

# Classificação de genótipos de soja quanto a eficiência e resposta ao uso de fósforo em solo arenoso do cerrado brasileiro

## Classification of soybean genotypes as to efficiency and response to phosphorus use in a sandy clay of Brazilian cerrado

Hector José Valério Ardon<sup>1,\*</sup>, Fábio Steiner<sup>1</sup>, Lucas da Rosa<sup>1</sup>, Alan Mario Zuffo<sup>2</sup> e Diógenes Martins Bardivieso<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Brasil

<sup>2</sup> Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), Brasil

(\*E-mail: hectorvalerio68@gmail.com)

<https://doi.org/10.19084/rca.27469>

Recebido/received: 2022.06.22

Aceite/accepted: 2022.08.22

### RESUMO

A deficiência de fósforo (P) tem sido apontada com um dos principais estresses abióticos que limita a produtividade da soja em condições tropicais. O objetivo da pesquisa foi de avaliar a eficiência de utilização do P de 25 cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] Cultivadas em um solo arenoso do Cerrado brasileiro. Os genótipos de soja responsivos e eficientes quanto à utilização de P foram classificados pelo método de Fageria e Kluthcouski (1980) e o método hierárquico de agrupamento de variância mínima de Ward para discriminar grupos similares. O experimento foi conduzido no delineamento experimental de blocos casualizados em esquema fatorial 2 × 25 com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por dois níveis de disponibilidade de P no solo [baixa disponibilidade (20 mg kg<sup>-1</sup>) e alta disponibilidade (200 mg kg<sup>-1</sup>)] e por 25 cultivares de soja onde foram avaliados a altura de inserção da primeira vagem, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de 1000 grãos e produção de grãos. Com os resultados de produção de grãos foi calculada a eficiência de resposta à adubação fosfatada para a determinação de uma nova técnica de agrupação segundo a similaridade entre genótipos.

**Palavras-chave:** Adubação fosfatada, Cerrado, *Glycine max* (L.) Merrill., solos tropicais.

### ABSTRACT

Phosphorus (P) deficiency has been identified as one of the main abiotic stresses that limits soybean productivity under tropical conditions. The objective of the research was to evaluate the efficiency of P utilization of 25 soybean cultivars [*Glycine max* (L.) Merrill.] Cultivated in a sandy soil of the Brazilian Cerrado. Responsive and efficient soybean genotypes in terms of P utilization were classified by the method of Fageria and Kluthcouski (1980) and the hierarchical method of clustering of minimum variance of Ward to discriminate similar groups. The experiment was carried out in a randomized block design in a 2 × 25 factorial design with four replications. The treatments consisted of two levels of P availability in the soil [low availability (20 mg kg<sup>-1</sup>) and high availability (200 mg kg<sup>-1</sup>)] and 25 soybean cultivars where the height of insertion of the first pod was evaluated, number of pods per plant, number of grains per pod, mass of 1000 grains and grain yield. With the results of grain production, the efficiency of response to phosphate fertilization was calculated for the determination of a new grouping technique according to the similarity between genotypes.

**Keywords:** Phosphate fertilization, Cerrado, *Glycine max* (L.) Merrill., tropical soils.

## INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] é uma das mais importantes culturas para a economia e o agromercado brasileiro. Atualmente, o Brasil é o maior produtor e exportador de soja do mundo, na safra 2021/2022 a cultura da soja ocupa uma área de 40,3 milhões de hectares, a CONAB estima uma produção de 140,50 milhões de toneladas para a safra 2021/2022 (CONAB, 2022). Uma das regiões mais importantes na produção de soja do Brasil e o cerrado, no ano 2016 este bioma foi responsável pela maior produção de soja no país, representando cerca de 60% da produção nacional de soja, pelo qual a produção de soja nesta região certamente continuará a ser importante impulsionador do crescimento econômico agrícola do Brasil nas próximas décadas.

Apesar desse cenário favorável para o cultivo de soja no Bioma do Cerrado, esta região caracteriza-se por possuir solos tropicais, altamente intemperizados, ácidos e de baixa fertilidade natural, o que pode limitar a produtividade e a rentabilidade da cultura da soja no Brasil (Donagemma *et al.*, 2016). Essa elevada acidez e baixa disponibilidade de nutrientes dos solos da região do Cerrado são ocasionadas pelo acentuado grau de intemperismo, alta taxa de lixiviação das bases trocáveis e pela alta reatividade e taxa de adsorção do fósforo (P) aos constituintes do solo, especialmente aos (óxi) hidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) (Vitti & Trevisan, 2000; Sousa & Lobato, 2004). Portanto, a exploração econômica da cultura da soja na região do Cerrado somente tem sido possível com a adoção de tecnológicas e de práticas agronômicas que visam a melhoria da fertilidade do solo.

Ao longo dos anos tem sido sugeridas alternativas para aumentar a produtividade e diminuir custos de produção na cultura da soja na região. Sendo a identificação de cultivares mais eficientes na utilização de nutrientes e com uma melhor adaptabilidade nos solos do cerrado à alternativa mais sustentável para os produtores de grandes culturas na região (Fageria, 1997; Regis, 2007) neste contexto definimos que a eficiência é definida como a capacidade de determinado genótipo de adquirir o nutriente para incorporá-lo e utilizá-lo na produção de biomassa ou material vegetal de rendimento econômico, (em caso da soja a produção de grãos),

levando em observação os requerimentos internos do nutriente na planta que dependente das características morfológicas, bioquímicas e fisiológicas dos cultivares (Blair, 1993; Gourley *et al.*, 1994).

