

GUILHERME DE SOUSA PAULA

**RESPONSIVIDADE E EFICIÊNCIA DO USO DO FOSFÓRO DE
CULTIVARES DE SOJA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2016**

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

P324r
2016 Paula, Guilherme de Sousa, 1987-
Responsividade e eficiência do uso do fósforo de cultivares
de soja / Guilherme de Sousa Paula. – Viçosa, MG, 2016.
ix, 33f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Felipe Lopes da Silva.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f.29-33.

1. Química do solo. 2. Plantas e solo. 3. Solos - Teor de
fósforo. 4. Planta - Efeito do fósforo. 5. Soja - Cultivo.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia.
Programa de Pós-graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 631.41

GUILHERME DE SOUSA PAULA

**RESPONSIVIDADE E EFICIÊNCIA DO USO DO FOSFÓRO DE
CULTIVARES DE SOJA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADO: 23 de fevereiro de 2016

Carlos Nick Gomes

Laércio Junio da Silva

Renato Domiciano Silva Rosado

Felipe Lopes da Silva
(Orientador)

Aos meus pais José Nelson de Paula e Sirlei Maria de Sousa Paula

A minha esposa Sandy de Castro Cinelli Albino

A meu filho Pablo de Castro Albino Sousa

À toda minha família e amigos

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus, primeiramente, por me proporcionar saúde, conhecimento e coragem.

À minha família que sempre me apoiou e estiveram na torcida e passando boas energias, meus pais José Nelson de Paula e Sirlei Maria de Sousa Paula, a minha esposa Sandy de Castro Cinelli Albino e meu filho Pablo de Castro Albino Sousa.

À Universidade Federal de Viçosa e ao programa de Pós Graduação em Fitotecnia, pela disponibilidade de um curso de alto nível e pela estrutura.

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

À Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e a Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento.

Ao meu orientador, Professor Felipe Lopes da Silva pela orientação, conselhos e amizade.

Aos meus coorientadores, Professores Pedro Crescencio de Souza Carneiro, Cosme Damião Cruz e Tuneo Sedyama por todo apoio.

Aos meus amigos do Programa Soja, Alisson, Stênio, André, Willian, Diego, Waggner em especial Francisco Charles pela valiosa ajuda e conselhos.

A todos os professores que de maneira direta e indireta contribuíram para minha formação profissional

Aos meus amigos de Coimbra, em especial ao meu primo Ediws pelo grande apoio nessa caminhada.

Aos funcionários do Programa Soja, Martha Freire e José Bernardino, pelo convívio e ajuda nas atividades.

Aos funcionários da secretaria do programa de Fitotecnia, Tatiani e Lídia, pela paciência e apoio.

Aos membros da banca de avaliação, professores Carlos Nick Gomes, Laércio Junio da Silva e Renato Domiciano Silva Rosado, pela colaboração no trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vii
INTRODUÇÃO.....	1
MATERIAL E MÉTODOS.....	4
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	8
Característica de vegetativas e reprodutivas.....	10
Partição de Matéria Seca.....	16
Índices de Seleção.....	19
Correlações fenotípicas.....	21
Classificação pela metodologia de Fageria e Kluthcouski (1980).....	25
CONCLUSÕES.....	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

RESUMO

PAULA, Guilherme de Sousa, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2016. **Responsividade e eficiência do uso de fósforo de cultivares de soja.** Orientador: Felipe Lopes da Silva. Coorientadores: Pedro Crescêncio Souza Carneiro, Cosme Damião Cruz e Tuneo Sedyama.

A deficiência de fósforo (P) está entre os principais estresses abióticos que limita a produtividade da soja. Desse modo o desenvolvimento de cultivares com maior habilidade de crescer e produzir sob condições de solos com disponibilidades reduzidas de P, ou seja, cultivares mais eficientes na utilização desse mineral seria uma estratégia para reduzir o efeito desse estresse na cultura. Assim, o objetivo deste trabalho foi classificar diferentes cultivares de soja quanto à eficiência ao uso de P e à responsividade quando disponibilizado esse nutriente. O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação do Programa Soja do Departamento de Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa, entre os meses de julho e outubro de 2015. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em esquema fatorial simples e quatro repetições. Os fatores foram compostos por 24 cultivares de soja, e dois níveis de disponibilidades de fósforo, sendo: baixa disponibilidade (30 mg de P/dm³ de solo) e alta disponibilidade (300 mg de P/dm³ de solo). No estágio de desenvolvimento R8, foram avaliadas as seguintes características: diâmetro do hipocótilo (DH); número de ramificações laterais (NR); número de nós por planta (NN); número de vagens por planta (NV); número médio de sementes por vagem (NSV); número de sementes por planta (NS); massa de cem sementes (M100); massa total de sementes por planta (MTS); massa de matéria seca de raiz (MSR), haste (MSH) e vagem (MSV); e eficiência do uso (EU) e resposta (ER). A análise de variância e o teste de agrupamento de médias Scott-Knott foram utilizados com o objetivo de discriminar as cultivares entre e dentro dos níveis de adubação. A representação gráfica no plano cartesiano foi utilizada visando discriminar as cultivares quanto à eficiência na utilização de P e à responsividade à disponibilidade do mesmo. As cultivares mais eficientes (EU) em condições de baixo teor de fósforo foram aquelas que possuíam maiores produção de matéria seca de vagens e massa total de sementes. A classificação de genótipos eficientes ao uso de fósforo foi eficiente quando as cultivares foram avaliadas em condições de baixa disponibilidade de fósforo no solo. A seleção de cultivares eficientes ao uso do fósforo em ambiente com baixa disponibilidade de

fósforo favoreceu a seleção de cultivares responsivas à disponibilidade desse mineral. As cultivares Monarca, UFVS 2002, UFVS Berilo RR e UFVS Turquesa RR, foram classificadas como eficientes e responsivas; BMS Turmalina, UFVS 2001, UFVS 2003, UFVS 2008, UFVS Hematita, UFVS Opala RR e UFVS Quartzo, foram classificadas como não-eficientes e responsivas; FMT Tucunaré, UFVS 2006 e UFVS 2009 foram classificadas como não-eficientes e não-responsivas; MG/BR 46 (Conquista), TMG 1174 RR, TMG 1175 RR, TMG 1179 RR, UFVS 2001, UFVS 2004, UFVS 2005, Capinópolis (UFV-16) e BRSMG 68 (Vencedora) foram classificadas como eficientes e não-responsivas.

ABSTRACT

PAULA, Guilherme de Sousa, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2016. **Responsiveness and efficiency of phosphorus use of soybean cultivars.** Advisor: Felipe Lopes da Silva. Co-Advisors: Pedro Crescêncio Souza Carneiro, Cosme Damião Cruz and Tuneo Sedyama.

Phosphorus deficiency (P) is one of the major abiotic stresses limiting soybean productivity. Thus the development of cultivars with increased ability to grow in soil and produce conditions with reduced availability of P, namely, more efficient crop in use of this mineral a strategy would be to reduce the effect of stress on the culture. The objective of this study was to classify different soybean cultivars in efficiency with the use of P and responsiveness when available this nutrient. The experiment was conducted in conditions of greenhouse Program Soya Department of Plant Science, the Federal University of Viçosa, between July and October 2015. The experimental design was a randomized complete block in a factorial scheme and four replications . The factors were composed of 24 soybean cultivars and two levels of phosphorus availability, are: low availability (30 mg P / soil dm³) and high availability (300 mg P / soil dm³). In the R8 development stage, the following characteristics were evaluated: diameter of hypocotyl (DH); number of side branches (NR); number of nodes per plant (NN); number of pods per plant (NV); average number of seeds per pod (NSV); number of seeds per plant (NS); Mass hundred seeds (M100); total mass of seeds per plant (MTS); dry matter root (MSR), stem (MSH) and pod (MSV); and the use efficiency (US) and response (ER). Analysis of variance and the average clustering test Scott-Knott were used in order to discriminate the cultivars between and within the levels of fertilization. The graphical representation in the Cartesian plane was used in order to discriminate the cultivars on the efficient use of P and responsiveness to availability. The most efficient cultivars (US) in low phosphorus conditions were those that had higher dry matter production of pods and total mass of seeds. The classification of efficient genotypes to phosphorus use was efficient when the cultivars were evaluated in conditions of low availability of phosphorus in the soil. The selection of efficient cultivars to the use of phosphorus in an environment with low phosphorus availability favored the selection of cultivars responsive to the availability of this mineral. Cultivars Monarca, UFVS 2002 UFVS Berilo RR and UFVS Turqueza RR were classified as efficient and responsive; BMS Turmalina, UFVS 2001 UFVS 2003 UFVS 2008 UFVS

Hematite, UFVS Opala RR and UFVS Quartzo, were classified as non-responsive and efficient; FMT Tucunaré, UFVS UFVS 2006 and 2009 were classified as non-efficient and non-responsive; MG / BR 46 (Conquista), TMG 1174 RR, TMG 1175 RR, TMG 1179 RR, UFVS 2001 UFVS 2004 UFVS 2005 Capinópolis (UFV-16) and BRSMG 68 (Winner) were classified as efficient and non-responsive.

INTRODUÇÃO

Os solos sob vegetação de cerrado, que são predominantes da região do Brasil Central, apresentam alto grau de intemperismo, com características marcantes como acidez, alto grau de lixiviação e baixa fertilidade, especialmente para o fósforo (P) disponível às plantas (PIAIA et al. 2002). A baixa disponibilidade de P, especificamente para soja, acarreta em redução do porte, aborto de flores e conseqüentemente menor produção de grãos (TANAKA & MASCARENHAS, 1992). Por outro lado, um bom suprimento de fósforo promove incrementos significativos na produção (ARAÚJO et al., 2005).

O fósforo é absorvido pelas plantas na sua forma inorgânica ($H_2PO_4^-$) que se origina da solubilização de minerais fosfatados e da mineralização da matéria orgânica (GATIBONI, 2003). Esse nutriente é de fundamental importância para a cultura da soja, haja vista o fato de que ele participa de vários processos metabólicos, como na transferência de energia (ATP), fotossíntese, respiração, síntese de ácidos nucléicos e glicose, síntese e estabilidade de membranas (fosfolipídios) e ativação e desativação de enzimas (VANCE et al., 2003).

A deficiência de P está entre os principais estresses abióticos que limitam a produtividade das culturas, ocorrendo em 30 a 40% das terras aráveis do mundo (VON UEXKÜLL & MUTERT, 1995). Em função disso, grandes quantidades de fertilizantes fosfatados são aplicadas todos os anos nos solos, mas menos de 20% do que é fornecido fica disponível às raízes das plantas (HOLFORD, 1997).

