | 66,0 b | 68,0 b |
| UFVM77-0385 | Z 8420 x DKB 350 | 811,1 a | 601,9 a | 69,0 a | 67,0 b |
| UFVM77-0307 | C 901 x P30F88 | 803,7 a | 688,0 a | 67,5 a | 66,0 b |
| UFVM77-0329 | P 3041 x Z 8420 | 770,4 a | 416,7 b | 70,0 a | 73,5 a |
| UFVM77-0367 | P30F88 x DKB 350 | 763,9 a | 234,3 b | 68,0 a | 73,5 a |
| UFVM77-0375 | C 333 B x DKB 350 | 759,3 a | 171,3 b | 68,5 a | 68,5 b |
| UFVM77-0309 | C 901 x C 333 B | 754,6 a | 613,9 a | 65,5 b | 73,0 a |
| UFVM77-0301 | C 901 x P 3041 | 745,4 a | 277,8 b | 66,0 b | 71,5 a |
| UFVM77-0331 | P 3041 x DKB 350 | 731,5 a | 402,8 b | 71,0 a | 74,0 a |
| UFVM77-0357 | Z 8480 x DKB 350 | 689,8 a | 678,7 a | 68,5 a | 72,0 a |
| UFVM77-0311 | C 901 x CO 32 | 689,8 a | 717,6 a | 64,5 b | 67,5 b |
| UFVM77-0325 | P 3041 x C 333 B | 675,9 a | 110,2 b | 67,0 a | 77,0 a |
| UFVM77-0327 | P 3041 x CO 32 | 675,9 a | 388,9 b | 65,0 b | 72,0 a |
| UFVM77-0349 | Z 8480 x P30F88 | 640,7 a | 732,4 a | 69,0 a | 71,5 a |
| UFVM77-0333 | P 3041 x Z 8410 | 638,9 a | 328,7 b | 65,5 b | 73,5 a |
| UFVM77-0353 | Z 8480 x CO 32 | 634,3 a | 789,8 a | 65,5 b | 71,5 a |
| Nativo | - | 620,4 a | 20,4 b | 69,0 a | 76,0 a |
| UFVM77-0313 | C 901 x Z 8420 | 612,1 a | 642,6 a | 65,0 b | 66,5 b |
| UFVM77-0343 | AG 9010 x Z 8420 | 605,6 a | 331,5 b | 64,5 b | 64,5 b |
| UFVM77-0345 | AG 9010 x DKB 350 | 601,9 a | 484,3 a | 64,0 b | 69,5 b |
| UFVM77-0377 | C 333 B x Z 8410 | 537,1 b | 208,3 b | 69,0 a | 74,0 a |
| UFVM77-0323 | P 3041 x P30F88 | 478,7 b | 359,3 b | 67,0 a | 69,0 b |
| UFVM77-0347 | AG 9010 x Z 8410 | 453,7 b | 553,7 a | 68,0 a | 67,0 b |
| UFVM77-0303 | AG 9010 x C 901 | 451,9 b | 444,4 b | 66,5 b | 65,0 b |
| UFVM77-0351 | Z 8480 x C 333 B | 440,7 b | 557,4 a | 70,0 a | 71,5 a |
| UFVM77-0317 | C 901 x Z 8410 | 429,6 b | 412,0 b | 65,0 b | 69,0 b |
| UFVM77-0363 | P30F88 x CO 32 | 425,9 b | 361,1 b | 65,0 b | 67,0 b |
| UFVM77-0335 | AG 9010 x Z 8480 | 421,3 b | 328,7 b | 64,5 b | 67,0 b |
| UFVM77-0383 | CO 32 x Z 8410 | 416,7 b | 299,1 b | 66,5 b | 69,0 b |
| UFVM77-0315 | C 901 x DKB 350 | 415,7 b | 333,3 b | 69,0 a | 72,0 a |
| UFVM77-0355 | Z 8480 x Z 8420 | 407,4 b | 295,4 b | 67,5 a | 72,5 a |
| UFVM77-0339 | AG 9010 x C 333 B | 407,4 b | 194,4 b | 64,0 b | 65,0 b |
| UFVM77-0321 | P 3041 x Z 8480 | 328,7 b | 365,7 b | 65,5 b | 71,0 a |
| UFVM77-0373 | C 333 B x Z 8420 | 324,1 b | 477,8 a | 68,5 a | 71,0 a |
| UFVM77-0337 | AG 9010 x P30F88 | 306,5 b | 185,2 b | 65,0 b | 67,5 b |
| UFVM77-0359 | Z 8480 x Z 8410 | 304,6 b | 407,4 b | 64,5 b | 70,5 a |
| UFVM77-0369 | P30F88 x Z 8410 | 129,6 b | 86,1 b | 67,0 a | 69,0 b |
| Média | - | 638,1 | 420,7 | 66,9 | 70,3 |