Um dos métodos utilizados para classificar cultivares segundo a eficiência de absorção e a desenvolvida por Fageria e Kluthcouski (1980), este é um método específico para a seleção de plantas eficientes quanto ao uso dos nutrientes e responsivas à sua aplicação, utilizando a eficiência do uso do nutriente que é determinada pela média da produtividade de grãos em baixo nível do nutriente, sendo a resposta à sua utilização obtida pela diferença entre a produtividade de grãos em dois níveis do nutriente dividida pela diferença entre as doses. Os melhores critérios para avaliar cultivares mais eficientes na absorção e utilização do nutriente têm sido aqueles que utilizam o crescimento e desenvolvimento das plantas em condições de baixo nível do nutriente, verificando que a resposta se deve ao mecanismo de absorção e/ou de utilização do nutriente para produção de matéria de valor econômico (Fleming, 1983; Furlani *et al.*, 1985; Rozane *et al.*, 2007).

Outra das ferramentas utilizadas para classificar cultivares são os métodos hierárquicos e os de otimização, estes são empregados com a finalidade de separar um grupo original de observações em vários subgrupos, de forma a obter homogeneidade e heterogeneidade entre os subgrupos. Estes métodos estatísticos multivariados servem para classificar progênies avistando obter superioridade agronômica e a divergência genética entre os cultivares, para possibilitar combinações entre progenitores, identificando o conjunto gênico, podendo-se, assim, relacioná-las por técnicas multivariadas biométricas (Miranda, 1998; Cruz *et al.*, 2004). Estudos que visam avaliar e classificar os cultivares de soja com maior resposta e eficiência na utilização da adubação fosfatada são importantes para melhorar a toma de decisões no que se refere ao adequado manejo da adubação fosfatada, a avaliação e a identificação de cultivares de soja com maior responsividade e eficiência de uso do P em solos arenosos do Cerrado pode ser uma alternativa economicamente viável para potencializar a produtividade de grãos da cultura em condições de baixa disponibilidade de P no solo. Este estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar e classificar

os componentes de produção, resposta e eficiência de utilização do P em 25 cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] cultivadas em um solo arenoso de baixa fertilidade do Cerrado Sul Mato-Grossense utilizando os métodos de Fageria e Kluthcouski (1980) e o método hierárquico de agrupamento de variância mínima de Ward para discriminar grupos similares, responsivos e eficientes quanto ao uso do fósforo.

## MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em condições de casa de vegetação na Estação Experimental de Produção Vegetal da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, Unidade Universitária de Cassilândia, MS (19°05'29" S; 51°48'50" W e altitude média de 540 m), durante a safra 2020/2021. Durante a condução do experimento, as condições ambientais no interior da casa de vegetação foram: temperaturas mínima e máxima do ar de 20,8 e 38,2 °C, respectivamente, e umidade relativa média de 72% ( $\pm 8\%$ ).

Foram utilizados vasos plásticos com 8 L de capacidade, preenchidos com 10 kg de solo arenoso peneirado em malha de 5 mm, proveniente da camada superficial de 0,0–0,20 m de profundidade de um Neossolo Quartzarênico Órtico latossólico (NQo), o solo utilizado foi coletado em uma área de pastagem nativa sem histórico de cultivo agrícola. Solo de áreas sem histórico de uso agrícola é considerado ideal para investigar a resposta e a eficiência da adubação fosfatada. A análise química do solo foi efetuada no Laboratório Inside Agroindustrial, em Chapadão do Sul (MS) seguindo as indicações da EMBRAPA (2009). As principais características físico-químicas do solo foram as seguintes: pH (CaCl<sub>2</sub>) de 4,6, 14 g dm<sup>-3</sup> de matéria orgânica, 7,8 mg dm<sup>-3</sup> de P (Mehlich-1), 0,10 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K, 1,50 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca, 0,50 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg, 3,60 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de H+Al, 0,25 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Al, 5,70 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de CTC, saturação de bases de 37%, 120 g kg<sup>-1</sup> de argila, 40 g kg<sup>-1</sup> de silte e 840 g kg<sup>-1</sup> de areia.

A correção da acidez do solo foi realizada com a aplicação de 1,11 g dm<sup>-3</sup> de calcário (CaO: 38%; MgO: 11% e PRNT: 85%), visando elevar a saturação por bases do solo à 70% (Sousa & Lobato, 2004). Após a aplicação do calcário, o solo foi

homogeneizado, umedecido até próximo da capacidade de retenção de água, e incubado por 40 dias. Decorrido esse período, o solo foi fertilizado com 30 mg kg<sup>-1</sup> de N (ureia), 100 mg kg<sup>-1</sup> de K (cloreto de potássio), 15 mg kg<sup>-1</sup> de S (gesso agrícola), 3 mg kg<sup>-1</sup> de Cu (sulfato de cobre), 3 mg kg<sup>-1</sup> de Zn (sulfato de zinco), 1 mg kg<sup>-1</sup> de Mo (molibdato de amônio) e 2 mg kg<sup>-1</sup> de B (ácido bórico), seguindo as recomendações de Novais *et al.* (1991) para ensaios em vasos sob condições de cultivo protegido. Após a adubação, o solo foi acondicionado nos vasos plásticos de 8-L, os quais foram mantidos em condições de casa de vegetação e, então, submetidos ao cultivo de soja.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, disposto em esquema fatorial 2 × 25, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pela aplicação de dois níveis de adubação fosfatada [20 mg kg<sup>-1</sup> de P (nível baixo) ou 200 mg kg<sup>-1</sup> de P (nível alto)] e pelo cultivo de 25 cultivares comerciais de soja (Quadro 1). Como fonte de P foi utilizado o fertilizante superfosfato triplo (SFT) contendo 46% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (equivalente a 20% de P). As sementes das 25 cultivares comerciais de soja utilizadas neste estudo foram adquiridas diretamente das empresas detentoras do seu registro no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) durante os meses de outubro e novembro de 2020 (Quadro 1).