Novais et al. (2007) explicam o processo de adsorção e disponibilidade de P nos solos. Uma vez fornecido o fertilizante, ele é solubilizado e vai para a solução do solo. Em condições de pH baixo, como ocorre em solos do cerrado, parte do P é precipitado em formas pouco solúveis. Na solução, ocorre um desequilíbrio em relação ao momento anterior à aplicação do fertilizante, podendo acarretar tanto a difusão quanto a adsorção, sendo essa última a mais facilmente ocorrida, principalmente em solos intemperizados. O P adsorvido se transforma em P-lábil, que atua como um reservatório, fornecendo P à solução quando ali ele se encontra escasso. Este fluxo de P da forma lábil-solução ou solução-lábil varia de acordo com a granulometria e intemperização do solo.

Em solos mais argilosos, o P encontra uma resistência maior para ir de um lugar para outro, isso é conhecido como “poder tampão do solo”. O sistema de reservatório (P-lábil) funciona como um regulador de excesso e escassez, sendo mais rigoroso ainda em solos bastante intemperizados, onde o P passa mais rapidamente da forma lábil para

não-lábil (forma não prontamente disponível), fenômeno conhecido como fixação de P (NOVAIS et al., 2007).

Assim, devido à importância da disponibilidade de P para a produção de grãos de soja, duas estratégias podem ser definidas para a manutenção dessa produção. A primeira, e usualmente mais difundida, é o uso de corretivos no solo e o aumento nas doses de fertilizantes fosfatados. A correção do solo atua aumentando o pH e conseqüentemente aumentando a concentração de P na solução do solo (ERNANI et al. 1996). Porém esse fertilizante depende de recursos minerais não renováveis, com estimativas de que reservas passíveis de exploração a baixo custo venham se esgotar ainda nesse século (MURREL e FIXEN, 2006). Desse modo a redução da oferta desse mineral acarretará num aumento do custo de exploração levando ao aumento do custo da produção agrícola.

A segunda estratégia seria o desenvolvimento de cultivares com maior habilidade de crescer e produzir sob condições de solos com disponibilidades reduzidas de P, ou seja, cultivares mais eficientes na utilização desse mineral (WISSUWA et al., 2002; YAN et al., 2004). Assim, a identificação de genótipos de soja eficientes ao uso de P torna-se requisito imprescindível aos programas de melhoramento genético, uma vez que o aproveitamento do potencial adaptativo de genótipos às condições adversas de fertilidade do solo apresenta-se como solução para uma agricultura mais sustentável.

O conceito de eficiência de plantas a um dado nutriente pode ser definido como o processo pelo qual as plantas absorvem, translocam, acumulam e usam este nutriente para melhor produzir matéria seca e ou grãos em condições de baixo suprimento do nutriente. A utilização deste conceito na busca por genótipos mais eficientes na absorção, na translocação para a parte aérea e na utilização de nutrientes para conversão em biomassa e grãos deve ser o objetivo estratégico dos programas de melhoramento.

Desse modo Moll et al. (1982) definiram eficiência de uso de um nutriente como gramas de grãos produzidos por grama de nutriente suprido à cultura. Sendo que esse índice pode ser utilizado para todos os ambientes em estudo, estando relacionados a conceitos de eficiência dos genótipos ao uso do fósforo. Já Craswell et al. (1983) propuseram um índice utilizado para realizar seleções simultâneas em ambientes de baixo e alto teor do nutriente e está relacionado à responsividade do genótipo frente à disponibilidade do nutriente. Fageria e Kluthcouski (1980) desenvolveram um método específico aplicável para a seleção de genótipos eficientes ao uso dos nutrientes e responsivos à aplicação dos mesmos. Neste sentido, a eficiência na utilização do nutriente é definida pela média da produtividade de grãos em baixo nível do nutriente e

a responsividade é obtida pela diferença entre a produtividade de grãos nos dois níveis do nutriente dividida pela diferença entre as doses dos níveis.

A eficiência ao P é um fenômeno bastante complexo e afetado por um grande número de mecanismos das plantas associados com a aquisição de P do solo e a utilização a nível celular (OZTURK et al.; 2005). A eficiência de absorção, sob baixa disponibilidade de P, pode ser influenciada por alterações morfológicas, fisiológicas e/ou bioquímicas no sistema radicular das plantas, tais como: desenvolvimento de raízes laterais (GERLOFF & GABELMAN, 1983) e de pêlos radiculares; aumento na relação entre raízes e parte aérea; mudanças na arquitetura radicular; formação de raízes proteóides; aumento na associação com fungos micorrízicos; aumento na velocidade máxima de absorção (CAMACHO-CRISTÓBAL et al., 2008); mudanças no pH da rizosfera; exsudação de compostos orgânicos pelas raízes e níveis de fosfatases nas células das raízes (STARNES et al., 2008).

Alguns trabalhos tem mostrado que, de modo geral, a eficiência da adubação fosfatada no Brasil é baixa (SOUSA et al., 2010; CUNHA et al., 2011). Valadão Junior et al. (2005) avaliaram a produtividade de cultivares soja submetidas a diferentes níveis de adubação fosfatada concluindo que existe resposta positiva no rendimento de grãos de acordo com aumento das doses de fósforo no solo. Reina et al. (2014) avaliaram a eficiência do uso de fósforo de 11 cultivares para o teor de carboidratos nos grãos, encontrando variabilidade entre os genótipos testados, sendo uma parte das cultivares potencialmente promissoras para produção de carboidratos e eficientes ao uso do fósforo. Nunes (2014) estudou o efeito do sistema de preparo do solo e da adubação fosfatada na produtividade de grãos e eficiência de uso do P em soja, na região do Cerrado, ao longo de 17 anos de cultivos tendo como resultados: as maiores produtividades de grãos e eficiências de uso do fósforo pela soja foram obtidas no sistema de preparo do solo convencional durante a fase de correção fosfatada, já no sistema de plantio direto os maiores valores foram obtidos após a correção da fertilidade do solo por fósforo.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi classificar diferentes cultivares de soja quanto à eficiência ao uso de P e à responsividade quando disponibilizado esse nutriente.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Programa Soja do Departamento de Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa (20°45'14"S; 42°52'53"W, 649 metros de altitude), entre os meses de julho e outubro de 2015. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em esquema fatorial simples e quatro repetições. Os fatores foram compostos por cultivares de soja, totalizando 24, e níveis de adubação fosfatada, considerando dois, sendo baixa e alta disponibilidade de P. As sementes utilizadas foram oriundas da safra 2014/2015, colhidas em março de 2015. As cultivares de soja utilizadas e suas características se encontram na Tabela 1.

Tabela 1. Características das cultivares de soja utilizadas no experimento

Cultivares *	Tipo de crescimento	Grupo de Maturidade **
BMS Turmalina	Determinado	-
BRSMG 68 (Vencedora)	Determinado	8.0
FMT Tucunaré	Determinado	8.3
MG/BR 46 (Conquista)	Determinado	8.1
Monarca	Determinado	8.5
Topázio RR	Determinado	8.2
UFV 16	Determinado	-
UFVS 2001	Determinado	-
UFVS 2002	Determinado	-
UFVS 2003	Determinado	-
UFVS 2004	Determinado	-
UFVS 2005	Determinado	-
UFVS 2006	Determinado	-
UFVS 2008	Determinado	-
UFVS 2009	Determinado	-
UFVS 2012	Determinado	-
UFVS Berilo RR	Determinado	8.3
UFVS Hematita	Determinado	8.7
UFVS Opala RR	Determinado	8.4
UFVS Quartzo	Determinado	8.7
UFVS Turquesa RR	Determinado	8.0
TMG 1174 RR	Determinado	7.4
TMG 1179 RR	Determinado	7.9
TMG 1175 RR	Indeterminado	7.5

* Todos os genótipos são adaptados para região central do Brasil. ** Ciclo pode variar de acordo com o local e época de plantio. – Grupo de maturidade não definido pela obtentora das cultivares.

As sementes, de cada cultivar, foram tratadas com fungicida Derosal Plus (carbendazin + thiram), na dose de 200 ml por 100 kg de sementes, e inoculadas com inoculante turfoso na dose de 3,0 milhões de células da bactéria *Bradyrhizobium japonicum* por semente. Posteriormente, foram semeadas quatro sementes por vaso na profundidade de três centímetros. A semeadura ocorreu em vasos plásticos contendo 2,5 dm³ de solo, classificado como Latossolo Vermelho Amarelo e cujas características se encontram na Tabela 2. Após a emergência foi realizado o desbaste deixando apenas uma planta por vaso.

O solo foi incubado, nos vasos, 30 dias antes da semeadura com calcário dolomítico (PRNT 96%) para correção do solo, a saturação de base foi elevada a 50% conforme recomendado a cultura (SOUSA & LOBATO, 1996) sendo a dose utilizada de 1,50 g/dm³ de calcário, o equivalente a 3 t /ha de calcário. A adubação potássica, de enxofre e de micronutrientes foi realizada segundo Sousa e Lobato (1996), em função da análise de solo (Tabela 2).

Tabela 2- Análises química e física do solo Latossolo Vermelho Amarelo utilizado como substrato para a avaliação de genótipos de soja quanto à eficiência ao uso de fósforo e à responsividade frente à disponibilidade do mineral.

Parâmetro	Determinação	Parâmetro	Determinação
P	1,1 mg/dm ³	pH em água	4,8
K	12 mg/dm ³	MO	1,86 dag/kg
Ca ²⁺	0,2 mg/dm ³	P-rem	12,5 mg/L
Mg ²⁺	0,1 cmolc/dm ³	Zn	0,1 mg/dm ³
Al ³⁺	1,3 cmolc/dm ³	Fe	64,3 mg/dm ³
H + Al	6,11 cmolc/dm ³	Mn	8,8 mg/dm ³
SB	0,33 cmolc/dm ³	Cu	1,5 mg/dm ³
CTC (t)	1,63 cmolc/dm ³	B	0,0 mg/dm ³
CTC (T)	6,44 cmolc/dm ³	Argila	55 %
V	5 %	Silte	16 %
m	80 %	Areia	29 %
P-K-Fe-Zn-Mn-Cu - Extrator Mehlich 1		CTC (T) – Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0	
Ca-Mg-Al – Extrator KCl (1mol/L)		V – Índice de Saturação de Bases	
H+Al – Extrator Acetato de Cálcio (0,5 mol/L – pH 7,0)		m – Índice de Saturação de Alumínio	
B – Extrator água quente		Matéria. Orgânica (MO) – Oxidação Na ₂ Cr ₂ O ₇ 4N + H ₂ SO ₄ 10N	
SB – Soma de Bases Trocáveis		P-rem – Fósforo remanescente	
CTC (t) – Capacidade de Troca Catiônica Efetiva			

Para a adubação fosfatada foram utilizadas duas doses, 30 mg/dm³ (60 kg/ha) de P₂O₅, considerado o nível de adubação com baixa disponibilidade de P (BP), e 300

mg/dm³ (600 kg/ha) de P₂O₅, considerado o nível de adubação com alta disponibilidade de P (AP). A fonte de P utilizada foi o superfosfato triplo, que foi distribuído de forma localizada abaixo da semente. Os demais tratos culturais foram realizados conforme o recomendado para a cultura (SEDIYAMA et al., 2015).

