PEDRO RUBEN VIERA FARIÑA

VIGOR DE SEMENTES E POLÍMERO SUPERABSORVENTE COMO ESTRATÉGIAS PARA MELHORIA DA EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO FOSFATADA NO FEIJOEIRO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Leonardo Angelo de Aquino

Cooriendor: Willian Rodrigues Macedo

RIO PARANAÍBA
MINAS GERAIS – BRASIL
2020

PEDRO RUBEN VIERA FARIÑA

VIGOR DE SEMENTES E POLÍMERO SUPERABSORVENTE COMO ESTRATÉGIAS PARA MELHORIA DA EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO FOSFATADA NO FEIJOEIRO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 12/03/2020

Assentimento:

Pedro Ruben Viera Fariña
Autor

Leonardo Angelo de Aquino
(Orientador)

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade Federal de Viçosa - Campus Rio Paranaíba

T

F224v
2020

Fariña, Pedro Ruben Vieira, 1992-
Vigor de sementes e polímero super absorvente como estratégias para melhoria da eficiência da adubação fosfatada no feijoeiro / Pedro Ruben Vieira Fariña. - Rio Paranaiba, MG, 2020.
42 f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Leonardo Angelo de Aquino.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. *Phaseolus vulgari. 8. E*ficiência de uso de água. 9. Taxa de recuperação de P.. I. Universidade Federal de Viçosa. Instituto de Ciências Agrárias. Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal). II. Título.

635.652

DEDICO

A meus pais e meus irmãos
A toda minha família que sonharam comigo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter sido meu guia, por me proteger e me abençoar em todos os momentos.

Aos meus pais, por terem me dado educação, valores, amor, por me apoiarem em minhas decisões me incentivando a buscar o melhor. Agradeço por acreditarem que um dia todo o esforço valeria a pena. Muito obrigado!

Quero agradecer ao meu orientador, Professor Doutor Leonardo Angelo de Aquino, por toda a paciência, incentivo, transferência de conhecimento e empenho com que sempre me orientou durante o desenvolvimento dessa pesquisa. Muito obrigado por ter me corrigido quando necessário, suas orientações foram muito importantes na minha formação como profissional, mas principalmente como ser humano.

Aos Professores André Mundstock Xavier de Carvalho e Willian Rodrigues Macedo pelas orientações durante toda a etapa da pesquisa.

Quero agradecer a Keise Bacelar por ter me ajudado com as análises de proteínas e de solos e pela amizade durante minha moradia no Brasil.

Quero agradecer aos meus amigos Luciano, Guilherme, Thyago e Carlos por me ajudar na execução do experimento.

Aos membros e amigos do grupo de pesquisa GENAP: Guilherme Andrade, Mannon, Eli Matheus, Gustavo Lopes, Marcos, Matheus Augusto, Allan, Arnon, Nelson e Ana Cristina, pela amizade e ajuda durante as atividades da pesquisa.

Aos técnicos Bruno Henrique Rocha, Danilo Henrique Pereira, Paulo Henrique da Cunha, Jader Alves Ferreira e Vinicius Guimarães Nasser pelo auxilio e orientações durante o desenvolvimento das atividades de pesquisa.

A Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela oportunidade de desenvolver os projetos de pesquisa.

Ao Instituto Paraguaio de Tecnologia Agraria (IPTA), pela oportunidade de fazer o curso de pôs graduação.

BIOGRAFIA

Pedro Ruben Viera Fariña nasceu em Choré Py no dia 12 de março de 1992. Em 2009 concluiu o Ensino Médio no Colégio Nacional de Enseñanza Media Diversificada de Chore. Em 2010, iniciou o Curso de Agronomia pela Universidad Nordeste del Paráguay. Atualmente pesquisador no Instituto Paráguayo de Tecnologia Agraria (IPTA). Em 2015, graduou-se Engenheiro Agrônomo pela Universidad Nordeste del Paráguay, Chore San Pedro. Em 2017, iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal pela Universidade Federal de Viçosa – Campus Rio Paranaíba, submetendo-se à defesa de dissertação em 5 de marco de 2020.