As sementes de soja foram previamente tratadas com piraclostrobina + tiofanato metílico + fipronil (Standak Top<sup>®</sup>) na dose de 2,0 mL p.c. kg<sup>-1</sup> de semente. Na sequência, após 1h, as sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum*, utilizando-se o inoculante comercial líquido Simbiose Nod Soja<sup>®</sup> (Simbiose: Agrotecnologia Biológica) contendo as estirpes SEMIA 5079 e SEMIA 5080 (concentração mínima de 7,2 × 10<sup>9</sup> unidades formadoras de colônias por mL), na dose de 4,0 mL p.c. kg<sup>-1</sup> de semente. Na implantação do experimento, foram semeadas seis sementes de soja em cada vaso. Após 12 dias, realizou-se o desbaste, deixando-se apenas duas plantas por vaso. O teor de água do solo foi monitorado diariamente e mantido próximo da capacidade máxima de retenção de água com reposições diárias até o final do cultivo. O manejo fitossanitário das plantas de soja seguiu todos os procedimentos e recomendações adotadas nas lavouras comerciais, incluindo o monitoramento e

**Quadro 1** - Características agrônômicas das 25 cultivares de soja de utilizadas no estudo. UEMS/Cassilândia, 2021

Nº	Cultivar	Empresa	Características Agrônômicas		
			Ciclo médio	GMR	Tipo de crescimento
1	TMG 2383 IPRO	Tropical Melhoramento & Genética	120	8,3	Semideterminado
2	TMG 2381 IPRO	Tropical Melhoramento & Genética	120	8,1	Indeterminado
3	TMG 2378 IPRO	Tropical Melhoramento & Genética	125	7,8	Semideterminado
4	TMG 7067 IPRO	Tropical Melhoramento & Genética	112	7,2	Semideterminado
5	TMG 7063 IPRO	Tropical Melhoramento & Genética	110	7,0	Indeterminado
6	TMG 2165 IPRO	Tropical Melhoramento & Genética	112	6,5	Indeterminado
7	TMG 7061 IPRO	Tropical Melhoramento & Genética	110	6,1	Indeterminado
8	97R50 IPRO	DuPont Pionner®	115	7,5	Indeterminado
9	98R31 IPRO	DuPont Pionner®	130	8,3	Indeterminado
10	98R35 IPRO	DuPont Pionner®	130	8,3	Indeterminado
11	HO Cristalino IPRO	HO Genética	125	8,3	Indeterminado
12	HO Maracaí IPRO	HO Genética	120	7,7	Indeterminado
13	HO Paranaíba IPRO	HO Genética	115	7,4	Indeterminado
14	BMX Foco IPRO	BRASMAX® Genética	110	7,2	Indeterminado
15	BMX Bônus IPRO	BRASMAX® Genética	120	7,9	Indeterminado
16	ST 777 IPRO	SoyTech®	108	7,7	Indeterminado
17	ST 797 IPRO	SoyTech®	110	7,9	Indeterminado
18	RK 8115 IPRO	Riber KWS® Sementes	120	8,1	Indeterminado
19	RK 6719 IPRO	Riber KWS® Sementes	105	6,7	Indeterminado
20	RK 7518 IPRO	Riber KWS® Sementes	112	7,5	Indeterminado
21	RK 8317 IPRO	Riber KWS® Sementes	125	8,3	Indeterminado
22	M 5917 IPRO	Monsoy®	95	5,9	Indeterminado
23	NS 8399 IPRO	Nidera® Sementes	120	8,3	Indeterminado
24	NS 7007 IPRO	Nidera® Sementes	98	7,1	Indeterminado
25	NS 7505 IPRO	Nidera® Sementes	118	7,5	Indeterminado

¹Ciclo médio, em dias, da emergência ao ponto de colheita. GMR: Grupo de maturidade relativa.

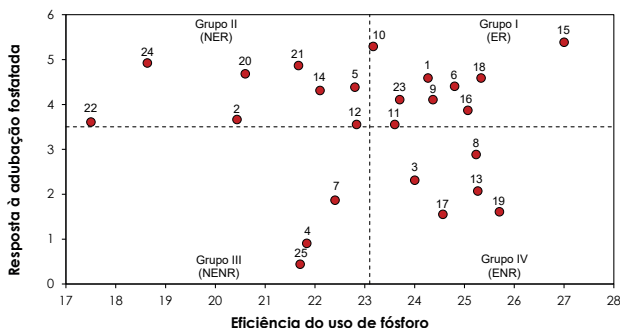
o controle de pragas e doenças, e a aplicação de inseticidas e fungicidas (EMBRAPA, 2009).

Entre os meses de março e abril de 2021, quando as cultivares de soja estavam na maturidade fisiológica com 95% das vagens maduras (estádio fenológico R8), foi realizado a colheita das plantas. Na colheita foram mensurados os seguintes componentes de produção: altura final de planta (AFP), altura de inserção da primeira vagem (APV), número de vagens por planta (NVP); número de grãos por vagem (NGV); massa de mil grãos (M1000); produção de grãos (PG); e, índice de colheita de grãos, para a determinação da produção de grãos e massa de 1000 grãos, o teor de água dos grãos foi determinado pelo método padrão de estufa à 105 °C (±3 °C) durante 24 horas e, então, os valores foram corrigidos para 13% de teor de água (base úmida).

Foi utilizado o método proposto por Fageria e Kluthouski (1980) com a finalidade de discriminar as cultivares de soja quanto à eficiência na utilização

de P e à resposta à aplicação da adubação fosfatada, para tanto, uma representação gráfica no plano cartesiano foi utilizada. O eixo das abscissas equivale à eficiência na utilização do P, ou seja, refere-se à média de produção de grãos em ambiente de baixa disponibilidade de P. Por sua vez, o eixo das ordenadas equivale à resposta quanto à disponibilidade de P ( $ER_i$ ), ou seja, a diferença entre a produção de grãos nos dois níveis de adubação fosfatada dividida pela diferença entre as doses de P aplicadas. 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 (ver Figura 1). O primeiro quadrante, representa as cultivares eficientes e responsivas (ER), ou seja, aquelas que possuem valores acima da média para os dois eixos cartesianos. O segundo quadrante, representa as cultivares 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. O terceiro quadrante, representa as cultivares

não-eficientes e não-responsivas (NENR), ou seja, aquelas que possuem valores abaixo das médias dos dois eixos cartesianos. Por fim, o quarto quadrante, representa as cultivares de soja eficientes e não-responsivas (ENR), ou seja, aquelas cultivares que possuem valores acima da média para o eixo das abscissas e abaixo para o eixo das ordenadas.