No estágio de desenvolvimento R8 (95% das vagens maduras), segundo escala proposta por Fehr & Caviness (1977), foram avaliadas as seguintes características: diâmetro do hipocótilo (DH); número de ramificações laterais (NR); número de nós por planta (NN); número de vagens por planta (NV); número médio de sementes por vagem (NSV); número de sementes por planta (NS); massa de cem sementes em gramas (M100); massa total de sementes por planta em gramas (MTS); e, massa de matéria seca de raiz (MSR), haste (MSH) e vagem (MSV) expressas em gramas por planta. Para o cálculo da MTS e M100, a umidade das sementes foi determinada por meio do método padrão de estufa a 105±3°C durante 24 horas e corrigida para 14 %.

A eficiência de uso de fósforo (EU) de cada cultivar em cada nível de adubação (baixa e alta disponibilidade de P), segundo metodologia de Moll et al. (1982), foi obtida pela Equação 1:

$$EU_{ij} = Gw_{ij}/Ps_j \quad (1)$$

em que: EU_{ij} é a eficiência de uso de fósforo da i-ésima cultivar, com i variando de 1 a 24, no j-ésimo nível de adubação, com j variando de 1 a 2, sendo os dois níveis de adubação (baixa e alta disponibilidade de P); Gw_{ij} é a massa de grãos da i-ésima cultivar no j-ésimo nível de adubação; e, Ps_j é a dose de P referente ao j-ésimo nível de adubação.

A eficiência de resposta das cultivares à disponibilidade do fósforo (ER) foi avaliada segundo metodologia de Crasweel et al. (1984), obtido pela Equação 2:

$$ER_i = (DPG_i / DDPs) \quad (2)$$

em que, ER_i é a eficiência da i-ésima cultivar à disponibilidade do fósforo, com i variando de 1 a 24, DPG_i é a diferença da produtividade de grãos nos dois níveis de adubação (baixa e alta disponibilidade de P) para i-ésima cultivar e DDPs é a diferença entre as doses de P aplicadas nos dois níveis de adubação.

A análise de variância e o teste de agrupamento de médias Scott-Knott foram utilizados com o objetivo de discriminar as cultivares entre e dentro dos níveis de

adubação, BP e AP. Foram estimados coeficientes de correlação fenotípica linear de Pearson entre as características estudadas nos ambientes BP e AP. Todas as análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software GENES (CRUZ, 2013).

O método proposto por Fageria e Kluthcouski (1980) também foi utilizado a fim de discriminar as cultivares quanto à eficiência na utilização de P e à responsividade à aplicação do mesmo, para tanto, a representação gráfica no plano cartesiano foi utilizada. O eixo das abscissas equivale à eficiência na utilização do fósforo, ou seja, refere-se à média de produtividade de grãos (MTS) em ambiente de baixa disponibilidade de fósforo. Já o eixo das ordenadas equivale à resposta quanto à disponibilidade de P (ER_i), ou seja, a diferença entre a produtividade de grãos nos dois níveis de adubação dividida pela diferença entre as doses de P disponibilizadas.

O método preconiza que uma reta originada do valor médio de cada eixo cartesiano seja traçada, fazendo com que o plano cartesiano seja dividido em quadrantes. No primeiro quadrante, contém as cultivares eficientes e responsivas (ER), ou seja aquelas que possuem valores acima da média para os dois eixos cartesianos; no segundo, as não-eficientes e responsivas (NER), ou seja, aquelas que possuem valores abaixo da média para o eixo das abscissas e acima para o eixo das ordenadas; no terceiro, as não-eficientes e não-responsivas (NENR), ou seja, aquelas que possuem valores abaixo das médias dos dois eixos cartesianos; e no quarto, as eficientes e não-responsivas (ENR), ou seja, aquelas que possuem valores acima da média para o eixo das abscissas e abaixo para o eixo das ordenadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 está apresentado o resumo das análises de variância. Observa-se que existe variabilidade genética entre as cultivares para todas as características avaliadas ($p < 0,01$), o que é favorável para o processo de seleção.

Em relação à fonte de variação níveis de P, não se verificou diferença significativa para as características diâmetro hipocótilo (DH), número de ramificações (NR), matéria seca de raiz (MSR) e massa de 100 sementes (M100), indicando que o nutriente fósforo não interfere nas médias das cultivares quando cultivadas sob adubação dos níveis utilizados no trabalho.

Analisando a fonte de variação referente à interação cultivares x níveis de P, verificou-se diferença significativa ($p < 0,01$ ou $p < 0,05$) para as características número de nós por planta (NN), número de sementes por planta (NS), massa total de sementes (MTS), massa de cem sementes (M100) e eficiência do uso (EU). Isso indica que as cultivares possuem comportamentos diferenciados frente à alteração do nível de P disponibilizado e que são necessários testes comparativos de médias dentro de cultivares.

A não significância em relação à fonte de variação cultivares para a característica eficiência de resposta, revelou a não existência de variabilidade genética entre as cultivares para a característica em questão.

Diante do exposto, independentemente da significância da interação, foram realizados os desdobramentos, cultivares dentro dos níveis de P e níveis de P dentro de cultivares, para todas as características avaliadas visando explorar o comportamento das cultivares quando impostas ao crescimento e desenvolvimento nos dois níveis de P..

Analisando os coeficientes de variação ambiental, verificou-se que os mesmos foram aceitáveis para a cultura da soja, revelando boa precisão experimental.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para a altura de planta (ALT), diâmetro do hipocótilo (DH), número de ramificações laterais (NR), número de nós (NN), matéria seca das hastes (MSH), matéria seca de vagens (MSV), matéria seca da raiz (MSR), número de vagem (NV), número de sementes por planta (NS), número de sementes por vagem (NSV), massa total de sementes por planta (MTS), massa de 100 sementes (M100), eficiência do uso (EU) e eficiência de resposta (ER)

FV	GL	QM						
		DH	NR	NN	NV	NS	NSV	MTS
Bloco/Níveis de P	6	1,40	12,18	4,89	100,61	254,51	0,09	3,21
Cultivares	23	1,05**	9,24**	8,89**	111,17**	563,73**	0,33**	6,27**
Níveis de P	1	0,39 ^{NS}	46,02 ^{NS}	103,55**	20006,29**	107645,49**	6,94**	3604,95**
C x P	23	0,33 ^{NS}	1,94 ^{NS}	4,35*	54,62 ^{NS}	236,99*	0,06 ^{NS}	3,58*
Resíduo	138	0,31	3,50	2,62	36,05	134,29	0,04	2,22
Total	191	-	-	-	-	-	-	-
Média	-	4,10	4,44	16,88	29,71	54,32	0,78	9,76
CV(%)	-	13,58	42,16	9,58	20,21	21,33	11,11	15,28

FV	GL	QM					GL ⁺	QM
		M100	MSH	MSV	MSR	EU		ER
Bloco/Níveis de P	6	11,96	10,62	1,11	0,52	271,50	-	-
Cultivares	23	5,00**	7,09**	1,16**	0,72**	215,17**	23	15,72 ^{NS}
Níveis de P	1	19,90 ^{NS}	161,90**	34,08**	0,25 ^{NS}	137440,51**	-	-
C x P	23	17,71*	1,45 ^{NS}	0,41 ^{NS}	0,36 ^{NS}	167,39**	-	-
Resíduo	138	9,22	1,31	0,34	0,31	59,59	72	9,47
Total	191	-	-	-	-	-	95	-
Média	-	18,49	6,05	3,43	1,56	45,54	-	12,84
CV(%)	-	16,42	18,90	17,10	35,57	16,95	-	23,97

**,* significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente pelo teste de F. ⁺ Grau de liberdade relacionado à análise de variância para a característica eficiência de resposta (ER).

Características vegetativas e reprodutivas

Em relação à característica DH (Tabela 4) verificou-se que o ambiente com baixa disponibilidade de P promoveu discriminação de grupos de cultivares, formando dois grupos, sendo as cultivares, UFVS 2003, UFVS 2004, UFVS 2005, UFVS 2008, UFVS 2009, UFVS 2012, UFVS Berilo RR, TMG 1174 RR e TMG 1175 RR, formaram o grupo de maior média para a característica em questão. Já para o ambiente de alto fósforo, não se verificou discriminação entre as médias das cultivares de cultivares, favorecendo o agrupamento de todas as cultivares em um único grupo.

O baixo teor de P adicionado ao solo favoreceu o decréscimo do número de nós produzidos pela planta (Tabela 4) em algumas cultivares em comparado com o ambiente com alto teor de P, entre elas BMS Turmalina, BRSMG 68 (Vencedora), FMT Tucunaré, Monarca, UFVS 2003, UFVS Berilo RR e UFVS Hematita, demonstrando que, para essas cultivares, a disponibilidade de P afetou significativamente o desenvolvimento vegetativo dessas cultivares. Verificou-se que, em ambos os níveis de disponibilidade, as médias das cultivares foram agrupadas formando dois grupos distintos, sendo que, em condições de baixa disponibilidade de P as cultivares MG/BR 46 (Conquista), Monarca, UFVS 2003, UFVS 2004, UFVS 2005, UFVS 2006, UFVS 2008, UFVS 2009, UFVS 2012, UFVS Opala RR, UFVS Quartzo e UFVS Turquesa RR foram as que mais desenvolveram número de nós.

Considerando a característica número de ramificações laterais (NR) (Tabela 5), em condições de baixa disponibilidade de P as cultivares UFVS 2001 e UFVS 2006 obtiveram ambas em média 1,5 ramos laterais e foram as únicas cultivares que reduziram significativamente o número de ramos em relação à condição de alta disponibilidade de P. A capacidade de ramificação é inerente a cada cultivar evidenciando a manutenção do número de ramificações laterais da maioria das cultivares quando submetidas ao desenvolvimento sob os dois níveis de disponibilidade de P. Os dois ambientes foram capazes de discriminar genótipos quanto ao NR, agrupando as médias das cultivares em dois grupos distintos.

Tabela 4. Valores médios do diâmetro de hipocótilo (DH) e do número de nós (NN) de plantas de soja avaliadas sob diferentes níveis de disponibilidade de fósforo (baixo teor – BP e alto teor – AP).