SUMÁRIO

RESUMO viii
ABSTRACT viii
INTRODUÇÃO GERAL. 1
REFERÊNCIAS 2
1º CAPÍTULO – INFLUÊNCIA DO VIGOR DE SEMENTES DE FEIJOEIRO *(Phaseolus vulgaris)* SOBRE A RESPOSTA À ADUBAÇÃO COM FÓSFORO. 3
INTRODUÇÃO 3
MATÉ RIAL E MÉTODOS 5
RESULTADOS 7
DISCUSSÃO 12
CONCLUSÃO 14
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 14
2º- CAPÍTULO: EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO FOSFATADA NO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris*) EM FUNÇÃO DE DOSES DE POLÍMERO SUPERABSORVENTE MISTURADO AO FERTILIZANTE. 20
INTRODUÇÃO 21
MATÉ RIAL E MÉTODOS 22
RESULTADOS 25
DISCUSSÃO. 33
CONCLUSÃO 37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 37

RESUMO

VIERA FARIÑA, Pedro Ruben, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2020. **Polímero superabsorvente e vigor de sementes como estratégias para melhoria da eficiência da adubação fosfatada no feijoeiro.** Orientador: Leonardo Ângelo de Aquino. Coorientador: Willian Rodrigues Macedo

A produção de alimentos para a população crescente no mundo carece do uso racional dos diversos insumos agrícolas, especialmente dos fertilizantes. O feijoeiro é exigentes em fósforo (P), más o aproveitamento desse nutriente aplicado via fertilizante é baixo e negativamente influenciado pela falta de umidade no solo. O uso de polímeros superabsorventes pode contribuir para maior umidade próxima ao sistema radicular o que somado ao uso de sementes de alto vigor pode aumentar o aproveitamento do P aplicado via fertilizantes. Portanto, a presente pesquisa teve por objetivo determinar a contribuição de polímero superabsorvente adicionado ao adubo fosfatado e do vigor de sementes como estratégias para melhoria da eficiência das adubações fosfatadas no feijoeiro. Em casa de vegetação foram conduzidos dois ensaios. Num primeiro experimento objetivou-se avaliar o crescimento a absorção de P pelo feijoeiro em função do vigor das sementes em dois solos de texturas contratantes. Em cada solo, dois lotes com sementes de alto e baixo vigor da variedade Dama foram combinados com cinco doses de P e as plantas cultivadas até início de florescimento. Num segundo experimento objetivou-se avaliar as respostas fisiológicas e os componentes de produção de feijão *(Phaseolus vulgaris)* em resposta à adubação fosfatada combinada com doses de polímeros na presença ou ausência de deficiência de água no solo. Nesse experimento foi empregada a variedade de feijão ANFC de ciclo curto e semeada em vasos de 150 dm^3 em que duas doses de P foram combinadas com cinco doses de polímeros na presença ou ausência de déficit hídrico. As plantas foram cultivadas até o estádio de maturação fisiológica dos grãos formados. Sementes de alto vigor produziram maior matéria seca e apresentaram maior absorção de P. As plantas de sementes de alto vigor necessitaram de menor dose de P para o ótimo crescimento e apresentaram maior recuperação do P aplicado. A adição de polímeros superabsorventes aumentou o crescimento e absorção de P pelo feijoeiro, o que proporcionou economia de água e do fertilizante fosfatado.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgari*, eficiência de uso de água, taxa de recuperação de P

ABSTRACT

VIERA FARIÑA, Pedro Ruben, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March 2020. **Superabsorbent polymer and seed vigor as strategies to improve the efficiency of phosphate fertilization in common bean.** Advisor: Leonardo Ângelo de Aquino. Co-supervisor: Willian Rodrigues Macedo.

The production of food for the growing population in the world lacks the rational use of various agricultural inputs, especially fertilizers. The bean is demanding in phosphorus (P), but the use of this nutrient applied via fertilizer is low and negatively influenced by the lack of moisture in the soil. The use of superabsorbent polymers can contribute to greater humidity close to the root system, which in addition to the use of high vigor seeds can increase the use of P applied via fertilizers. Therefore, this research aimed to determine the contribution of superabsorbent polymer added to phosphate fertilizer and seed vigor as strategies to improve the efficiency of phosphate fertilizers in common bean. In a greenhouse, two tests were conducted. In a first experiment, the objective was to evaluate the growth of the absorption of P by the bean according to the vigor of the seeds in two soils with contracting textures. In each soil, two lots with seeds of high and low vigor of the Dama variety were combined with five doses of P and the plants cultivated until the beginning of flowering. In a second experiment, the objective was to evaluate the physiological responses and the production components of beans (Phaseolus vulgaris) in response to phosphate fertilization combined with doses of polymers in the presence or absence of water deficiency in the soil. In this experiment the variety of beans ANFC of short cycle and sown in pots of 150 dm3 was used in which two doses of P were combined with five doses of polymers in the presence or absence of water deficit. The plants were grown until the physiological maturation stage of the formed grains. High vigor seeds produced higher dry matter and showed higher P. absorption. High vigor seed plants required a lower dose of P for optimal growth and showed greater recovery of applied P. The addition of superabsorbent polymers increased the growth and absorption of P by the common bean, which provided water and phosphate fertilizer savings.