**Figura 1** - Posicionamento para a classificação das 25 cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] em quatro categorias quanto à eficiência de uso do P do solo e a resposta à adubação fosfatada. (ER: Eficiente e responsiva; NER: Não-eficiente e responsiva; NENR: Não-eficiente e não-responsiva; ENR: Eficiente e não-responsiva). UEMS/Cassilândia, 2021.

Posteriormente os dados dos componentes de produção da cultura foram submetidos ao análise de variância, aplicando-se o teste F em nível de 5% de probabilidade e, quando significativas, as médias dos tratamentos foram submetidas ao teste de agrupamento de médias Scott-Knott ( $p \leq 0,01$ ) com o objetivo de discriminar as cultivares entre e dentro dos níveis de adubação fosfatada, depois os resultados foram analisados utilizando o método de agrupamentos hierárquico, agregando na matriz uma classificação de 1-4 que é a representação numérica do quadrante que o cultivar de soja foi classificado pelo método proposto por Fageria e Kluthcouski (1980) com a finalidade de classificar os cultivares de acordo com um índice de crescimento representando o porcentagem de aumento das características dos componentes de produção do tratamento com doses alta de fosforo em relação ao tratamento com doses baixa, A distância genética entre todos os pares de genótipos foi estimada por meio da distância Euclidiana média padronizada (D), utilizando o software estatístico RStudio para Windows.

Com base na matriz de dissimilaridade genética geradas foi construído um dendrograma pelo método hierárquico de agrupamento de variância mínima de Ward. A exposição dos resultados da análise de agrupamento hierárquico em forma gráfica (dendrograma) facilita a identificação dos agrupamentos dos genótipos de soja. Foi utilizado O valor de 50% de similaridade como critério para definir e separar os grupos de genótipos eficientes ao uso de P e genótipos responsivos à adubação fosfatada em cada condição de disponibilidade de P no solo. De acordo com Cargnelutti-Filho *et al.* (2009), os valores de similaridade compreendidos entre 40% e 50% podem ser utilizados como critério de separação e definição dos grupos de materiais genéticos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teste de agrupamento de médias Scott-Knott ( $p \leq 0,01$ ) discrimina as medias dos componentes de produção e encontro diferenças significativas entre os cultivares para todas as características avaliadas, indicando a presença de variabilidade genética entre os 25 cultivares de soja, representados na (Quadros 2 e 3). A altura de inserção da primeira vagem das plantas de soja em condições de baixa disponibilidade de P no solo variou de 10,7 a 22,8 cm, Em condições de alta disponibilidade de P no solo, a altura de inserção da primeira vagem variou de 8,8 a 20,5 cm, Rezende *et al.* (2005) reportaram que apesar do P ser exigido durante todo o ciclo da cultura da soja, 60% da demanda total de P da cultura é absorvido após o início do florescimento das plantas (estádio R1). Portanto, como a altura de inserção da primeira vagem já é definida antes do início do florescimento, constatou-se a adubação fosfatada tem pouco efeito sobre a altura de inserção da primeira vagem.

O número de vagens por planta em condições de baixa disponibilidade de P no solo variou de 19,7 a 39,0. Em condições de alta disponibilidade de P no solo, o número de vagens por planta variou de 32,3 a 49,7, O número de grãos por vagem em condições de baixa e alta disponibilidade de P no solo variou de 1,75 a 2,30 e de 1,86 a 2,32 grãos, respectivamente, e não houve diferença significativa entre as diferentes cultivares de soja (Quadros 2 e 3). A massa de 1000 grãos em condições de baixa disponibilidade de P no solo variou de 138 a 257 g.



**Quadro 2** - Efeito do Nível Baixo de adubação fosfórica (20 mg kg<sup>-1</sup> de P) na altura final de planta (AFP), altura de inserção da primeira vagem (APV), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), massa de mil grãos (M1000) e produção de grãos por vaso (PG) das cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] Cultivadas em solo arenoso do Cerrado. UEMS/Cassilândia, 2021