Cultivares	DH				NN			
	mm				-			
	AP		BP		AP		BP	
BMS Turmalina	3,90	Aa	3,46	Ab	19,00	Aa	15,50	Bb
BRSMG 68 (Vencedora)	4,10	Aa	4,14	Ab	17,25	Ab	14,75	Bb
FMT Tucunaré	4,24	Aa	3,83	Ab	18,75	Aa	14,75	Bb
MG/BR 46 (Conquista)	4,50	Aa	3,79	Ab	16,50	Ab	17,25	Aa
Monarca	3,83	Aa	3,89	Ab	18,75	Aa	16,25	Ba
Topázio RR	3,95	Aa	3,42	Ab	15,75	Ab	15,25	Ab
Capinópolis (UFV 16)	3,56	Aa	3,83	Ab	16,25	Ab	15,75	Ab
UFVS 2001	3,88	Aa	3,99	Ab	16,50	Ab	16,00	Ab
UFVS 2002	3,36	Aa	3,64	Ab	16,25	Ab	15,00	Ab
UFVS 2003	4,24	Aa	4,44	Aa	21,00	Aa	16,75	Ba
UFVS 2004	4,20	Aa	4,84	Aa	20,25	Aa	19,00	Aa
UFVS 2005	4,04	Aa	4,38	Aa	17,50	Ab	17,00	Aa
UFVS 2006	4,13	Aa	4,07	Ab	16,25	Ab	16,75	Aa
UFVS 2008	4,67	Aa	4,70	Aa	17,50	Ab	16,25	Aa
UFVS 2009	4,63	Aa	4,64	Aa	16,50	Ab	16,75	Aa
UFVS 2012	4,17	Aa	4,63	Aa	16,75	Ab	16,75	Aa
UFVS Berilo RR	4,40	Aa	4,52	Aa	18,75	Aa	14,50	Bb
UFVS Hematita	3,88	Aa	3,39	Ab	17,00	Ab	14,00	Bb
UFVS Opala RR	3,96	Aa	3,75	Ab	18,00	Aa	16,50	Aa
UFVS Quartzzo	4,50	Aa	3,32	Bb	18,25	Aa	17,50	Aa
UFVS Turquesa RR	4,13	Aa	3,89	Ab	19,00	Aa	18,50	Aa
TMG 1174 RR	4,55	Aa	4,25	Aa	17,00	Ab	15,25	Ab
TMG 1179 RR	3,86	Aa	3,74	Ab	17,00	Ab	16,00	Ab
TMG 1175 RR	4,78	Aa	4,79	Aa	17,00	Ab	15,50	Ab

AP (300 mg dm⁻³ de P no solo); BP (30 mg dm⁻³ de P no solo). Dentro de cada dose de P as médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott (P < 0,05), e maiúscula na coluna não diferem de si entre si pelo teste F (P<0,05).

As poucas diferenças estatísticas nas características de crescimento (DH, NN e NR) entre os níveis de fósforo no solo para a maioria das cultivares estudadas pode estar atrelado ao fato da adubação fosfatada ter sido efetuada de forma localizada logo abaixo da semente o que reduziu a área para adsorção do fósforo ao solo e assim aumentando a disponibilidade deste nutriente as plantas ao longo da fase vegetativa, já que a maior demanda por fósforo pela cultura da soja começa a partir do estágio R2 (floração plena) e no geral as cultivares utilizadas são de crescimento determinado, ou seja, pouco crescimento vegetativo após o florescimento.

Tabela 5. Valores médios do número de ramificações laterais (NR) e do número de vagens (NV) de plantas de soja avaliadas sob diferentes níveis de disponibilidade de fósforo (baixa disponibilidade – BP e alta disponibilidade – AP).

Cultivares	NR				NV			
	-		-		-		-	
	AP	BP	AP	BP	AP	BP	AP	BP
BMS Turmalina	7,00	Aa	5,00	Aa	44,83	Aa	21,35	Ba
BRSMG 68 (Vencedora)	6,50	Aa	6,00	Aa	43,45	Aa	21,00	Ba
FMT Tucunaré	4,75	Ab	4,25	Aa	28,60	Ab	14,53	Ba
MG/BR 46 (Conquista)	4,75	Ab	4,50	Aa	31,90	Ab	18,55	Ba
Monarca	3,50	Ab	3,50	Ab	32,45	Ab	18,20	Ba
Topázio RR	5,75	Aa	4,50	Aa	50,05	Aa	21,53	Ba
Capinópolis (UFV 16)	6,00	Aa	4,50	Aa	36,58	Ab	18,73	Ba
UFVS 2001	4,25	Ab	1,50	Bb	42,63	Aa	21,00	Ba
UFVS 2002	4,00	Ab	3,75	Ab	36,30	Ab	18,55	Ba
UFVS 2003	4,25	Ab	3,75	Ab	45,10	Aa	14,53	Ba
UFVS 2004	4,75	Ab	3,00	Ab	38,78	Ab	22,40	Ba
UFVS 2005	4,25	Ab	5,25	Aa	33,55	Ab	20,65	Ba
UFVS 2006	3,75	Ab	1,50	Bb	36,58	Ab	17,68	Ba
UFVS 2008	5,50	Aa	4,00	Aa	40,98	Aa	23,63	Ba
UFVS 2009	6,50	Aa	5,50	Aa	45,10	Aa	21,00	Ba
UFVS 2012	5,50	Aa	4,50	Aa	37,95	Ab	19,43	Ba
UFVS Berilo RR	5,75	Aa	3,50	Ab	48,68	Aa	20,13	Ba
UFVS Hematita	4,50	Ab	5,00	Aa	40,43	Aa	16,98	Ba
UFVS Opala RR	5,50	Aa	4,50	Aa	44,83	Aa	17,33	Ba
UFVS Quartzzo	6,75	Aa	5,50	Aa	48,95	Aa	24,85	Ba
UFVS Turquesa RR	2,75	Ab	3,50	Ab	35,20	Ab	21,70	Ba
TMG 1174 RR	4,00	Ab	2,25	Ab	36,85	Ab	15,05	Ba
TMG 1179 RR	4,75	Ab	2,75	Ab	43,45	Aa	21,70	Ba
TMG 1175 RR	3,25	Ab	2,75	Ab	34,93	Ab	17,68	Ba

AP (300 mg dm⁻³ de P no solo); BP (30 mg dm⁻³ de P no solo). Dentro de cada dose de P as médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott (P < 0,05), e maiúscula na coluna não diferem de si entre si pelo teste F (P<0,05).

Na Tabela 5 verifica-se que o número de vagens por planta (NV) produzidas foi afetado pela disponibilidade do teor de fósforo. A maior disponibilidade de P favoreceu o aumento do número de vagens produzidas em todas as cultivares, o que pode ser atribuído a melhor floração e pegamento de vagens dessas plantas.

Vale ressaltar que o nível de adubação com baixo teor de P contribuiu para a não discriminação entre as médias das cultivares, favorecendo o agrupamento de todas as

cultivares em um único grupo (Tabela 5). Em contrapartida, o nível de adubação com alta teor de P favoreceu a discriminação de dois grupos de cultivares.

O número de sementes por planta (NS) para o ambiente com alta disponibilidade de P também foi significativamente maior que em baixa disponibilidade (Tabela 6), verificando-se que todas as cultivares apresentaram redução para essa característica quando cultivadas nesse último ambiente. Esses resultados evidenciam, como esperado, que houve uma relação entre as características NV e o NS com a disponibilidade de P no solo. As médias das cultivares, para a característica NS, foram agrupadas em mais de um grupo apenas quando essas foram cultivadas no ambiente com alta disponibilidade de P, formando três grupos, com destaque para as cultivares Topázio RR e TMG 1179 RR que obtiveram as maiores médias.

O número de sementes por vagem (NSV) foi influenciado pela disponibilidade de P no solo (Tabela 6). Porém alguns genótipos não foram afetados pela mudança de ambiente, sendo eles: Monarca, UFVS 2001, UFVS 2002, UFVS 2003, UFVS Berilo RR e UFVS Turquesa RR. Verificou-se que tanto em alta e baixa disponibilidade de P houve o agrupamento das médias das cultivares em três e dois grupos, respectivamente. Destaque pode ser dado às cultivares Topázio RR, TMG 1174 RR, TMG 1179 RR e TMG 1175 RR que obtiveram as maiores médias nos dois diferentes níveis de fósforo no solo.

Tabela 6. Valores médios do número de sementes (NS) e do número de sementes por vagem (NSV) de plantas de soja avaliadas sob diferentes níveis de disponibilidade de fósforo (baixa disponibilidade – BP e alta disponibilidade – AP).

Cultivares	NS				NSV			
	-		-		-		-	
	AP	BP	AP	BP	AP	BP	AP	BP
BMS Turmalina	81,60	Ac	31,35	Ba	1,83	Ac	1,47	Bb
BRSMG 68 (Vencedora)	79,20	Ac	29,10	Ba	1,81	Ac	1,38	Bb
FMT Tucunaré	58,80	Ac	24,15	Ba	2,05	Ab	1,69	Ba
MG/BR 46 (Conquista)	64,80	Ac	29,40	Ba	2,03	Ab	1,63	Bb
Monarca	66,60	Ac	33,00	Ba	2,06	Ab	1,8	Aa
Topázio RR	115,80	Aa	39,90	Ba	2,32	Aa	1,88	Ba
Capinópolis (UFV 16)	67,50	Ac	27,15	Ba	1,87	Ac	1,48	Bb
UFVS 2001	76,80	Ac	32,55	Ba	1,80	Ac	1,55	Ab
UFVS 2002	63,90	Ac	28,05	Ba	1,79	Ac	1,53	Ab
UFVS 2003	72,90	Ac	22,65	Ba	1,62	Ac	1,59	Ab
UFVS 2004	78,90	Ac	31,65	Ba	2,04	Ab	1,41	Bb
UFVS 2005	68,70	Ac	30,30	Ba	2,09	Ab	1,48	Bb
UFVS 2006	61,50	Ac	24,30	Ba	1,70	Ac	1,39	Bb
UFVS 2008	76,20	Ac	29,70	Ba	1,84	Ac	1,26	Bb
UFVS 2009	86,10	Ab	31,35	Ba	1,92	Ac	1,48	Bb
UFVS 2012	78,00	Ac	30,00	Ba	2,07	Ab	1,57	Bb
UFVS Berilo RR	78,30	Ac	33,00	Ba	1,62	Ac	1,65	Ab
UFVS Hematita	70,20	Ac	24,15	Ba	1,74	Ac	1,41	Bb
UFVS Opala RR	93,30	Ab	27,60	Ba	2,09	Ab	1,58	Bb
UFVS Quartzo	87,00	Ab	36,30	Ba	1,77	Ac	1,43	Bb
UFVS Turquesa RR	69,30	Ac	36,90	Ba	1,97	Ac	1,76	Aa
TMG 1174 RR	90,60	Ab	30,15	Ba	2,48	Aa	2,06	Ba
TMG 1179 RR	102,00	Aa	40,80	Ba	2,34	Aa	1,88	Ba
TMG 1175 RR	84,00	Ab	31,95	Ba	2,44	Aa	1,81	Ba

AP (300 mg dm⁻³ de P no solo); BP (30 mg dm⁻³ de P no solo). Dentro de cada dose de P as médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott (P < 0,05), e maiúscula na coluna não diferem de si entre si pelo teste F (P<0,05).