Keywords: Phaseolus vulgari, water use efficiency, P recovery rate

INTRODUÇÃO GERAL

A pesquisa agrícola busca desenvolver tecnologias que possibilitem o uso racional dos recursos naturais e insumos para a produção de alimentos mais saudáveis, melhorem a sustentabilidade do sistema produtivo e que reduzam o impacto ambiental que poderia causar o uso incorreto dessas tecnologias. Ao longo dos anos a sazonalidade das chuvas impacta diretamente nas atividades agrícolas. Os estresses hídricos, especialmente o déficit de água no solo, é uma das principais causas para a não maximização do potencial produtivo das lavouras.

Comumente, além da deficiência hídrica, acarreta a deficiência nutricional que também resulta em menor quantidade de sementes produzidas (Delouche 1980). A adequada disponibilidade de água no solo melhora o aproveitamento dos fertilizantes pelas plantas, especialmente dos fosfatados devido à grande dependência da umidade para o fluxo difusivo de fósforo (P) no solo. A cultura de feijão responde bem a adubação fosfatada e o P desempenha papel crítico nas reações energéticas da planta (Grant et al., 2001).

Os usos de polímeros superabsorventes podem influenciar na absorção e no aproveitamento dos nutrientes pelas culturas por reterem água em períodos de elevada disponibilidade no solo. Os polímeros superabsorventes são compostos que absorvem água e aumentam muitas vezes seu tamanho e peso originais. Podem ser empregados para criar reservas de água no solo próximo da raiz e beneficiar o aproveitamento de nutrientes e, por conseguinte, incrementar a produtividade. Em tropicais e subtropicais o polímero superabsorvente pode aliviar a escassez de água no solo. Dentre os benefícios dos polímeros estão o aumento na retenção de água e de nutrientes no solo, aumento do tempo para atingir o ponto de murcha permanente e prolongamento da sobrevivência das plantas sob déficit hídrico (Bakass et al., 2002, Yang et al., 2003, Zohourian et al., 2008, Yang et al., 2014). O objetivo da pesquisa foi avaliar o benefício do uso de polímero superabsorvente e sementes de alto vigor como estratégias para melhoria da eficiência das adubações fosfatadas no feijoeiro.

REFERÊNCIAS

Bakass, M., Mokhlisse, A., & Lallemant, M. (2002). Absorption and desorption of liquid waté r by a superabsorbent polymer: Effect of polymer in the drying of the soil and the quality of certain plants. Journal of Applied Polymer Science, 83(2), 234-243.

Delouche, J. C. Environmental effects on seed development and seed quality. Hort Science, v. 15, n. 06, p. 775-780, 1980.

GRANT, C. A. et al. The importance of early season phosphorus nutrition. Canadian Journal of Plant Science, v. 81, p. 211-224, 2001.

Yang, L., Yang, Y., Chen, Z., Guo, C., & Li, S. (2014). Influence of super absorbent polymer on soil waté r retention, seed germination and plant survivals for rocky slopes eco-engineering. Ecological Engineering, 62, 27–32.

Yang, P. L., Wang, C. Z., Ren, S. M., Li, Y. K., & Xu, T. W. (2003). Experimental studies of affections on the absorbable and holding characteristics of waté r-retaining agent in different solution environments and the approaches to increasing its field efficiency. In Journal of Experimental Botany (Vol. 54, pp. 31-31).

Zohourian, M. M., & Kabiri, K. (2008). Superabsorbent polymer maté rials: a review.

1º CAPÍTULO – INFLUÊNCIA DO VIGOR DE SEMENTES DE FEIJOEIRO *(Phaseolus vulgaris)* SOBRE A RESPOSTA À ADUBAÇÃO COM FÓSFORO.

Resumo: Sementes de alto vigor resultam em melhor estabelecimento da planta e pode com isso melhorar o aproveitamento de nutrientes, especialmente do fósforo (P), em que o maior crescimento de raízes pode reduzir as distâncias para a difusão do nutriente. Desta forma, objetivou-se avaliar o crescimento e absorção de P pelo feijoeiro cultivado em casa de vegetação em função do vigor das sementes em solos de texturas contratantes. Os tratamentos foram montados em esquema fatorial duplo 2x5 que consistiram em dois vigor de semente alto e baixo da variedade Dama, combinadas com cinco doses de P que foram 0, 35, 70, 140 e 280 mg/dm3 em solos arenoso e de 0, 50, 100, 200, 400 mg/dm3 em solos argiloso, para ambos os solos foram utilizados o mesmo esquema fatorial. Foram cultivadas em vasos de 5 dm^3 com quatro plantas em cada vaso e avaliadas até início de floração. Sementes de alto vigor resultaram em incremento da matéria seca (folha + raiz) de 11 e 15% nos solos arenoso e argiloso, respectivamente. A fotossíntese aumentou nas plantas de semente de alto vigor em 26,04% no solo arenoso. No solo argiloso, a fotossíntese foi similar entre as plantas de sementes de alto e baixo vigor. No entanto, a dose de P necessária para alcance de pelo menos 95% da máxima fotossíntese foi 46% maior nas plantas de semente de baixo vigor. O acúmulo de P das plantas de sementes de alto vigor cultivadas em solo arenoso foi 37% maior do que as de baixo vigor. Em solo argiloso o máximo acúmulo de P das plantas de semente de alto ou baixo vigor foi similar, mas a dose de P no solo para o alcance do máximo acúmulo foi menor quando as sementes foram de alto vigor. A taxa de recuperação foi maior em sementes de alto vigor em solos arenosos e argilosos. As plantas oriundas de sementes de alto vigor apresentaram maior crescimento e acúmulo do P o que evidência a importância da utilização de sementes de alto vigor para o maior aproveitamento das adubações fosfatadas no feijoeiro.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*, taxa de recuperação, capacidade tampão de P.