Cultivar	APV (cm)	NVP	NGV	M1000 (g)	PG (g/vaso)
Nível Baixo de Fósforo (20 mg kg <sup>-1</sup> de P)					
TMG 2383 IPRO	13,2 b	27,7 b	2,09 a	210 b	24,3 a
TMG 2381 IPRO	22,8 a	38,3 a	1,95 a	138 c	20,4 b
TMG 2378 IPRO	10,7 b	29,7 b	2,10 a	196 c	24,0 a
TMG 7067 IPRO	13,3 b	26,0 c	1,93 a	218 b	21,8 b
TMG 7063 IPRO	13,5 b	29,3 b	1,90 a	205 b	22,8 a
TMG 2165 IPRO	13,8 b	24,3 c	2,03 a	257 a	24,8 a
TMG 7061 IPRO	12,2 b	24,7 c	1,95 a	233 a	22,4 b
97R50 IPRO	14,5 b	29,7 b	2,19 a	195 c	25,2 a
98R31 IPRO	17,0 a	39,0 a	1,75 a	180 c	24,4 a
98R35 IPRO	12,8 b	35,3 a	1,80 a	182 c	23,2 a
HO Cristalino IPRO	15,2 b	32,3 a	2,19 a	168 c	23,6 a
HO Maracáí IPRO	18,3 a	26,7 b	2,14 a	201 c	22,8 a
HO Paranaíba IPRO	11,5 b	31,7 a	2,10 a	191 c	25,3 a
BMX Foco IPRO	13,8 b	29,7 b	2,11 a	177 c	22,1 b
BMX Bônus IPRO	17,8 a	34,7 a	1,89 a	196 c	27,0 a
ST 777 IPRO	13,0 b	33,3 a	2,11 a	180 c	25,1 a
ST 797 IPRO	19,7 a	29,3 b	2,14 a	185 c	24,6 a
RK 8115 IPRO	15,8 a	30,3 b	2,30 a	183 c	25,3 a
RK 6719 IPRO	14,5 b	30,7 b	2,12 a	185 c	25,7 a
RK 7518 IPRO	18,7 a	27,7 b	2,05 a	182 c	20,6 b
RK 8317 IPRO	11,1 b	27,0 b	2,00 a	182 c	21,7 b
M 5917 IPRO	14,7 b	22,3 c	2,04 a	205 b	17,5 c
NS 8399 IPRO	16,8 a	25,3 c	2,22 a	211 b	23,7 a
NS 7007 IPRO	16,0 a	19,7 c	1,98 a	232 a	18,6 c
NS 7505 IPRO	11,8 b	29,0 b	1,99 a	189 c	21,7 b

Médias seguidas da mesma letra nas colunas, para cada nível de adubação fosfatada, não diferem pelo teste Scott-Knott, ao nível de 1% de probabilidade

Em condições de alta disponibilidade de P no solo, a massa de 1000 grãos variou de 149 a 219 g, Esses resultados corroboram com os reportados por Santos *et al.* (2015) e Silva *et al.* (2015), os quais observaram resposta positiva da aplicação de altos níveis de adubação fosfatada na massa de 1000 sementes de soja. O P tem papel vital nos processos divisão e crescimento celular, transferência e armazenamento de energia e, portanto, o P auxilia na formação e no enchimento dos grãos (Dechen & Nachtigall, 2007). De modo similar, Serafim *et al.* (2012) também reportaram aumento na produtividade e na massa de mil grãos com a aplicação da adubação fosfatada. A produção de grãos em condições de baixa disponibilidade de P no solo variou de 17,5 a 27,0 g. Em condições de alta disponibilidade de P no solo, a produção de grãos variou de 22,5 a 36,7 g, O P tem papel fundamental na produção da soja devido ao seu efeito direto em algumas

características dos grãos, portanto, a aplicação de níveis de adubação fosfatada pode resultar no aumentando linear da produtividade e da massa das sementes (Gonçalves *et al.*, 2010; Batistella-Filho *et al.*, 2013).

Em conjunto com os resultados dos componentes de produção foi realizada a classificação dos cultivares de soja quanto à eficiência do uso e a resposta à aplicação de P, este foi determinada pela metodologia proposta por Fageria e Kluthcouski (1980). Com base nesta metodologia, 14 cultivares de soja foram classificados como eficientes no uso de P, pois apresentaram as maiores médias de produção de grãos quando cultivadas em condições de baixa disponibilidade de P no solo, portanto, estão representadas no primeiro e quarto quadrante da Figura 1. O uso de cultivares eficientes na absorção e na utilização de P é uma importante estratégia

**Quadro 3** - Efeito do Nível Alto de adubação Fósforica (200 mg kg<sup>-1</sup> de P) na altura final de planta (AFP), altura de inserção da primeira vagem (APV), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), massa de mil grãos (M1000) e produção de grãos por vaso (PG) das cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] cultivadas em solo arenoso do Cerrado. UEMS/Cassilândia, 2021

Cultivar	APV (cm)	NVP	NGV	M1000 (g)	PG (g/vaso)
Nível Alto de Fósforo (200 mg kg <sup>-1</sup> de P)					
TMG 2383 IPRO	11,9 b	39,3 c	2,29 a	181 a	32,5 a
TMG 2381 IPRO	19,0 a	40,7 b	1,86 a	160 b	27,0 c
TMG 2378 IPRO	14,3 b	42,3 b	2,21 a	150 b	28,2 c
TMG 7067 IPRO	12,7 b	33,0 c	1,96 a	182 a	23,5 d
TMG 7063 IPRO	14,3 b	44,3 b	2,10 a	165 b	30,7 b
TMG 2165 IPRO	13,2 b	39,0 c	2,29 a	184 a	32,7 a
TMG 7061 IPRO	14,3 b	34,7 c	2,02 a	185 a	25,8 c
97R50 IPRO	15,3 a	42,0 b	2,21 a	170 b	30,4 b
98R31 IPRO	15,3 a	48,0 a	2,23 a	149 b	31,8 a
98R35 IPRO	12,7 b	45,7 a	2,32 a	155 b	32,7 a
HO Cristalino IPRO	19,0 a	37,3 c	2,14 a	161 b	30,0 b
HO Maracaí IPRO	20,5 a	35,7 c	2,08 a	172 b	29,2 b
HO Paranaíba IPRO	15,0 a	37,0 c	2,19 a	181 a	29,0 b
BMX Foco IPRO	10,5 b	34,3 c	2,12 a	177 a	29,9 b
BMX Bônus IPRO	18,3 a	49,7 a	2,09 a	174 b	36,7 a
ST 777 IPRO	14,2 b	41,3 b	2,16 a	179 a	32,0 a
ST 797 IPRO	14,5 b	43,0 b	2,09 a	153 b	27,4 c
RK 8115 IPRO	12,8 b	43,0 b	2,06 a	199 a	33,6 a
RK 6719 IPRO	17,0 a	37,7 c	1,94 a	196 a	28,6 b
RK 7518 IPRO	15,7 a	40,0 b	2,17 a	169 b	29,0 b
RK 8317 IPRO	10,7 b	33,3 c	2,30 a	203 a	30,4 b
M 5917 IPRO	13,0 b	32,3 c	1,99 a	191 a	24,0 d
NS 8399 IPRO	15,5 a	36,7 c	1,95 a	219 a	31,1 b
NS 7007 IPRO	8,8 b	36,0 c	1,95 a	204 a	27,5 c
NS 7505 IPRO	9,8 b	34,0 c	2,11 a	159 b	22,5 d