O ambiente de baixa disponibilidade de proporcionou menor massa total de sementes (MTS) para todas as cultivares avaliadas (Tabela 7), quando comparado ao ambiente com alta disponibilidade. Comportamento diferenciado entre as cultivares só foi constatado para o ambiente com alta disponibilidade de P, sendo as cultivares Monarca, UFVS Berilo RR, UFVS Opala RR, UFVS Quartzo e UFVS Turquesa RR que se destacaram como as mais produtivas.

A característica massa de cem grãos (M100) é uma característica intrínseca à cultivar. Assim, a disponibilidade de fósforo no solo não afetou a massa de 100 grãos para a maioria das cultivares com exceção para as cultivares Monarca, UFVS 2004, UFVS 2008, UFVS Turquesa RR, TMG 1174 RR (Tabela 7).

Tabela 7. Valores médios da massa total de sementes (MTS) e da massa de 100 sementes (M100) de plantas de soja avaliadas sob diferentes níveis de disponibilidade de fósforo (baixa disponibilidade – BP e alta disponibilidade – AP).

Cultivares	MTS				M100			
	g		g		g		g	
	AP	BP	AP	BP	AP	BP	AP	BP
BMS Turmalina	13,46	Ab	4,71	Ba	16,64	Ab	15,23	Ab
BRSMG 68 (Vencedora)	12,83	Ab	5,95	Ba	17,41	Ab	20,63	Aa
FMT Tucunaré	12,10	Ab	4,86	Ba	21,3	Aa	20,14	Aa
MG/BR 46 (Conquista)	14,21	Ab	6,40	Ba	22,45	Aa	23,10	Aa
Monarca	16,56	Aa	6,10	Ba	25,04	Aa	19,47	Ba
Topázio RR	14,09	Ab	5,55	Ba	12,22	Ac	14,05	Ab
Capinópolis (UFV 16)	14,00	Ab	5,85	Ba	20,77	Aa	21,56	Aa
UFVS 2001	14,61	Ab	5,25	Ba	19,29	Ab	16,13	Ab
UFVS 2002	14,57	Ab	5,88	Ba	23,06	Aa	20,94	Aa
UFVS 2003	12,98	Ab	4,25	Ba	17,66	Ab	19,21	Aa
UFVS 2004	13,82	Ab	6,81	Ba	17,56	Bb	21,93	Aa
UFVS 2005	13,23	Ab	5,8	Ba	19,37	Ab	19,11	Aa
UFVS 2006	11,64	Ab	4,64	Ba	18,97	Ab	19,40	Aa
UFVS 2008	13,04	Ab	4,28	Ba	18,77	Ab	14,40	Bb
UFVS 2009	12,67	Ab	4,97	Ba	15,19	Ac	15,96	Ab
UFVS 2012	14,13	Ab	5,05	Ba	18,28	Ab	16,78	Ab
UFVS Berilo RR	17,06	Aa	5,94	Ba	21,95	Aa	17,99	Aa
UFVS Hematita	13,11	Ab	4,32	Ba	19,54	Ab	18,93	Aa
UFVS Opala RR	16,90	Aa	4,82	Ba	18,25	Ab	17,35	Ab
UFVS Quartzo	15,51	Aa	5,01	Ba	18,15	Ab	14,30	Ab
UFVS Turquesa RR	15,18	Aa	5,55	Ba	22,36	Aa	15,14	Bb
TMG 1174 RR	13,99	Ab	5,94	Ba	15,78	Bc	20,12	Aa
TMG 1179 RR	14,04	Ab	6,18	Ba	14,02	Ac	15,18	Ab
TMG 1175 RR	14,40	Ab	6,03	Ba	17,52	Ab	19,06	Aa

AP (300 mg dm⁻³ de P no solo); BP (30 mg dm⁻³ de P no solo). Dentro de cada dose de P as médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott (P < 0,05), e maiúscula na coluna não diferem de si entre si pelo teste F (P<0,05).

Segundo Rosolém e Bastos (1997) o P é importante para o pegamento e desenvolvimento da parte reprodutiva da planta. Deuloche (1982) explica que dentro de certos limites, as plantas têm capacidade de compensar na produtividade e na produção

as deficiências do ambiente, reduzindo a quantidade e não a qualidade de sementes. Geralmente, em condições de baixa disponibilidade de P o número de sementes por vagem e o peso das sementes não são reduzidos, ao contrário do que ocorre com o número de vagens, pois as plantas respondem à deficiência de P por adaptações que maximizam a probabilidade de produzir sementes viáveis (GRANT et al., 2001).

Partição de Matéria Seca

Os valores de matéria seca de hastes e de vagens são apresentados na Tabela 8. Verificou-se que para ambas as características a redução da disponibilidade de P reduziu a média de algumas cultivares. Dentro de cada ambiente foi possível à formação de dois grupos para ambas as características.

O incremento do P no solo contribui para uma maior formação de biomassa, em função de uma maior translocação do nutriente para planta. Apesar de não avaliado nesse trabalho, Fageria (1999) relata que um maior número e tamanho de folhas são promovidos por esse incremento na adubação fosfatada resultando em maior área superficial para a realização da fotossíntese, o que implica no maior acúmulo de matéria seca nas hastes da planta de soja.

Em relação à matéria seca de vagem os resultados obtidos estão em associação à característica número de vagens (Tabela 5). Esses resultados já eram esperados, uma vez que a baixa disponibilidade de P para as plantas de soja está induz ao abortamento de flores e conseqüentemente à redução do número de vagens formadas.

Esses incrementos de matéria seca na parte aérea (MSH e MSV) foram ainda confirmados por outros autores, como Lopes (2001) e Soares (2013), ao compararem os cultivos de soja em solos com diferentes níveis de adubação fosfatada.

Tabela 8. Valores médios da matéria seca de hastes (MSH) e da matéria seca das vagens (DH) de plantas de soja avaliadas sob diferentes níveis de disponibilidade de fósforo (baixa disponibilidade – BP e alta disponibilidade – AP).

Cultivares	MSH				MSV			
	g		g		g		g	
	AP	BP	AP	BP	AP	BP	AP	BP
BMS Turmalina	6,51	Ab	3,82	Bb	3,48	Ab	2,57	Bb
BRSMG 68 (Vencedora)	6,69	Ab	5,58	Aa	4,28	Aa	3,43	Ba
FMT Tucunaré	8,04	Aa	5,08	Bb	3,62	Ab	2,96	Ab
MG/BR 46 (Conquista)	7,79	Aa	6,10	Ba	4,10	Aa	3,46	Aa
Monarca	8,03	Aa	5,90	Ba	4,56	Aa	3,60	Ba
Topázio RR	5,83	Ab	4,37	Ab	4,14	Aa	3,01	Bb
Capinópolis (UFV 16)	7,36	Aa	6,34	Aa	4,60	Aa	3,53	Ba
UFVS 2001	6,53	Ab	3,80	Bb	3,73	Ab	2,94	Ab
UFVS 2002	7,13	Aa	4,66	Bb	4,15	Aa	3,08	Ba
UFVS 2003	8,30	Aa	4,57	Bb	4,20	Aa	2,46	Bb
UFVS 2004	9,00	Aa	7,97	Aa	3,49	Ab	2,87	Ab
UFVS 2005	8,24	Aa	6,71	Aa	4,32	Aa	3,71	Aa
UFVS 2006	5,52	Ab	3,93	Ab	3,26	Ab	2,42	Bb
UFVS 2008	7,30	Aa	5,01	Bb	3,20	Ab	2,66	Ab
UFVS 2009	5,81	Ab	5,42	Aa	3,34	Ab	3,25	Aa
UFVS 2012	6,80	Ab	5,90	Aa	3,73	Ab	3,20	Aa
UFVS Berilo RR	7,99	Aa	5,56	Bb	4,81	Aa	3,14	Ba
UFVS Hematita	6,04	Ab	4,08	Bb	3,34	Ab	2,39	Bb
UFVS Opala RR	6,14	Ab	3,80	Bb	4,32	Aa	2,57	Bb
UFVS Quartzo	7,93	Aa	4,94	Bb	3,23	Ab	2,72	Ab
UFVS Turquesa RR	6,78	Ab	5,92	Aa	3,56	Ab	3,60	Aa
TMG 1174 RR	6,53	Ab	4,72	Bb	3,99	Aa	2,74	Bb
TMG 1179 RR	5,36	Ab	4,64	Ab	3,66	Ab	3,12	Aa
TMG 1175 RR	5,67	Ab	4,44	Ab	3,44	Ab	2,91	Ab

AP (300 mg dm⁻³ de P no solo); BP (30 mg dm⁻³ de P no solo). Dentro de cada dose de P as médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott (P < 0,05), e maiúscula na coluna não diferem de si entre si pelo teste F (P<0,05).

A produção de matéria seca de raízes (Tabela 9), obtida nos dois níveis de fósforo não diferiram estatisticamente. Vale ressaltar que o ambiente com baixa disponibilidade de fósforo contribuiu para o agrupamento único das médias das cultivares em estudo, o que não aconteceu para o ambiente com alta disponibilidade de P.

Genótipos eficientes na utilização de fósforo alocam uma fração maior de sua biomassa para o crescimento das raízes, especialmente sob condições de baixa

disponibilidade de fósforo (Nielsen et al., 2001). Genótipos eficientes também apresentam menores taxas de respiração das raízes quando comparados a genótipos ineficientes, o que permite manter uma maior alocação de biomassa radicular, sem aumentar os gastos de carbono pela raiz.

Tabela 9. Valores médios da matéria seca de raiz (MSR) de plantas de soja avaliadas sob diferentes níveis de disponibilidade de fósforo (baixo teor – BP e alto teor – AP).