INTRODUÇÃO

O vigor das sementes é um dos principais atributos da qualidade fisiológica a ser considerado na implantação de uma lavoura. Sementes de alto vigor asseguram adequada população de plantas principalmente em condições não adequadas à germinação em campo. A utilização de sementes de alta qualidade constitui-se em uma ferramenta de extrema importância para o agricultor alcançar alto rendimento nas lavouras (Scheeren et al., 2010).

Entre os fatores que influenciam a emergência das plântulas e o estabelecimento da cultura estão à germinação e o vigor das sementes. Esses atributos influenciam o estabelecimento da população de plantas, o seu desenvolvimento inicial e pode alterar a produtividade da cultura (Mondo et al., 2016). Diferenças na taxa de emergência alteram o crescimento do dossel da cultura onde as plantas que emergem primeiro podem sombrear as que emergem atrasados e com isso aumentar a competição intraespecífica (Pommel et al., 2002).

A semente deve possuir atributos de qualidades genética, física, fisiológica e sanitária para que haja garantia de elevado desempenho agronômico (Embrapa 2010). Sementes de qualidade são de suma importância para a cultura do feijão-comum no Brasil, pois o mesmo é cultivado em mais de 3.990.000 ha em 10 estados do Brasil e se constitui alimento básico do brasileiro (Borém et al., 2015). O fator climático exerce influência na produção de sementes de feijão, assim como o manejo do solo, associado à nutrição adequada da planta, tais fatores podem conferir ganho de produtividade e a obtenção de sementes de alta qualidade (Farinelli et al., 2006).

Para garantir a produtividade é importante usar sementes de boa qualidade com alta porcentagem de emergência e de vigor. Apesar da importância econômica e social da cultura do feijão é comum a utilização de sementes de baixa qualidade. O vigor da semente inclui todas as características que podem causar a emergência rápida e uniforme das plantulas em um amplo espectro de condicionamento ambiental após a semeadura, tambem é característica complexa que depende da genética, condições ambientais do cultivo da planta da colheita, benefeciamento e processo de armazenamento (Rezapour et al., 2013).

O feijoeiro comum é frequentemente cultivado em solos com baixa disponibilidade de fósforo (P) e esta é uma das principais limitações em sua produção aos cultivos em solos tropicais (Silva et al., 2014). O P é o nutriente que possui maior interação com o solo e apesar de ser o quarto nutriente mais absorvido pelas plantas de feijão, é o que possui maior taxa de aplicação em solos do cerrado brasileiro. Para a produção de cada tonelada de grãos de feijão, considerando a planta inteira, a absorção é entre 80 a 100 kg ha^{-1} de N e de 60 a 94 kg ha^{-1} de K, enquanto P apenas 9 kg ha^{-1} (Varennes et al., 2002) No entanto, as pesquisa de Carvalho et al. (2018) verificaram resposta do feijoeiro à adubação com fósforo e potássio, mesmo em solos com altos teores desses nutrientes. A máxima produtividade de grãos ocorreu com 239 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 141 kg ha^{-1} de K_2O, o que demonstra a alta resposta a esses nutrientes pelo feijoeiro. A eficiência agronômica dos adubos fosfatados pode ser influenciada pelas fontes de P, propriedades do solo, modos de aplicação e espécies vegetais (Correa et al.,2004)

A eficiência das adubações fosfatadas, em especial a maior recuperação do P aplicado via fertilizantes, pode ser aumentada pelo maior crescimento do sistema radicular. Maior extensão de raízes aumenta a interceptação radicular e facilita o fluxo difusivo de P por reduzir as distâncias para transporte de P no solo. Sementes vigorosas podem gerar plântulas com sistema radicular mais robusto e mais eficientes na absorção do P (Liu et al., 2015), o que pode reduzir a perda do nutriente para o processo de fixação no solo. Assim, objetivou-se avaliar o crescimento vegetal à absorção de P pelo feijoeiro em função do vigor das sementes em solos de texturas contratantes.