¹ Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, pertencem ao mesmo grupo estatístico, pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

No ambiente sob duplo estresse, ou seja, de baixa aplicação de P (25 kg ha⁻¹), e em solo natural (sem correção da acidez), encontrado frequentemente em pequenas propriedades agrícolas da região, similarmente ao ambiente sem estresse de P, as populações também foram divididas em dois grupos estatísticos, quanto à produtividade de grãos (Tabela 4). O grupo mais produtivo foi composto por dezoito combinações híbridas, com médias entre 477,8 kg ha⁻¹ e 899,1 kg ha⁻¹, revelando diversidade genética e potencial para ser utilizado em programas de melhoramento de milho voltados a pequenos agricultores, que se caracterizam pela utilização de pouca ou nenhuma tecnologia. Esta superioridade, provavelmente, decorre da existência de diferenças adaptativas entre os materiais avaliados, quanto à produtividade de grãos e à eficiência na absorção de fósforo em solo de Cerrado, tal como reportam Fernandes (2001) e Fernandes & Muraoka (2002).

Os dados climáticos, obtidos durante o ciclo da cultura e período de realização do experimento, são mostrados na Figura 1. A precipitação pluvial total ocorrida foi em torno de 863 mm, considerada satisfatória para a cultura do milho (Fancelli & Dourado Neto 2000), embora a utilização de irrigação suplementar tenha sido necessária nos períodos mais críticos da cultura: emergência, florescimento e formação dos grãos. De maneira geral, as temperaturas médias, tanto máximas como mínimas, também estiveram dentro dos limites tolerados pela cultura e não variaram muito no período, ficando a máxima em torno de 36°C e a mínima em 24°C, com média em torno de 29°C.

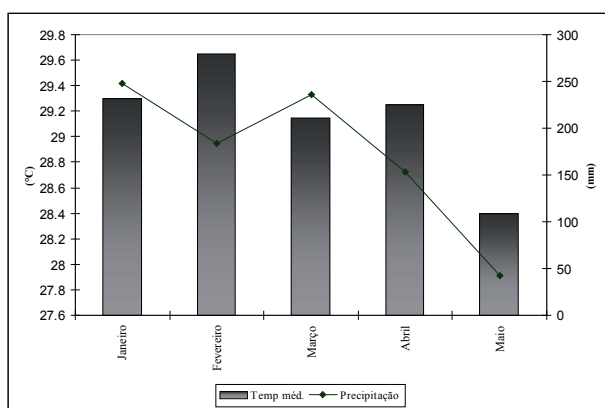


Figura 1. Dados climáticos de temperatura média (°C) e precipitação pluvial (mm), durante os estágios de desenvolvimento de populações de milho, registrados no ano agrícola de 2003/2004, em Gurupi, TO.