Cultivares	MSR			
	g		g	
	AP		BP	
BMS Turmalina	1,61	Ab	0,91	Aa
BRSMG 68 (Vencedora)	1,60	Ab	1,46	Aa
FMT Tucunaré	1,82	Aa	1,29	Aa
MG/BR 46 (Conquista)	1,14	Ab	1,43	Aa
Monarca	1,93	Aa	2,03	Aa
Topázio RR	1,08	Ab	1,69	Aa
Capinópolis (UFV 16)	1,56	Ab	1,60	Aa
UFVS 2001	2,25	Aa	1,30	Ba
UFVS 2002	1,76	Aa	1,31	Aa
UFVS 2003	1,68	Ab	1,54	Aa
UFVS 2004	2,52	Aa	2,48	Aa
UFVS 2005	2,36	Aa	1,60	Aa
UFVS 2006	1,42	Ab	1,06	Aa
UFVS 2008	1,18	Ab	1,60	Aa
UFVS 2009	1,34	Ab	1,81	Aa
UFVS 2012	1,44	Ab	1,42	Aa
UFVS Berilo RR	1,51	Ab	1,13	Aa
UFVS Hematita	1,62	Ab	1,56	Aa
UFVS Opala RR	1,14	Ab	1,76	Aa
UFVS Quartzo	1,93	Aa	1,96	Aa
UFVS Turquesa RR	1,09	Ab	1,43	Aa
TMG 1174 RR	1,39	Ab	1,20	Aa
TMG 1179 RR	1,35	Ab	1,26	Aa
TMG 1175 RR	1,47	Ab	1,63	Aa

AP (300 mg dm⁻³ de P no solo); BP (30 mg dm⁻³ de P no solo). Dentro de cada dose de P as médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott (P < 0,05), e maiúscula na coluna não diferem de si entre si pelo teste F (P<0,05).

Segundo Drew et al. (1978), o fósforo promove rápida formação e crescimento do sistema radicular, resultando em maior desenvolvimento do mesmo. Entretanto a não discriminação das cultivares avaliadas sob condições de baixa disponibilidade de P, no presente estudo, pode estar associado ao estresse ser sofrido tardiamente, como citado anteriormente, devido à forma de aplicação localizada da fonte de fosfato. Além disso, a redução na taxa de crescimento da parte aérea ocorre logo após o início da deficiência de P, enquanto o crescimento radicular só é limitado após maior intervalo de tempo e com menos intensidade.

Índices de eficiências

Os índices de eficiência são importantes ferramentas para a determinação do desempenho nutricional em plantas. Através deles, é possível visualizar conjuntamente características da absorção de nutrientes e da produção das plantas. Os valores da eficiência de uso (EU) e da resposta à utilização do P são apresentados na Tabela 10.

Verificou-se que houve diferença entre os níveis de disponibilidade de P aplicados no solo para a característica EU. Além disso, verificou-se que o comportamento de cada cultivar foi diferenciado frente à alteração no teor da adubação fosfatada aplicada, sendo mais elevados quando as cultivares foram avaliadas no ambiente com baixa disponibilidade de P.

Fageria (1992) relatou que os valores de eficiência geralmente diminuem com o aumento de níveis de nutriente devido ao nivelamento de produção pelos genótipos, ou seja, a disponibilidade adequada do nutriente faz com que os genótipos não necessitem ativar mecanismos que expressão a eficiência do uso do nutriente..

Tabela 10. Valores médios da eficiência ao uso (EU) e da eficiência de resposta (ER) de plantas de soja avaliadas sob diferentes níveis de disponibilidade de fósforo (baixa disponibilidade – BP e alta disponibilidade – AP).

Cultivares	EU g·g ⁻¹			ER g·g ⁻¹		
	AP	Ba	BP	Af	Índice	%*
BMS Turmalina	17,95	Ba	62,76	Af	12,97	101,05
BRSMG 68 (Vencedora)	17,11	Ba	79,32	Ac	10,19	79,39
FMT Tucunaré	16,14	Ba	64,82	Af	10,73	83,58
MG/BR 46 (Conquista)	18,94	Ba	85,40	Ab	11,56	90,01
Monarca	22,08	Ba	81,36	Ac	15,49	120,68
Topázio RR	18,79	Ba	73,98	Ad	12,66	98,61
Capinópolis (UFV 16)	18,67	Ba	78,04	Ac	12,07	94,01
UFVS 2001	19,47	Ba	70,03	Ae	13,86	107,92
UFVS 2002	19,43	Ba	78,35	Ac	12,88	100,34
UFVS 2003	17,3	Ba	56,61	Ag	12,94	100,75
UFVS 2004	18,43	Ba	90,74	Aa	10,4	80,99
UFVS 2005	17,63	Ba	77,34	Ac	11,00	85,68
UFVS 2006	15,52	Ba	61,89	Af	10,36	80,72
UFVS 2008	17,39	Ba	57,00	Ag	12,99	101,15
UFVS 2009	16,89	Ba	66,22	Ae	11,41	88,87
UFVS 2012	18,84	Ba	67,35	Ae	13,45	104,73
UFVS Berilo RR	22,75	Ba	79,23	Ac	16,47	128,28
UFVS Hematita	17,48	Ba	57,6	Ag	13,02	101,42
UFVS Opala RR	22,53	Ba	64,27	Af	17,89	139,38
UFVS Quartzo	20,69	Ba	66,76	Ae	15,57	121,24
UFVS Turquesa RR	20,23	Ba	73,99	Ad	14,26	111,08
TMG 1174 RR	18,66	Ba	79,23	Ac	11,93	92,91
TMG 1179 RR	18,72	Ba	82,35	Ac	11,65	90,71
TMG 1175 RR	19,19	Ba	80,45	Ac	12,39	96,49

AP (300 mg dm⁻³ de P no solo); BP (30 mg dm⁻³ de P no solo). Dentro de cada dose de P as médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott (P < 0,05), e maiúscula na coluna não diferem de si entre si pelo teste F (P<0,05). * Porcentagem da ER em função da média geral dos genótipos.

No ambiente com alta disponibilidade de P não foi possível à discriminação entre as cultivares, visto que esse mineral se encontra em maiores concentrações no solo e possivelmente não sendo mais o fator limitante para o desenvolvimento da planta. O mesmo não ocorreu para o ambiente com baixa disponibilidade de P, sendo que esse favoreceu o agrupamento das médias das cultivares em seis grupos, com destaque para a cultivar UFVS 2004, considerada a mais eficiente em utilizar o P disponível. Assim, foi

possível afirmar que a classificação de genótipos eficientes ao uso de fósforo deve ser realizada em condições de baixa disponibilidade desse nutriente no solo. Além disso, nesse ambiente revelou a variabilidade genética existente entre as cultivares avaliadas, por meio da formação de sete grupos distintos em relação às médias, fator esse preponderante para a eficiência do programa de melhoramento.

Os valores para eficiência de resposta (ER) à utilização de P se encontram na Tabela 10 e, por meio da análise de variância (Tabela 3) foi possível afirmar que as cultivares apresentaram igual média para a característica em questão.

Correlações fenotípicas

De modo geral, pode se observar que as características massa total de sementes (MTS), que é utilizada para o cálculo da eficiência do uso, e massa seca de vagem (MSV) estão correlacionadas com a característica eficiência do uso (EU) quando as cultivares foram avaliadas em ambiente com baixa disponibilidade de P (Tabela 11), sendo este ambiente, conforme resultados apresentados anteriormente, o mais adequado para avaliação da característica.

A correlação entre MTS com massa seca de hastes (MSH) e MSV, demonstra que as plantas com maior investimento em parte aérea tendem a serem mais produtivas, ou seja, maior produção de parte aérea está associado à maior produção e alocação de fotoassimilados para os grãos e, conseqüentemente, maior eficiência do uso de fósforo em ambientes com baixa disponibilidade desse mineral.

Considerando a característica eficiência de resposta (ER) no ambiente com baixa disponibilidade, apenas as características EU e MTS foram significativamente correlacionadas com a mesma. Cultivares mais eficientes ao uso de P tendem a serem mais responsivas à disponibilidade baixa desse mineral no solo. Esse resultado é de grande valia para os programas de melhoramento, uma vez que a seleção de genótipos, em condições de baixa disponibilidade de P, mais eficientes ao uso de fósforo refletem também nos mais responsivos (correlação 0,86).

Em condições de alto teor de fósforo, como destacado na Tabela 12, segue-se a mesma tendência. A correlação entre a EU e as características de matéria seca da parte aérea foram significativas (0,59 e 0,63 para MSH e MSV, respectivamente). Neste ambiente, nenhuma característica correlacionou-se com a eficiência de resposta,

comprovando mais uma vez que a seleção realizada em ambiente com baixa disponibilidade de P favorece a seleção de genótipos mais responsivos.

A produção de matéria seca de hastes foi positivamente correlacionada com a produção de matéria seca de raiz em ambos ambientes de disponibilidade, sendo assim, não houve tendência de investimento de produção de matéria seca da parte radicular em detrimento de matéria seca da parte aérea pelas cultivares avaliadas. Nesse sentido tem-se que, um sistema radicular bem desenvolvido leva a uma maior absorção de nutrientes e água que acarreta num maior crescimento e desenvolvimento da parte aérea de maneira a ter uma tendência no aumento da produtividade das plantas.

Tabela 11. Coeficientes de correlação fenotípica entre treze caracteres sob condição de baixo teor de fósforo no solo – diâmetro de hipocótilo (DH), número de ramificações laterais (NR), número de nós (NN), número de vagens (NV), número de sementes (NS), número de sementes por vagem (NSV), massa total de sementes (MTS), massa de 100 sementes (M100), matéria seca de raiz (MSR), matéria seca de hastas (MSH), matéria seca de vagem (MSV), eficiência do uso (EU) e eficiência de resposta (ER)

VARIÁVEIS	NR	NN	NV	NS	NSV	MTS	M100	MSR	MSH	MSV	EU	ER
DH	0.06 ^{NS}	0.15 ^{NS}	0.06 ^{NS}	0.14 ^{NS}	0.17 ^{NS}	-0.10 ^{NS}	-0.23 ^{NS}	-0.23 ^{NS}	0.05 ^{NS}	-0.37 ^{NS}	-0.10 ^{NS}	-0.06 ^{NS}
NR		-0.07 ^{NS}	0.62 ^{**}	0.36 ^{NS}	-0.27 ^{NS}	-0.04 ^{NS}	-0.39 ^{NS}	-0.07 ^{NS}	0.00 ^{NS}	0.01 ^{NS}	-0.04 ^{NS}	0.07 ^{NS}
NN			0.05 ^{NS}	-0.18 ^{NS}	-0.27 ^{NS}	0.16 ^{NS}	0.18 ^{NS}	0.32 ^{NS}	0.62 ^{**}	0.04 ^{NS}	0.16 ^{NS}	0.21 ^{NS}
NV				0.69 ^{**}	-0.27 ^{NS}	0.22 ^{NS}	-0.58 ^{**}	-0.16 ^{NS}	-0.23 ^{NS}	0.01 ^{NS}	0.22 ^{NS}	0.37 ^{NS}
NS					0.51 [*]	0.23 ^{NS}	-0.82 ^{**}	0.31 ^{NS}	-0.45 [*]	0.03 ^{NS}	0.23 ^{NS}	0.19 ^{NS}
NSV						0.09 ^{NS}	0.38 ^{NS}	-0.20 ^{NS}	-0.30 ^{NS}	0.01 ^{NS}	0.09 ^{NS}	-0.15 ^{NS}
MTS							0.33 ^{NS}	-0.05 ^{NS}	0.50 [*]	0.49 [*]	1.00 ^{**}	0.86 ^{**}
M100								0.19 ^{NS}	0.16 ^{NS}	0.32 ^{NS}	0.33 ^{NS}	0.28 ^{NS}
MSR									0.57 ^{**}	0.05 ^{NS}	-0.05 ^{NS}	-0.17 ^{NS}
MSH										0.33 ^{NS}	0.16 ^{NS}	0.05 ^{NS}
MSV											0.48 [*]	0.28 ^{NS}
EU												0.86 ^{**}