MATÉ RIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram conduzidos em casa de vegetação da Universidade Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba. Os solos utilizados nos experimentos foram um Latossolo Vermelho-Amarelo com textura argilosa e um Latossolo Amarelo de textura média que apresentaram os atributos químicos e físicos caracterizados (Tabela 1).

Tabela 1. Análise química e física do solo coletado antes da instalação do experimento.

Textura	pH	P[1]	K[1]	S	B	Fe[1]	Mn[1]	Cu[1]	Zn[1]	Ca^{2+}	Mg^{2+}	P-rem
	(H_2O)	----------	----------	----------	----------	----------	mg dm^{-3}	----------	----------	$cmol_c dm^{-3}$		mg L^{-1}
Arenoso	5,4	6,5	30	9	0,30	68	20,80	0,60	1,70	0,70	0,5	32,30
Argiloso	6,1	1,9	25	14	0,20	35	9,70	1,70	0,70	3,10	0,7	13,10

[1] Extrator de P: Mehlich-1; [2] Fósforo remanescente.

Em cada experimento (solos arenoso e argiloso) os tratamentos foram compostos da combinação de dois fatores: o primeiro fator foi vigor de semente alto e baixo da variedade Dama e o segundo fator foram doses de fósforo: 0, 35, 70, 140, 280 mg/dm3 de P para solo arenoso e 0, 50, 100, 200 e 400 mg/dm3 de P para o argiloso. A fonte de P foi o superfosfato triplo com 46% de P_2O_5. As doses de P foram estabelecidas de acordo com o P – remanescente do solo e indicações para experimentos em casa de vegetação de Alvares et al. (2000). Os tratamentos foram arranjados em esquema fatorial (2 lotes de semente x 5 doses de P) com cinco repetições com delineamento experimental inteiramente casualizado DIC. A unidade experimental foi composta por vasos de 5 dm³ com quatro plantas de feijoeiro. A cultivar utilizado foi a Dama, do grupo carioca, com ciclo 85-95 dias, habito indeterminado tipo III semi-ereto a prostrado.

Os vasos foram preenchidos com solo corrigido com calcário e adubado com micro e macro nutrientes $(NH_4)_2SO_4$ 210 mg/dm3, KNO_3 200 mg/dm3, NH_4NO_3 100 mg/dm3, $ZnSO_4$ 3,75 mg/dm3, $CuSO_4$ 1,923 mg/dm3), isto para não limitar o crescimento do feijoeiro, exceto o P que foi aplicado de acordo com os tratamentos. Foram semeadas 10 sementes por vaso e após a emergência foi efetuado o desbaste para remanescer quatro plantas por vaso. As doses de P foram aplicadas por ocasião da semeadura e o adubo misturado em todo o volume de solo do vaso.

Os lotes de sementes foram caracterizados quanto ao potencial fisiológico (RAS, 2009). No teste de germinação padrão os lotes apresentaram germinação de 99%. Para a obtenção de sementes de baixo vigor foi feita envelhecimento acelerado pelo método gerbox (Filho, 1999). Posteriormente foi feita teste de germinação a partir de sementes envelhecidas e não envelhecidas que apresentaram 72 e 99% de germinação nos 12 dias, respetivamente. O lote de sementes de alto vigor apresentou emergência em campo de 80, 95, 99% aos 6, 10, 12 dias após da semeadura e o lote de baixo vigor foi de 40, 55, 60% aos 6, 10, 12 dias após da semeadura. O lote de sementes de alto vigor apresentou condutividade elétrica de 133,9 e de baixo vigor de 166,5 $\mu S.cm^{-1}.g^{-1}$.

Análises de trocas gasosas foram realizadas aos 40 dias após a semeadura onde se determinaram a taxa fotossintética ($\mu mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$). Foram analisadas no período da manhã (8h às 10h) fluxo de fótons (1.000 mmol $m^{-2}\ s^{-1}$) e concentração ambiente de CO_2, com o uso de analisador de gás infravermelho portátil, modelo LICOR 6400XT (Li-COR, Lincoln, NE, EUA).

No estádio R5 as plantas foram colhidas e separadas em parte aéreas (folhas+caule+botões florais) e em raízes. Essas partes foram desidratadas em estufa com circulação forçada de ar a 70 ºC, por 72 horas. Posteriormente a parte aérea e raízes secas foram pesadas e em seguida trituradas em moinho tipo Willey equipado com peneira de 1,27 mm. As amostras foram submetidas à digestão sulfúrica e quantificados os nutrientes N e P (EMBRAPA 2009).