De acordo com Fancelli & Dourado Neto (2000), o rendimento do milho pode ser reduzido, quando da ocorrência de temperaturas acima de 35°C, conforme se constatou no presente estudo. Tal efeito está relacionado à diminuição da atividade da redutase do nitrato e consequente interferência no processo de transformação do nitrogênio. A elevação da temperatura contribui, ainda, para a redução da taxa fotossintética líquida, em função do aumento da respiração, interferindo, diretamente, na produção de grãos. Assim, altas temperaturas prevalentes no período noturno (maior que 24°C) promovem um consumo energético elevado, em função do incremento da respiração celular, ocasionando menor saldo de fotoassimilados, com consequente queda no rendimento da cultura. Da mesma maneira, temperaturas acima de 32°C reduzem, sensivelmente, a germinação do grão de pólen, por ocasião de sua emissão.

No Estado do Tocantins, onde o cultivo do milho é realizado, principalmente, por pequenos agricultores, quase sempre em condições de estresse mineral e, necessariamente, sob altas temperaturas, a identificação de genótipos que possuem capacidade de absorver e utilizar o fósforo, de forma eficiente, é, portanto, uma forma de incrementar e fomentar a produção de milho na região. Dessa maneira, o desenvolvimento de cultivares, a partir desse grupo, com características favoráveis, em termos de eficiência no uso do P, pode ser interessante a pequenos agricultores que cultivam o milho em áreas e situações de estresses ambientais.

As populações e seus respectivos cruzamentos (entre parênteses), que compuseram o melhor grupo estatístico nos dois ambientes (baixo e alto P), para a característica produção de grãos, foram: UFVM77-0381 (CO 32 x DKB 350), UFVM77-0353 (Z 8480 x CO 32), UFVM77-0349 (Z 8480 x P30F88), UFVM77-0311 (C 901 x CO 32), UFVM77-0307 (C 901 x P30F88), UFVM77-0357 (Z 8480 x DKB 350), UFVM77-0379 (CO 32 x Z 8420), UFVM77-0313 (C 901 x Z 8420), UFVM77-0309 (C 901 x C 333 B), UFVM77-0385 (Z 8420 x DKB 350), UFVM77-0305 (C 901 x Z 8480), UFVM77-0389 (DKB 350 x Z 8410), UFVM77-0365 (P30F88 x Z 8420), UFVM77-0345 (AG 9010 x DKB 350) e UFVM77-0319 (P 3041 x AG 9010). Estas podem, portanto, ser consideradas mais adaptadas às condições do Cerrado, no sul do Estado do Tocantins. Como tais populações se destacaram

nos dois ambientes, podem ser alvo de seleção em programa de melhoramento, visando à obtenção de cultivares para condições adversas ou não, em termos de disponibilidade de P. Machado et al. (1999) avaliaram diferentes cultivares de milho (genótipos locais e melhorados), quanto à eficiência no uso do P em campo, e identificaram o híbrido P 6875 como adaptado ao cultivo, tanto em condições adversas, como em sistemas produtivos de elevado nível tecnológico.

É importante ressaltar que os valores de produtividade de grãos observados, apesar de muito baixos, em comparação aos de regiões produtoras de milho no país e à própria região, já refletem algum sucesso do programa de melhoramento de plantas, para as condições em estudo, no Estado do Tocantins. Isso porque, como já se comentou, tais rendimentos foram alcançados na geração da população base, ou seja, sem, ainda, qualquer ciclo seletivo.

Para o caráter número de dias para o florescimento feminino, observou-se a formação de dois grupos estatísticos de médias genótípicas, tanto em ambiente de alto quanto de baixo fósforo (Tabela 4). No ambiente de alto P, o grupo que apresentou maiores médias foi constituído por 22 combinações híbridas e pela variedade Nativo, com variação entre 71 e 67 dias. O grupo de ciclo mais curto, também constituído por 22 combinações híbridas, teve entre 64,0 e 66,5 dias para o início desse florescimento. Já no ambiente de baixo P, o grupo que apresentou maior número de dias para o florescimento feminino foi constituído por 25 combinações híbridas e pela variedade Nativo, com variação entre 70,0 e 77,0 dias. Já o grupo mais precoce foi constituído por 19 combinações híbridas, com variação entre 64,5 e 69,5 dias. Observa-se, portanto, que o ambiente em que se empregou o menor nível de fósforo retardou o florescimento das populações, tornando-as de ciclo mais longo. Rocha (2003) também concluiu que cultivares de milho submetidas a situações ambientais adversas retardam o seu florescimento.