Médias seguidas da mesma letra nas colunas, para cada nível de adubação fosfatada, não diferem pelo teste Scott-Knott, ao nível de 1% de probabilidade

para aumentar a eficiência da adubação fosfatada e aumentar a produção de grãos de soja, quando esta cultura é cultivada em solos arenosos da região do Cerrado de baixa fertilidade natural. Por sua vez, 17 cultivares de soja foram classificadas como responsivas a adubação fosfatada, pois apresentaram as maiores médias de produção de grãos quando cultivadas em condições de alta disponibilidade de P no solo, portanto, estas cultivares de soja estão representadas no primeiro e segundo quadrante da Figura 1. Vários estudos indicam a existência de variabilidade genética entre os genótipos quanto à capacidade de absorção e utilização de nutrientes, inclusive o P (Reis *et al.*, 2005; Fageria *et al.*, 2007).

Com base na metodologia proposta por Fageria e Kluthcouski (1980), as cultivares de soja TMG 2383 IPRO, TMG 2165 IPRO, 98R31 IPRO, 98R35 IPRO,

HO Cristalino IPRO, BMX Bônus IPRO, ST 777 IPRO, RK 8115 IPRO e NS 8399 IPRO foram classificadas como eficientes quanto ao uso de P e responsivas à aplicação de fertilizante fosfatado, pois foram as cultivares com produção de grãos acima da média de todos os genótipos sob condições de baixa e alta disponibilidade de P no solo (primeiro quadrante da Figura 1) As cultivares pertencentes a este grupo podem ser recomendadas para o cultivo em áreas agrícolas com solos de baixa disponibilidade de P e em áreas agrícolas que serão adubadas com altas doses de fertilizantes fosfatados.

As cultivares de soja TMG 2381 IPRO, TMG 7063 IPRO, HO Maracaí IPRO, BMX Foco IPRO, RK 7518 IPRO, RK 8317 IPRO, M 5917 IPRO e NS 7007 IPRO foram classificadas como não eficientes e

**Quadro 4 - Índices de índices dos componentes de produção dos dois níveis de adubação fosfatada**

CULTIVAR	CLASSIFICAÇÃO DE FRAGERIA	(APV)	(NVP)	(NGV)	(M1000)	(PG)
TMG 2383 IPRO	1	90.15	141.88	109.57	86.19	134.30
TMG 2381 IPRO	2	83.33	106.27	95.38	115.94	132.35
TMG 2378 IPRO	4	133.64	142.42	105.24	76.53	117.50
TMG 7067 IPRO	3	95.49	126.92	101.55	83.49	107.80
TMG 7063 IPRO	2	105.93	151.19	110.53	80.49	134.65
TMG 2165 IPRO	1	95.65	160.49	112.81	71.60	131.85
TMG 7061 IPRO	3	117.21	140.49	103.59	79.40	115.18
97R50 IPRO	4	105.52	141.41	100.91	87.18	120.63
98R31 IPRO	1	90.00	123.08	127.43	82.78	130.33
98R35 IPRO	1	99.22	129.46	128.89	85.16	140.95
HO Cristalino IPRO	1	125.00	115.48	97.72	95.83	127.12
HO Maracá IPRO	2	112.02	133.71	97.20	85.57	128.07
HO Paranaíba IPRO	4	130.43	116.72	104.29	94.76	114.62
BMX Foco IPRO	2	76.09	115.49	100.47	100.00	135.29
BMX Bônus IPRO	1	102.81	143.23	110.58	88.78	135.93
ST 777 IPRO	1	109.23	124.02	102.37	99.44	127.49
ST 797 IPRO	4	73.60	146.76	97.66	82.70	111.38
RK 8115 IPRO	1	81.01	141.91	89.57	108.74	132.81
RK 6719 IPRO	4	117.24	122.80	91.51	105.95	111.28
RK 7518 IPRO	2	83.96	144.40	105.85	92.86	140.78
RK 8317 IPRO	2	96.40	123.33	115.00	111.54	140.09
M 5917 IPRO	2	88.44	144.84	97.55	93.17	137.14
NS 8399 IPRO	1	92.26	145.06	87.84	103.79	131.22
NS 7007 IPRO	2	55.00	182.74	98.48	87.93	147.85
NS 7505 IPRO	3	83.05	117.24	106.03	84.13	103.69

responsivas, pois foram as cultivares com produção de grãos abaixo da média de todos os genótipos em condições de baixa disponibilidade de P no solo, no entanto, quando foram cultivadas com a aplicação de alta dose de adubação fosfatada, teve resposta positiva na produção de grãos acima da média dos genótipos estudados (segundo quadrante da Figura 1). As cultivares pertencente ao grupo dos genótipos não eficientes e responsivos são indicadas para serem utilizadas pelos produtores que empregam a utilização de alto nível de adubação fosfatada.

As cultivares de soja TMG 7067 IPRO, TMG 7061 IPRO e NS 7505 IPRO foram classificadas como não eficientes e não responsivas a aplicação de P, pois apresentaram produção de grãos abaixo da média em condições de baixa e alta disponibilidade de P do solo (terceiro quadrante da Figura 1). De acordo com a metodologia proposta nesse trabalho, as cultivares classificadas como não eficientes e não responsivas não devem ser recomendadas para serem cultivadas em solos arenosos do

Cerrado, independentemente da utilização de alta ou baixa dose de fertilizante fosfatado.