Amostras de solo foram coletadas por ocasião da colheita das plantas para determinação da disponibilidade de P pelo extrator Mehlich-1 (Donagema et al., 2011).

A taxa de recuperação (TR) foi calculada a fim de indicar a quantidade do nutriente absorvida pelo feijoeiro por unidade do nutriente aplicado via fertilizante fosfatado. TR (%) = (P acumulado nas plantas adubadas – P acumulado nas plantas sem adubação com P) / Dose de P aplicada × 100 (Maluf et al., 2015).

Para análises estatísticas inicialmente os dados foram submetidos à verificação da normalidade e homogeneidade das variâncias. Posteriormente os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e realizou-se análise de regressão. As médias do vigor de sementes foram comparadas pelo teste F. Foi utilizado nas analises estatísticas o Software em planilha eletrônica SPEED Stat (Carvalho e Mendes, 2017) e adotada a significância de 5%.

RESULTADOS

Houve incremento da matéria seca total das plantas em função de doses de P em ambos os solos (Figura 1a e 1b). No solo arenoso as plantas oriundas das sementes de alto vigor atingiram 24,03 g/vaso de matéria seca com a maior dose de P aplicada. Quando as plantas foram oriundas das sementes de baixo vigor a máxima matéria seca foi de 21,2 g/vaso obtida com a dose de 184 mg/dm³ de P. No cultivo em solo argiloso a matéria seca total de plantas foi incrementada até a maior dose para as plantas originadas tanto das sementes de baixo como alto vigor. As sementes de alto vigor resultaram em 24,76 g/vaso de matéria seca total, enquanto que as oriundas das sementes de baixo vigor produziram apenas 21,0 g/vaso. Para obtenção de 95% das máximas produções de matéria seca foram necessários 190 e 297 mg/dm³ de P no solo quando as sementes utilizadas foram de alto e baixo vigor, respectivamente.

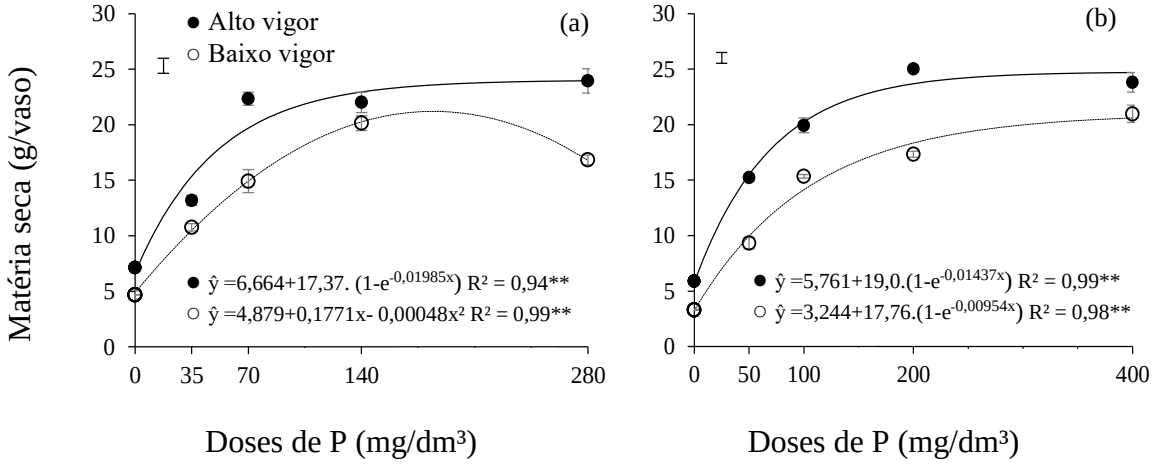

Figura 1. Matéria seca (folhas + botões florais + raízes) em função do vigor da semente do feijoeiro e de doses de P em solos arenoso (a) e argiloso (b). UFV, Rio Paranaíba – MG (2020).

(a) $F_{vigor: 93.12**}$ $F_{doses: 119.29**}$ $F_{interação:9,43**}$ (b) $F_{vigor: 233.65**}$ $F_{doses: 447,45**}$ $F_{interação:9.6**}$

O aumento das doses de P resultou em incremento da taxa assimilatória líquida de CO_2 nas plantas cultivadas em ambos os solos (Figura 2a e 2b). As plantas cultivadas em solo arenoso apresentaram maior incremento de fotossíntese com a aplicação de P quando as sementes utilizadas foram de alto vigor. No solo argiloso as maiores fotossínteses foram semelhantes nas plantas oriundas de sementes de alto ou baixo vigor. De um lado as plantas oriundas de sementes de alto vigor necessitaram de 119,2 mg/dm³ de P para alcançar pelo menos 95% da maior fotossíntese. Por outro lado as oriundas de sementes de baixo vigor necessitaram de 174,1 mg/dm³ de P para alcançar a maior fotossíntese.