Cultivares que apresentam elevadas alturas de planta e de espiga são consideradas inadequadas no sistema produtivo moderno, pois aumentam os riscos de acamamento e quebraimento de plantas. No Estado do Tocantins, valores abaixo de 220 cm, para a altura de plantas, e de 120 cm, para a altura de espiga, são considerados desejáveis (Fidelis 2003). Para altura de

espiga, não houve diferenciação estatística ($p > 0,05$) entre as populações (Tabela 5), as quais apresentaram médias variando entre 32,8 cm (UFVM77-0339) e 66,3 cm (Nativo), o que não é considerado elevado para a região.

Quanto à altura de plantas, houve a formação de dois grupos de populações (Tabela 5). O grupo que apresentou maiores médias foi constituído por 11 combinações híbridas e pela variedade Nativo, com médias entre 128,4 cm e 146,8 cm. Observe, portanto, que mesmo o grupo com médias mais elevadas ainda pode ser considerado com altura de planta adequada para a região (até 220 cm). As demais combinações híbridas, que compuseram o grupo com as menores alturas, apresentaram médias variando entre 109,1 cm e 127,4 cm.

Durante a condução dos ensaios, as populações apresentaram crescimento reduzido, com plantas raquíticas, expressando sintomas de deficiência nutricional generalizada. Estes efeitos foram mais acentuados nas condições em que se empregou o baixo nível de fósforo, ou seja, onde ocorreu duplo estresse - baixo fósforo e elevada acidez (Tabela 6). Taiz & Zeiger (2004) constataram que plantas submetidas à deficiência de P, principalmente quando jovens, têm seu crescimento reduzido, com conseqüente comprometimento da produção. Fernandes (2001) e Fernandes & Muraoka (2002) avaliaram trinta híbridos de milho recomendados para a região do Cerrado, em condições de solo natural e cultivado, e também constataram que, no solo natural, durante todo o ciclo, as plantas apresentaram reduzido crescimento e permaneceram raquíticas, devido à falta de fósforo.

Como era de se esperar, o ambiente em que foi empregado o maior nível de fósforo proporcionou maior produtividade de grãos, altura de plantas e altura de espigas, em relação ao ambiente com menor nível de fósforo (Tabela 6). De acordo com Grant et al. (2001), geralmente, o estresse de P diminui o número de espigas férteis e de grãos por espiga, resultando em menor produtividade de grãos.

Esses resultados corroboram, também, os obtidos por Lucena et al. (2000), que relataram que o fósforo, juntamente com o nitrogênio, é o nutriente, em condições naturais, que mais limita a produção de grãos no Brasil, especialmente em gramíneas. A deficiência de fósforo limita a produtividade do milho, contribuindo para a colheita de espigas mal formadas, tortas e com maturação retardada e desuniforme.

Tabela 5. Médias de altura da planta (AP) e altura de espiga (AE), em populações de milho e suas procedências (cruzamentos), cultivadas em solo de Cerrado, sob condições de alto e baixo fósforo, na região sul do Estado do Tocantins (Gurupi, TO, 2003/2004).