** e *: Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t; ^{NS}: Não significativo

Tabela 12. Coeficientes de correlação fenotípica entre treze caracteres sob condição de alto teor de fósforo no solo – diâmetro de hipocótilo (DH), número de ramificações laterais (NR), número de nós (NN), número de vagens (NV), número de sementes (NS), número de sementes por vagem (NSV), massa total de sementes (MTS), massa de 100 sementes (M100), matéria seca de raiz (MSR), matéria seca de hastes (MSH), matéria seca de vagem (MSV), eficiência do uso (EU) e eficiência de resposta (ER)

VARIÁVEIS	NR	NN	NV	NS	NSV	MTS	M100	MSR	MSH	MSV	EU	ER
DH	-0.23 ^{NS}	0.27 ^{NS}	-0.01 ^{NS}	-0.14 ^{NS}	-0.08 ^{NS}	0.14 ^{NS}	0.16 ^{NS}	0.20 ^{NS}	0.43*	0.10 ^{NS}	0.14 ^{NS}	-0.24 ^{NS}
NR		-0.10 ^{NS}	0.23 ^{NS}	-0.06 ^{NS}	-0.39 ^{NS}	-0.18 ^{NS}	-0.08 ^{NS}	0.22 ^{NS}	0.21 ^{NS}	0.23 ^{NS}	-0.18 ^{NS}	0.03 ^{NS}
NN			0.38 ^{NS}	0.22 ^{NS}	-0.13 ^{NS}	0.18 ^{NS}	-0.06 ^{NS}	0.50*	0.51*	0.18 ^{NS}	0.17 ^{NS}	-0.02 ^{NS}
NV				0.68**	-0.38 ^{NS}	0.15 ^{NS}	-0.56**	0.28 ^{NS}	0.25 ^{NS}	0.21 ^{NS}	0.15 ^{NS}	0.08 ^{NS}
NS					0.41*	0.44*	-0.59**	0.16 ^{NS}	0.10 ^{NS}	0.35 ^{NS}	0.44*	0.21 ^{NS}
NSV						0.39 ^{NS}	-0.02 ^{NS}	-0.16 ^{NS}	-0.11 ^{NS}	0.21 ^{NS}	0.40 ^{NS}	0.12 ^{NS}
MTS							0.45*	0.27 ^{NS}	0.60**	0.63**	1.00**	-0.19 ^{NS}
M100								0.10 ^{NS}	0.42*	0.21 ^{NS}	0.45*	-0.39 ^{NS}
MSR									0.54*	0.14 ^{NS}	0.27 ^{NS}	0.08 ^{NS}
MSH										0.65**	0.59**	-0.27 ^{NS}
MSV											0.63**	-0.11 ^{NS}
EU												-0.19 ^{NS}

** e *: Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t; ^{NS}: Não significativo

Classificação pela metodologia de Fageria e Kluthcouski (1980)

Pela metodologia de Fageria e Kluthcouski (1980), adotada para diferenciação dos genótipos, a classificação quanto à eficiência e resposta ao uso do P, em relação à produtividade, foi apresentada na Figura 1. As 24 cultivares avaliadas foram distribuídas nos quadrantes da seguinte forma: quatro foram classificadas como eficientes e responsivas, oito como não-eficientes e responsivas, três como não-eficientes e não-responsivas e nove como eficientes e não-responsivas.

Dentre as cultivares classificadas como eficientes (quadrantes I e IV da Figura 1), ou seja, que apresentou produtividades acima da média geral em baixo fósforo, podemos destacar 13 cultivares, sendo assim mais adaptadas às condições de estresse nutricional por P. Já em relação à responsividade, doze cultivares foram classificadas como responsivas à disponibilidade de P no solo (quadrantes I e II da Figura 1), sendo recomendadas para produtores que investem mais na adubação fosfatada.

Observa-se que as cultivares apresentaram comportamento diferenciado quanto à eficiência no uso do fósforo (Figura 1). Fidélis et al. (2008) relata que esta diversidade na eficiência de uso do P entre os genótipos é devido aos processos associados à absorção, translocação, assimilação e redistribuição do fósforo serem mais eficientes nos genótipos eficientes do que nos demais. Furlani et al. (2002) também verificou a existência dessa diversidade de eficiência do uso do fósforo em genótipos de soja. Em diversos trabalhos com culturas anuais foi verificada a existência de variabilidade genética quanto à eficiência de fósforo (FAGERIA, 1998; FIDELIS et al., 2010; ROTILI et al., 2010;).

Cultivares eficientes no uso do fósforo são indicadas para os cultivos de baixa e média tecnologia, nos quais os produtores não utilizam grandes doses de adubação em função do alto custo deste nutriente (CANCELLIER et al., 2011; PASSOS et al., 2015).

Em relação à resposta à aplicação da adubação fosfatada, pode-se destacar a cultivar UFVS Opala RR que apresentou um índice de resposta de 17,89. Sousa et al. (2012) cita que genótipos responsivos são de interesse, já que quando cultivados em ambientes adequados de adubação, respondem satisfatoriamente aos incrementos na dose do nutriente. Cultivares com altos índices de resposta são indicadas aos produtores de alta tecnologia que utilizam altas adubações (FIDELIS et al., 2012).

As cultivares que se encontram no quadrante I, Monarca, UFVS 2002, UFVS Berilo RR e UFVS Turquesa RR, foram classificadas como eficientes e responsivas sendo recomendadas tanto a ambientes com baixa disponibilidade de fósforo quanto em ambientes em condições ideais e de alta tecnificação.

No quadrante II estão representadas as cultivares BMS Turmalina, UFVS 2001, UFVS 2003, UFVS 2008, UFVS Hematita, UFVS Opala RR e UFVS Quartzo, foram classificadas como não-eficientes e responsivas. Sendo essas cultivares recomendadas para produtores com nível tecnológico elevado, por responderem à melhoria do ambiente e por não produzirem satisfatoriamente em condições de baixa disponibilidade de P.

As cultivares FMT Tucunaré, UFVS 2006 e UFVS 2009, se encontram no quadrante III e pela metodologia proposta foram classificadas como não eficientes e não responsivas.

No quarto e ultimo quadrante se encontram a maioria das cultivares avaliadas, MG/BR 46 (Conquista), TMG 1174 RR, TMG 1175 RR, TMG 1179 RR, UFVS 2001, UFVS 2004, UFVS 2005, Capinópolis (UFV-16) e BRSMG 68 (Vencedora), sendo classificadas como eficientes e não-responsivas. Essas cultivares possuem bom desempenho em ambientes de baixa disponibilidade de P, porém não respondem bem à adubação fosfatada, sendo recomendadas para agricultores com baixa tecnificação.

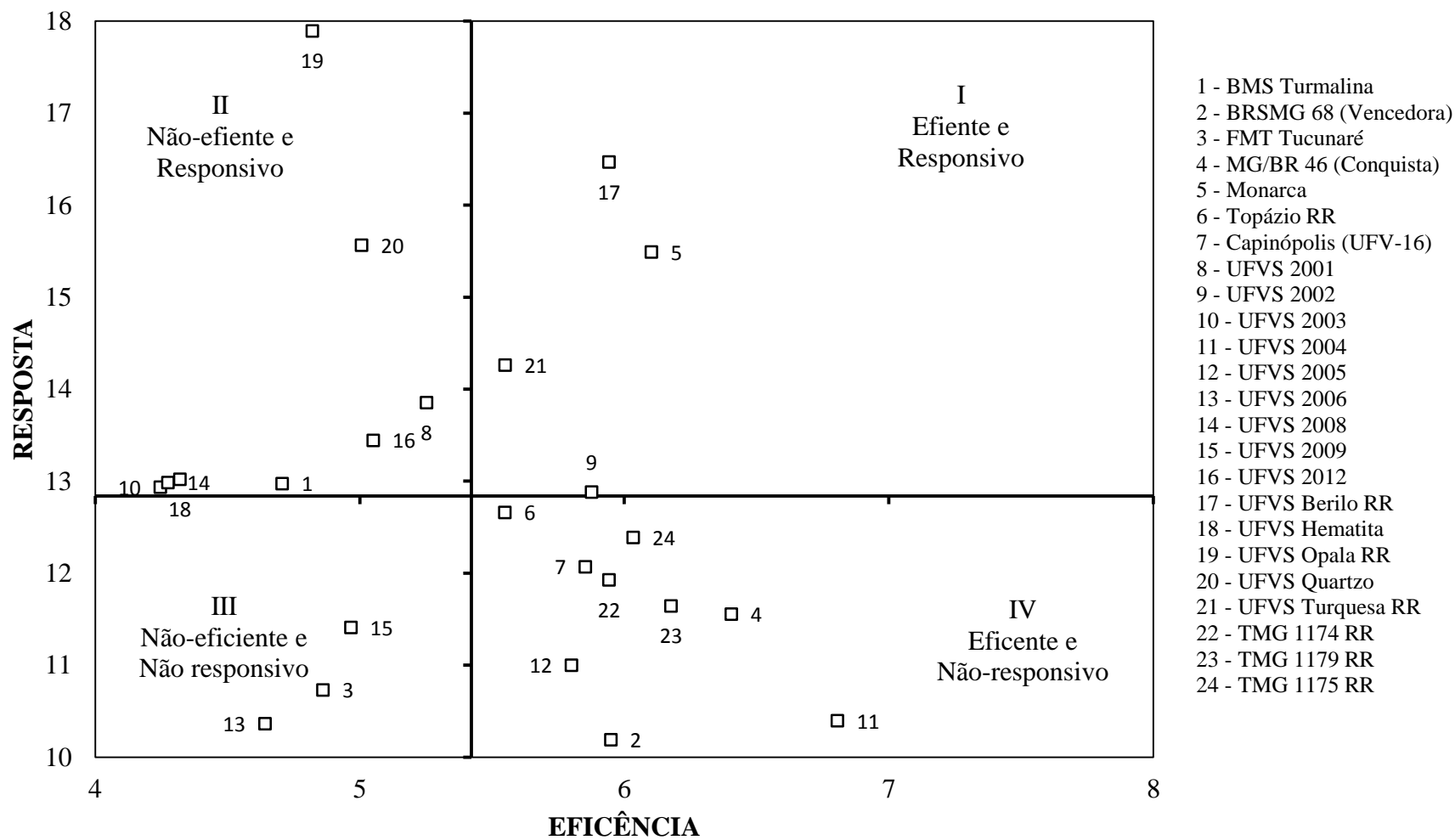


Figura 1 - Classificação das cultivares de soja quanto à eficiência de uso de P e à resposta à adubação, pela metodologia de Fageria e Kluthcouski (1980).