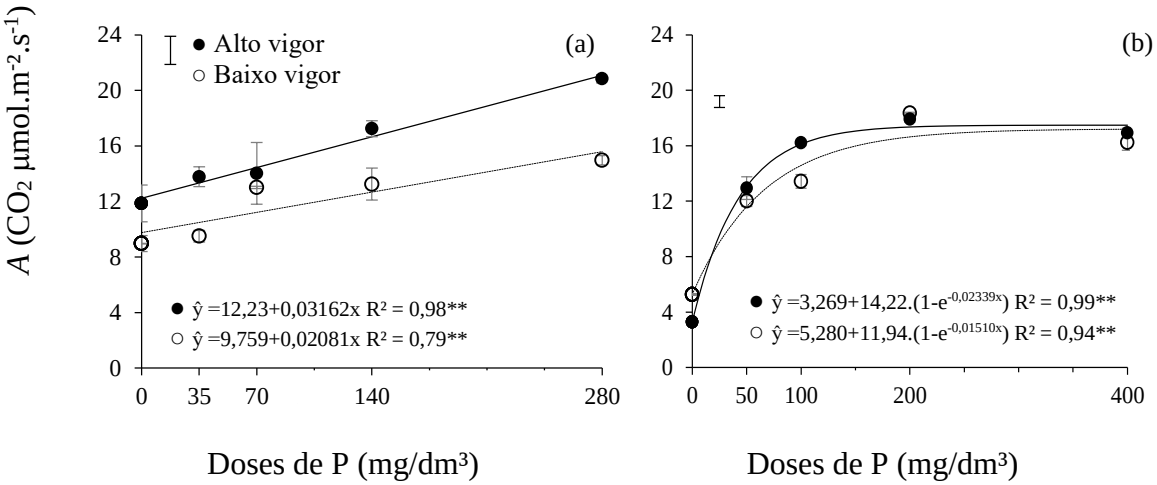

Figura 2. Taxa assimilatória líquida de CO_2 (*A*) em função do vigor da semente do

feijoeiro e de doses de P em solo arenoso (a) e argiloso (b). UFV, Rio Paranaíba – MG (2020).

$F_{vigor: 63,91**}$ $F_{doses: 28,38**}$ $F_{interação:1,19\ ns}$ (b) $F_{vigor: 2,43\ ns}$ $F_{doses: 364,99**}$ $F_{interação: 9,46**}$

Houve incremento do acúmulo de P até a maior dose de P para ambos os solos (Figura 3a e 3b). No solo arenoso o maior acúmulo de P foi de 152,8 mg/vaso quando utilizadas sementes de alto vigor e de 95,64 mg/vaso quando utilizadas as sementes de baixo vigor. No solo argiloso os acúmulos de P foram de 31,62 e de 30,32 mg/vaso com as sementes de alto e baixo vigor, respectivamente. Para o alcance de 95% do maior acúmulo de P das plantas cultivadas no solo argiloso foi necessário 98,9 e 158,4 mg/dm³ de P quando utilizadas sementes de alto e baixo vigor, respectivamente.

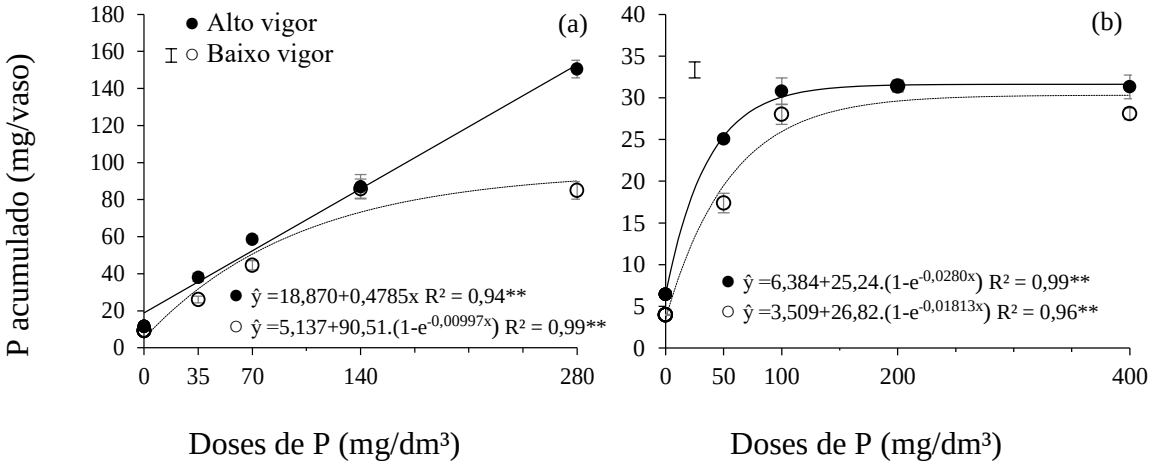

Figura 3. Fósforo (P) acumulado (folhas + raízes) em função do vigor da semente do feijoeiro e de doses de P em solo arenoso (a) e argiloso (b). UFV, Rio Paranaíba – MG (2020).