| População | Cruzamento | AP AE | |
|-------------|-------------------|----------------------|--------|
| | | cm | |
| UFVM77-0389 | DKB 350 x Z 8410 | 118,1 b ¹ | 45,6 a |
| UFVM77-0331 | P 3041 x DKB 350 | 139,7 a | 54,4 a |
| UFVM77-0381 | CO 32 x DKB 350 | 112,8 b | 45,7 a |
| UFVM77-0345 | AG 9010 x DKB 350 | 115,5 b | 44,0 a |
| UFVM77-0353 | Z 8480 x CO 32 | 128,4 a | 50,9 a |
| UFVM77-0307 | C 901 x P30F88 | 132,6 a | 59,2 a |
| UFVM77-0379 | CO 32 x Z 8420 | 115,3 b | 48,6 a |
| UFVM77-0367 | P30F88 x DKB 350 | 127,4 b | 54,8 a |
| UFVM77-0337 | AG 9010 x P30F88 | 111,8 b | 40,8 a |
| UFVM77-0349 | Z 8480 x P30F88 | 122,4 b | 50,5 a |
| UFVM77-0385 | Z 8420 x DKB 350 | 121,6 b | 42,3 a |
| UFVM77-0305 | C 901 x Z 8480 | 123,2 b | 54,6 a |
| UFVM77-0333 | P 3041 x Z 8410 | 120,7 b | 47,2 a |
| UFVM77-0313 | C 901 x Z 8420 | 121,8 b | 51,4 a |
| UFVM77-0343 | AG 9010 x Z 8420 | 121,7 b | 46,9 a |
| UFVM77-0377 | C 333 B x Z 8410 | 122,5 b | 48,1 a |
| UFVM77-0329 | P 3041 x Z 8420 | 126,3 b | 53,0 a |
| UFVM77-0371 | C 333 B x CO 32 | 116,3 b | 45,7 a |
| UFVM77-0351 | Z 8480 x C 333 B | 120,2 b | 50,0 a |
| UFVM77-0357 | Z 8480 x DKB 350 | 116,5 b | 45,0 a |
| UFVM77-0365 | P30F88 x Z 8420 | 125,0 b | 54,6 a |
| UFVM77-0361 | P30F88 x C 333 B | 137,3 a | 61,2 a |
| UFVM77-0375 | C 333 B x DKB 350 | 124,2 b | 48,2 a |
| UFVM77-0387 | Z 8420 x Z 8410 | 118,9 b | 50,5 a |
| UFVM77-0311 | C 901 x CO 32 | 121,3 b | 49,0 a |
| UFVM77-0323 | P 3041 x P30F88 | 123,0 b | 52,9 a |
| UFVM77-0319 | P 3041 x AG 9010 | 131,3 a | 52,3 a |
| UFVM77-0301 | C 901 x P 3041 | 133,9 a | 53,4 a |
| UFVM77-0303 | AG 9010 x C 901 | 116,8 b | 45,3 a |
| UFVM77-0315 | C 901 x DKB 350 | 115,6 b | 46,6 a |
| UFVM77-0339 | AG 9010 x C 333 B | 111,7 b | 32,8 a |
| UFVM77-0383 | CO 32 x Z 8410 | 125,5 b | 51,8 a |
| UFVM77-0373 | C 333 B x Z 8420 | 126,2 b | 51,6 a |
| UFVM77-0347 | AG 9010 x Z 8410 | 122,4 b | 51,9 a |
| UFVM77-0321 | P 3041 x Z 8480 | 139,6 a | 54,8 a |
| UFVM77-0363 | P30F88 x CO 32 | 140,5 a | 54,5 a |
| UFVM77-0317 | C 901 x Z 8410 | 120,6 b | 48,4 a |
| UFVM77-0325 | P 3041 x C 333 B | 129,3 a | 49,7 a |
| UFVM77-0359 | Z 8480 x Z 8410 | 124,8 b | 49,8 a |
| UFVM77-0335 | AG 9010 x Z 8480 | 126,3 b | 44,0 a |
| UFVM77-0355 | Z 8480 x Z 8420 | 109,1 b | 44,6 a |
| UFVM77-0327 | P 3041 x CO 32 | 136,9 a | 56,6 a |
| UFVM77-0309 | C 901 x C 333 B | 130,8 a | 52,3 a |
| UFVM77-0369 | P30F88 x Z 8410 | 117,1 b | 47,4 a |
| Nativo | - | 146,8 a | 66,3 a |
| Média | - | 124,2 | 48,7 |