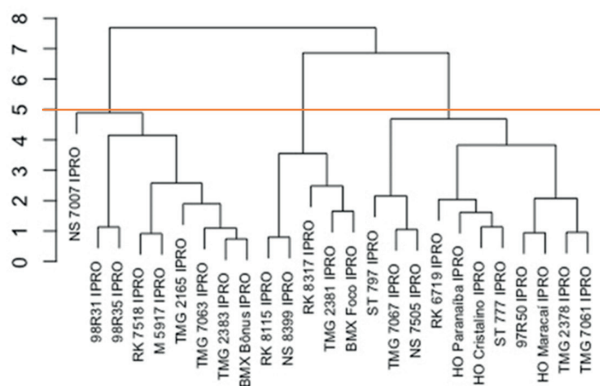
No quadrante das variedades eficientes e não responsivas estão as cultivares TMG 2378 IPRO, 97R50 IPRO, HO Paranaíba IPRO, ST 797 IPRO, RK 6719 IPRO (Figura 1). Estes cultivares de soja possui produção de grãos acima da média dos genótipos em condições de baixa disponibilidade de P, no entanto, tiveram índice de resposta a aplicação de P abaixo da média geral de todas as cultivares com a aplicação de alta dose de fertilizante fosfatado. Estes resultados evidenciam a falta de resposta destas cultivares de soja à melhoria do ambiente de produção com o aumento da disponibilidade de P do solo. As cultivares de soja pertencente ao grupo dos genótipos eficientes e não responsivos devem ser recomendadas para o cultivo em áreas agrícolas com baixa disponibilidade de P do solo ou, em situações, em que o produtor rural possui condição apenas de utilizar baixo nível de investimento com a adubação fosfatada para um determinado ano de cultivo de soja.



Posteriormente os resultados dos Quadros 2 e 3 foram utilizados para gerar um índice representando o porcentagem de aumento das características dos componentes de produção do tratamento com doses alta de fosforo em relação ao tratamento com doses baixas de fosforo, resultados expressados no Quadro 2, para a obtenção do índice foi utilizada a equação:  $(MDCP \text{ "A"} / MDCP \text{ "B"}) * 100$ , onde MDCP "A" e a Média De Componente de Produção no ambiente de com alto teor de fosforo, e MDCP "B" significando o Componente de Produção no ambiente de com baixo teor de fosforo. Utilizando-se 50% de similaridade como critério para definição dos grupos, pelo método de agrupamento hierárquico da ligação de Ward (Quadro 4).

As 25 cultivares de soja foram separadas em três grupos, com desempenho similar dentro do grupo e divergente entre grupos (Figura 2).

O grupo 1 classifica cultivares que são "ER" e "NER", onde observa-se qual genótipos de soja tem mais similaridade ou dissimilaridade dentro da figura 2, este grupo e o mais eficiente e responsivo na absorção e utilização de fosforo. O grupo 2 classifica cultivares que são "NER" com acepção dos cultivares RK 8115 IPRO, NS 8399 IPRO, estes são classificados "ER" mas observa-se que tem mais similaridade com grupo de cultivares "NER". O grupo 3 classifica cultivares que são "NENR" e "ENR" com acepção de HO Cristalino IPRO e ST 777 IPRO que segundo a classificação Fageria e Kluthcouski (1980) são cultivares "ER" mas os componentes de produção faz que os cultivares sejam mais similares ao grupo 3 da Figura 2.



**Figura 2** - Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico das 25 cultivares de soja UEMS/Cassilândia, 2021.

## CONCLUSÕES

A metodologia proposta neste documento e apropriada para fazer discriminação de cultivares de soja para seleciona-los conforme na Eficiência de absorção de fosforo, além que a utilização de esta pode ser indicada para selecionar genótipos dissimilares ou similares em programas de melhoramento genético.

As cultivares de soja TMG 2383 IPRO, TMG 2165 IPRO, 98R31 IPRO, 98R35 IPRO, HO Cristalino IPRO, BMX Bônus IPRO, ST 777 IPRO, RK 8115 IPRO e NS 8399 IPRO foram classificadas como eficientes e responsivas à adubação fosfatada, e são as cultivares que podem ser recomendadas para o cultivo em áreas agrícolas com solos de baixa disponibilidade de P e áreas adubadas com altas doses de fertilizantes fosfatados.

As cultivares TMG 2381 IPRO, TMG 7063 IPRO, HO Maracá IPRO, BMX Foco IPRO, RK 7518 IPRO, RK 8317 IPRO, M 5917 IPRO e NS 7007 IPRO foram classificadas como não eficientes e responsivas a adubação fosfatada, e são as cultivares de soja mais indicadas para serem cultivadas em áreas agrícolas que utilizam a aplicação de altas doses de fertilizantes fosfatados.

As cultivares de soja TMG 7067 IPRO, TMG 7061 IPRO e NS 7505 IPRO foram classificadas como não eficientes e não responsivas a adubação fosfatada, e estas cultivares de soja não devem ser recomendadas para serem cultivadas em solos arenosos do Cerrado.