CONCLUSÕES

A classificação de genótipos eficientes ao uso de fósforo foi eficiente quando as cultivares foram avaliadas em condições de baixa disponibilidade de fósforo no solo.

A seleção de cultivares eficientes ao uso do fósforo em ambiente com baixa disponibilidade de fósforo favoreceu a seleção de cultivares responsivas à disponibilidade desse mineral.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, W.F.; SAMPAIO, R.A.; MEDEIROS, R.D. Resposta de cultivares de soja à adubação fosfatada. **Revista Ciência Agronômica**, v, 36, p.129-134, 2005.
- CANCELLIER, E.L.; BARROS, H.B.; KISCHEL, E.; GONZAGA, L.A.M.; BRANDÃO, D.R.; FIDELIS, R.R. Eficiência agrônômica no uso de nitrogênio mineral por cultivares de arroz de terras altas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, p.650-656, 2011.
- CAMACHO-CRISTÓBAL, J. J. et al. PRD, an *Arabidopsis AINTEGUMENTA*-like gene, is involved in root architectural changes in response to phosphate starvation. **Planta**, v. 228, n. 3, p. 511-522, 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**, 21(10):2219-2229, 1998.
- 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**, Praeger, p.1-55, 1984.
- CRUZ, C.D. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.35, n.3, p.271-276, 2013.
- CUNHA, F.J.; CASARIN, V.; PROCHNOW, L.I. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira no período de 1988 a 2010. **Informações agrônômicas**, n.135, p.1- 7, 2011.
- DELOUCHE, J.C. The compensation principle. **Seedsmen Digest**, 23(1):45-49, 1982.
- DREW, M.C.; SACKER, L.R. Nutrient supply and the growth of the seminal root system in barley. **Journal of Experimental Botany**, 29:435-451, 1978.
- EMBRAPA SOJA. **Soja**. 2015 Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1>. Acesso: 17 de março de 2016.
- ERNANI, P.; FIGUEIREDO, O.; BECEGATO, V.; ALMEIDA, J. A. Decréscimo da retenção de fósforo pelo aumento do pH. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, p. 159-162, 1996.

FAGERIA, N.D.; KLUTHCOUSKI, J. **Metodologia para avaliação de cultivares de arroz e feijão para condições adversas de solo**. Brasília: Embrapa/CNPAP, (Circular Técnica, 8), 1980, 22p.

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

FAGERIA, N.K. Eficiência de uso de Fósforo pelos Genótipos de Feijão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p.128-131, 1998.

FAGERIA, N.K. Adubação e calagem. In: VIERIA, N.R.A.; SANTOS, A.B.; SANT'ANA, E.P. (Ed). **A cultura do arroz no Brasil**. Santo Antonio de Goiás: EMBRAPA-CNPAP, p.329-353, 1999.

FEHR, W,R,.; CAVINESS, C,E,. **Stages on soybean development**. Ames: Iowa State University/Cooperative Extension Service, (Special Report, 80), 1977, 11p.

FIDÉLIS, R,R,.; AFFERRI, F.S.; PELUZIO, J.M.; DOS SANTOS, G.R.; & LEMUS, E.A.E,. Classificação de populações de milho quanto a eficiência e resposta ao uso de fósforo em solos naturais de cerrado. **Bioscience Journal**, v.24, p.241-246, 2008.

FIDELIS, R.R.; MIRANDA, G.V.; PELÚZIO, J. M.; GALVÃO, J.C.C. Classificação de populações de milho quanto à eficiência e resposta ao uso de fósforo. **Acta Scientiarum, Agronomy**. Maringá, v.32, p.241-246, 2010.

FIDELIS, R. R.; KISCHEL, E.; MACHADO, A. F. L.; CANCELLIER, E. L.; PASSOS, N. G. Eficiência no uso de nitrogênio de genótipos de arroz em solos de várzea irrigada. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.7, n.1, p.264-272, 2012.

FURLANI, A.M.C.; FURLANI, P.R.; TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; DELGADO, M.D.P. Variability in soybean germoplasm for phosphorus uptake and use efficiency, **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, p.529-536, 2002.

GATIBONI, L. C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2003.

GERLOFF, G. C.; GABELMAN, W. H. Genetic basis of inorganic plant nutrition. In: LÄUCHLI, A.; BIELESKI, R. L. (Eds.). Inorganic plant nutrition. **Encyclopedia of plant physiology**, v.15B, p. 453-480, 1983.

- GRANT, C.A.; FLATEM, D.N.; TOMASIEWICZ, D.J.; SHEPPARD, S.C. The importance of early season phosphorus nutrition. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 81, n.2, p. 211-224, 2001.
- HOLFORD, I. C. R. Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants. **Australia Journal of Soil Research**, Collingwood, v.35, n.2, p.227-239, 1997.
- LIMA, S.S. **Crescimento, Composição Mineral e Sintomas Visuais de Deficiências de Macronutrientes em Plantas de Zingiber Spectabilis Griff.** Tese de Mestrado. Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém – PA, 2009, 84p.
- LOPES. A.S. **Boletim Técnico de Pesquisa de Soja**. Rondonópolis, MT: Fundação MT, 2001. 144 p.
- MOLL, R.H.; KAMPRATH, E.J.; JACKSON, W.A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, 74:562-564, 1982.
- 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**, Uberlandia, 2006, Proceedings...Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, p, 150-151, 2006.
- NIELSEN, K.; ESHEL, A.; LYNCH, J. P. The effect of phosphorus availability on the carbon economy of contrasting common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. **Journal of Experimental Botany**, v. 52, p. 329-339, 2001.
- NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. **Fertilidade dos solos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.
- NUNES, R.S. **Eficiência de uso do fósforo em sistemas de manejo do solo e adubação fosfatada por um longo período**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Brasília, Brasília-DF, 2014.
- OZTURK, L. et al. Variation in phosphorus efficiency among 73 bread and durum wheat genotypes grown in a phosphorus-deficient calcareous soil. **Plant and Soil**, The Hague, v. 69, n. 1/2, p. 69-80, 2005.
- PASSOS, N.G.; SOUSA, S.A.; LOPES, M.B.S.; VARAVALLLO, M.A.; OLIVEIRA, T. C.; FIDELIS, R.R. Eficiência no uso de nitrogênio em genótipos de arroz em solos de

várzea tropical do Estado do Tocantins. **Revista Agro@mbiente On-line**, v, 9, n, 1, p, 8-16, 2015.

PIAIA, F.L.; REZENDE, P.M.; NETO, A.E.F.; FERNANDES, L.A.; CORRÊA, J.B. Eficiência da adubação fosfatada com diferentes fontes e saturação por bases na cultura da soja [Glycine max (L) merrill]. **Ciencia e Agrotecnologia**, v.26, n.3, p.488-499, 2002.

REINA, E.; PELUZIO, J. M.; AFFÉRI, F. S.; SIEBENEICHLER, S. C. Análise multivariada e eficiência do uso do fósforo em soja, visando o teor de carboidratos, no estado do Tocantins. **Bioscience Journal**, v.30, n.5, 2014.

ROSOLÉM, C. A.; BASTOS, G. B. Deficiências minerais no cultivar de algodão IAC 22. **Bragantia**, 56:377-387, 1997.

ROTILI, E.A.; FIDELIS, R.R.; SANTOS, M.M.; BARROS, H.B.; PINTO, L.C. Eficiência do uso e resposta à aplicação de fósforo de cultivares de arroz em solos de terras altas. **Bragantia**, v.69, p.705-710, 2010.

SALGADO, F.H.M.; SILVA, J.; OLIVEIRA, T.C.; BARROS, H.B.; PASSOS, N. G.; FIDELIS, R.R. Eficiência de genótipos de feijoeiro em resposta à adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.42, n.4, p.368-374, 2012.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F.L.; BORÉM, A. Soja – Do plantio a colheita. Viçosa-MG, 2015, 333p.

SOARES, M.M. **Nodulação, nutrição, componentes de rendimento e qualidade de sementes de soja em função do recobrimento de sementes e parcelamento da adubação fosfatada**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013, 181p.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Correção do solo e adubação da cultura da soja**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996. 30 p. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 33).

SOUSA, D.M.G.; REIN, T.A.; GOEDERT, W.J.; LOBATO, E.; NUNES, R.S. Fósforo. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. (Eds.) **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**, v.2, p.67-132, 2010.

STARNES, D. L.; PADMANABHAN, P.; SAHI, S. V. Effect of P sources on growth, P accumulation and activities of phytase and acid phosphatases in two cultivars of annual

ryegrass (*Lolium multiflorum* L.). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 46, n. 5/6, p. 580-589, 2008.

TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A. **Soja, nutrição, correção do solo e adubação**, Campinas: Fundação Cargill, 1992, 60 p.

YAN, X.; LIAO, H.; BEEBE, S. E.; BLAIR, M. W.; & LYNCH, J. P. QTL mapping of root hair and acid exudation traits and their relationship to phosphorus uptake in common bean. **Plant and Soil**, v.265, n.1/2, p.17-29, 2004.

WISSUWA, M.; WEGNER, J.; AE, N.; YANO, M. Substitution mapping of Pup1: a major QTL increasing phosphorus uptake of rice from a phosphorus-deficient soil. **Theoretical and Applied Genetics**, v.105, n.6/7, p.890-897, 2002.

VALADÃO JÚNIOR, D. D. *et al.* Adubação fosfatada na cultura da soja em Rondônia. **Scientia Agraria**, v. 09, n. 03, p. 369-375, 2008

VANCE, C.P.; UHDE-STONE, C.; ALLEN, D.L. Phosphorus acquisition and use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, St. Paul, v. 157, p. 423-447, 2003.

VON UEXKÜLL, H.R.; MUTERT, E. Global extent, development and economic impact of acid soils. **Plant and Soil, The Hague**, v. 171, n. 1, p. 1-15, 1995.