¹ Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, pertencem ao mesmo grupo estatístico, pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Tabela 6. Médias de produtividade de grãos (PG), dias para o florescimento feminino (FF), altura da planta (AP) e altura da espiga (AE), em populações de milho sob alta (112,5 kg ha⁻¹) e baixa (25 kg ha⁻¹) dose de fósforo, em solo de Cerrado, na região sul do Estado do Tocantins (Gurupi, TO, 2003/2004).

| Nível de fósforo | PG | FF | AP AE | |
|------------------|----------------------|--------|---------|--------|
| | | | cm | |
| Alto | 638,1 a ¹ | 66,9 b | 135,8 a | 57,9 a |
| Baixo | 420,7 b | 70,3 a | 106,8 b | 39,6 b |

¹ Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem pelo teste F, a 1% de probabilidade.

CONCLUSÕES

1. As populações base que se destacaram em produtividade de grãos, nos dois ambientes avaliados (baixo e alto níveis de fósforo), em solo de Cerrado, no sul do Estado do Tocantins, derivam dos seguintes cruzamentos: CO 32 x DKB 350, Z 8480 x CO 32, Z 8480 x P30F88, C 901 x CO 32, C 901 x P30F88, Z 8480 x DKB 350, CO 32 x Z 8420, C 901 x Z 8420, C 901 x C 333 B, Z 8420 x DKB 350, C 901 x Z 8480, DKB 350 x Z 8410, P30F88 x Z 8420, AG 9010 x DKB 350 e P 3041 x AG 9010.
2. As populações avaliadas apresentam médias de altura de planta e de espiga adequadas para cultivo nessa região, tanto em baixo quanto em alto nível de fósforo.
3. O ambiente em que se empregou o menor nível de fósforo retarda o florescimento das populações avaliadas.

REFERÊNCIAS

- BLAIR, G. Nutrient efficiency: what do we really mean? In: RANDALL, P. J. et al. (Eds.). *Genetic aspects of plant mineral nutrition*. Dordrecht: Kluwer Academic, 1993. p. 205-213. (Developments in plant and soil sciences, 50).
- BLUM, A. *Plant breeding for stress environments*. Boca Raton: CRC Press, 1988.
- CANÇADO, G. M. de A. et al. Avaliação de nove linhagens de milho em cruzamentos dialélicos quanto à tolerância ao alumínio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 37, n. 4, p. 471-478, 2002.
- CHAUBEY, C. N.; SENADHIRA, D.; GREGORIO, G. B. Genetic analysis of tolerance for phosphorus deficiency in rice (*Oryza sativa* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, Berlin, v. 89, n. 2-3, p. 313-317, 1994.

- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab). *Acompanhamento da safra brasileira: grãos*. 1º levantamento de Outubro/2008. Brasília, DF: Conab, 2008.
- DUARTE, A. P. Milho safrinha: características e sistemas de produção. In: GALVÃO, J. C. C.; MIRANDA, G. V. (Eds.). *Tecnologias de produção do milho*. Viçosa: UFV, 2004. p. 109-138.
- DUARTE, A. P.; SPINOSA, R. A. D. W.; ALLIPRANDINI, L. F. Efeito da geada na produção e qualidade de grãos de milho. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO SAFRINHA, 3., 1995, Assis. *Resumos...* Campinas: IAC/Centro de Desenvolvimento Agropecupário do Médio Vale do Paranapanema, 1995. p. 61-64.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). *Relatório técnico anual do Centro Nacional de Pesquisa do Cerrado 1976-1977*. Planaltina: Embrapa/Cpac, 1978.
- FAGERIA, N. K. Eficiência de uso de fósforo pelos genótipos de feijão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 2, n. 2, p. 128-131, 1998.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Phosphorus-use efficiency by corn genotypes. *Journal of Plant Nutrition*, New York, v. 20, n. 10, p. 1267-1277, 1997.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. *Produção de milho*. Guaíba: Agropecuária, 2000.
- FERNANDES, C. *Eficiências de diferentes culturas e híbridos de milho quanto à utilização de fósforo em solos de Cerrado*. 2001. 51 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)—Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.
- FERNANDES, C.; MURAOKA, T. Absorção de fósforo por híbridos de milho cultivados em solo de Cerrado. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 781-787, out./dez. 2002.
- FIDELIS, R. R. *Metodologias de seleção para eficiência ao uso e resposta à aplicação do nitrogênio em germoplasma de milho*. 2003. 54 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)—Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.
- GAMA, E. E. G. et al. Combining ability for nitrogen use in a selected set of inbred lines from a tropical maize population. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, Sete Lagoas, v. 1, n. 3, p. 68-77, 2002.
- GOURLEY, C. J. P.; ALLAN, D. L.; RUSSELE, M. Plant nutrient efficiency: a comparison of definitions and suggested improvement. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 158, n. 1, p. 29-37. 1994.
- GRANT, C. A. et al. *A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta*: encarte de informações agrônomicas n. 95. Piracicaba: Potafos, 2001.
- LAFITTE, H. T.; EDMEADES, G. O.; JOHNSON, E. C. Temperature responses of tropical maize cultivars selected for broad adaptation. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 49, n. 1, p. 215-229, 1997.
- LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. *Princípios da bioquímica*. 2. ed. São Paulo: Sarvier, 1995.
- LUCENA, L. F. C. et al. Resposta do milho a diferentes dosagens de nitrogênio e fósforo aplicados ao solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 334-337, 2000.
- MACHADO, A. T.; MAGNAVACA, R. *Estresse ambiental: o milho em perspectiva*. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1991.
- MACHADO, C. T. T.; FURLANI, A. M. C.; MACHADO, A. T. Índice de eficiência de variedades locais e melhoradas de milho ao fósforo. *Bragantia*, Campinas, v. 60, n. 3, p. 225-238, 2001.
- MACHADO, C. T. T. et al. Variabilidade entre genótipos de milho para eficiência no uso de fósforo. *Bragantia*, Campinas, v. 5, n. 1, p. 109-124, 1999.
- OLIVEIRA, V. R. et al. Tolerância de genótipos de pimentão ao baixo teor de fósforo no solo. *Bragantia*, Campinas, v. 58, n. 1, p. 125-139, 1999.
- PICANÇO, M. C. et al. Fatores de perdas em cultivares de milho safrinha. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 26, n. 2, p. 161-167, 2004.
- RIBEIRO JÚNIOR, J. I. *Análises estatísticas no SAEG*. Viçosa: UFV, 2001.
- RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. *How a corn plant develops*: Cooperative Extension Service Ames, special report n. 48. Iowa: Iowa State University of Science and Technology, 1993.
- ROCHA, R. N. C. *Resposta de híbridos de milho de ciclo superprecoce, precoce e normal à aplicação de nitrogênio no sistema plantio direto*. 2003. 47 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)—Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.
- SANT’ANA, W. P. et al. Utilização de fósforo e características do sistema radicular e da parte aérea da planta de arroz. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 27, n. 2, p. 370-381, 2003.
- SANTOS, M. X. et al. Melhoramento intrapopulacional no sintético elite NT para solos pobres em nitrogênio: I. Parâmetros genéticos de produção. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 33, n. 1, p. 55-61, 1998.
- SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics*, Washington, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974.
- SILVA, A. E.; GABELMAN, W. H. Screening maize inbred lines for tolerance to low-P stress condition. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 146, n. 1-2, p. 181-187, 1992.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.