As cultivares TMG 2378 IPRO, 97R50 IPRO, HO Paranaíba IPRO, ST 797 IPRO e RK 6719 IPRO foram classificadas como eficientes e não responsivas à adubação fosfatada, e são as cultivares de soja mais indicadas para serem cultivadas em áreas agrícolas com solos de baixa disponibilidade de P.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Batistella-Filho, F.; Ferreira, M.E.; Vieira, R.D.; Cruz, M.C.P.; Cruz, M.A.C.P.; Sylvestre, T. & Ruiz, J.G.C.L. (2013) - Adubação com fósforo e potássio para produção e qualidade de sementes de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 48, n. 7, p. 783-790. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000700011>
- Blair, G. (1993) - Nutrient efficiency what do we really mean? In: Blair, G. (Ed.) - *Genetic aspects of plant mineral nutrition*. Dordrecht: Kluwer Academic, p. 205-213.
- Cargnelutti-Filho, A.; Ribeiro, N.D. & Storck, L. (2009) - Número de repetições para a comparação de cultivares de feijão. *Ciência Rural*, vol. 39, n. 9, p. 2419-2424. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009000900006>
- CONAB (2022) - *Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: Nono levantamento janeiro–safra 2021/2022*. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. <https://www.conab.gov.br/>
- Cruz, C.D.; Regazzi, A.J. & Carneiro, P.C.S. (2004) - *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa, UFV, 480p.
- Dechen, A.R. & Nachtigall, G.R. (2007) - Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: Novais, R.F.; Alvarez, V.V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.F.; Cantarutti, R.B. & Neves, J.C.L. (Eds) - *Fertilidade do Solo*. Viçosa: SBCS/UFV. p. 92-132.
- Donagemma, G.K.; Freitas, P.L.; Balieiro, F.C.; Fontana, A.; Spera, S.T.; Lumbreras, J.F.; Viana, J.H.M.; Araújo Filho, J.C.; Santos, F.C.; Albuquerque, M.R.; Macedo, M.C.M.; Teixeira, P.C.; Amaral, A.J.; Bortolon, E. & Bortolon, L. (2016) - Characterization, agricultural potential, and perspectives for the management of light soils in Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 51, n. 9, p. 1003-1020. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900001>
- EMBRAPA (2009) - *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. 2. ed. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Informação Tecnológica.
- Fageria, N.D. & Kluthcouski, J. (1980) - *Metodologia para avaliação de cultivares de arroz e feijão para condições adversas de solo*. Brasília: Embrapa-CNPAP, 22 p.
- Fageria, N.K.; Santos, A.B. & Cutrim, V.A. (2007) - Produtividade de arroz irrigado e eficiência de uso do nitrogênio influenciada pela fertilização nitrogenada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 42, n. 7, p. 1029-1034. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000700016>
- Fageria, N.K. (1997) - Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 2, p. 6-16.
- Fleming, A.L. (1983) - Ammonium uptake by wheat varieties differing in Al tolerance. *Agronomy Journal*, vol. 75, n. 5, p. 726-730. <https://doi.org/10.2134/agronj1983.00021962007500050003x>
- Furlani, A.M.C.; Bataglia, O.C. & Lima, M. (1985) - Eficiência de linhagens de milho na absorção e utilização de fósforo em solução nutritiva. *Bragantia*, vol. 44, n. 1, p. 129-147. <https://doi.org/10.1590/S0006-87051985000100011>
- Gonçalves, J.A.; Herbert, N.; Marengoni, N.G.; Carvalho, E.A. & Coelho, G.F. (2010) - Produtividade e componentes de produção da soja adubada com diferentes doses de fósforo, potássio e zinco. *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 34, n. 3, p. 660-666. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000300019>
- Gourley, C.J.P.; Allan, D.L. & Russele, M.P. (1994) - Plant nutrient efficiency: A comparison of definitions and suggested improvement. *Plant and Soil*, vol. 158, n. 1, p. 29-37. <https://doi.org/10.1007/BF00007914>
- Miranda, G.V. (1998) - *Diversidade genética e desempenho de cultivares de soja como progenitores*. Tese de Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas - Viçosa-UFV, 117p.
- Novais, R.F.; Neves, J.C.L. & Barros, N.F. (1991) - Ensaio em ambiente controlado. In: Oliveira, A.J. de; Garrido, W.E.; Araujo, J.D. de & Lourenço, S. (Coord.). - *Métodos de pesquisa em fertilidade do solo*. Brasília: EMBRAPA-SEA, p. 189-253. (EMBRAPA-SEA. Documentos 3).
- Regis, A. de O. (2007) - *Avaliação de linhagens de tomateiro rastreiro quanto a eficiência de absorção de nutrientes e resposta de adubação*. Brasília DF.
- Reis, M.S.; Soares, A.A.; Soares, P. & Cornélio, V.M.O. (2005) - Absorção de N, P, K, Ca, Mg e S pelo arroz irrigado influenciada pela adubação nitrogenada. *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 29, n. 4, p.707-713. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542005000400001>

- Rezende, P.M.; Gris, C.F.; Carvalho, J.G.; Gomes, L.L. & Bottino, L. (2005) - Adubação foliar. I. Épocas de aplicação de fósforo na cultura da soja. *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 29, n. 6, p. 1105-1111. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542005000600001>
- Rozane, D.E.; Prado, R.M.; Franco, C.F. & Natale, W. (2007) - Eficiência de absorção, transporte e utilização de macronutrientes por porta-enxertos de caramboleira, cultivados em soluções nutritivas. *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 31, n. 4, p. 1020-1026. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542007000400012>
- Santos, A.C.M.; Carneiro, J.S.S.; Leite, R.C.; Souza, M.A.S.; Freitas, G.A. & Silva, R.R. (2015) - Adubação fosfatada com fertilizante Basiduo® na cultura da soja no oeste da Bahia. *Journal of Bioenergy and Food Science*, vol. 2, n. 3, p. 82-90.
- Serafim, M.E.; Ono, F.B.; Zeviani, W.M.; Novelino, J.O. & Silva, J.V. (2012) - Umidade do solo e doses de potássio na cultura da soja. *Revista Ciência Agronômica*, vol. 43, n. 2, p. 222-227. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000200003>
- Silva, A.F.; Sedyama, T.; Borém, A. & Silva, F.C.S. (2015) - Cultivares. In: Sedyama, T.; Silva, F. & Borém, A. (Eds.). - *Soja do plantio à colheita*. Viçosa: UFV, p. 149-167.
- Sousa, D.M.G. & Lobato, E. (Eds.). (2004) - *Cerrado: correção do solo e adubação*. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica.
- Vitti, G.C. & Trevisan, W. (2000) - Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade da soja. *Informações Agronômicas*, n. 90, p. 1-16.