$F_{vigor: 96,61**}$ $F_{doses: 328,13**}$ $F_{interação:36,69\ ns}$ (b) $F_{vigor: 31,40\ **}$ $F_{doses: 258,27**}$ $F_{interação: 4,59**}$

O acúmulo de N nas folhas foi incrementado até a maior dose de P aplicada nas plantas cultivadas no solo arenoso com maiores acúmulos de 95,64 e 91,02 mg/vaso quando utilizadas sementes de alto e baixo vigor, respectivamente (Figura 4a). Para obtenção de 95% dos máximos acúmulos foliares de N foi necessário 115,1 e 151,6 mg/dm³ de P quando as sementes utilizadas foram de alto e de baixo vigor respectivamente. No solo argiloso o máximo acúmulo foliar de N de 97,4 mg/vaso foi obtido nas plantas oriundas de sementes de alto vigor e adubadas com 246 mg/dm³ de P

(Figura 4b). Quando utilizadas sementes de baixo vigor o acúmulo foliar de N alcançou 86,31 mg/vaso com a aplicação da maior dose de P (400 mg/dm³).

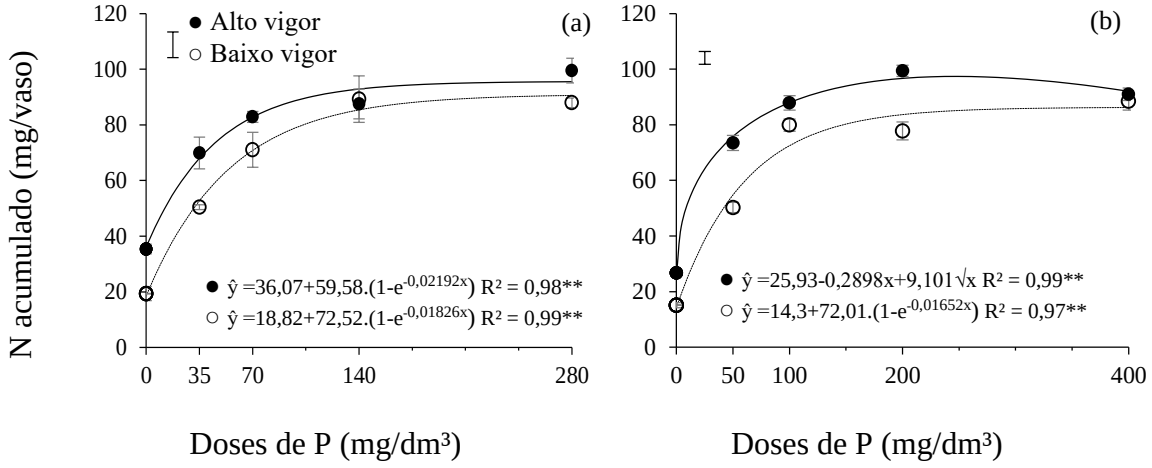

Figura 4. Nitrogênio (N) acumulado nas folhas em função do vigor da semente do feijoeiro e de doses de P em solo arenoso (a) e argiloso (b). UFV, Rio Paranaíba – MG (2020).

$F_{vigor: 15,75**}$ $F_{doses: 68,91**}$ $F_{interação:1,56}$ (b) $F_{vigor: 84,22 **}$ $F_{doses: 319,23**}$ $F_{interação: 7,39**}$

Houve incremento da disponibilidade de P nos solos arenoso e argiloso em função das doses de P aplicadas (Figuras 5a e 5b). No solo arenoso após o cultivo do feijoeiro oriundo de sementes de baixo vigor a disponibilidade de P foi maior que após o cultivo com sementes de alto vigor. No solo argiloso o vigor da semente não alterou de forma significativa a disponibilidade de P após o cultivo do feijoeiro. A disponibilidade de P no solo argiloso alcançou em média 24,4 mg/dm³ de P com a maior dose aplicada do nutriente. No solo arenoso, essa disponibilidade foi incrementada para 28,1 e 40,8 mg/dm³ com a maior dose de P quando cultivadas plantas oriundas de sementes de alto e baixo vigor, respectivamente.

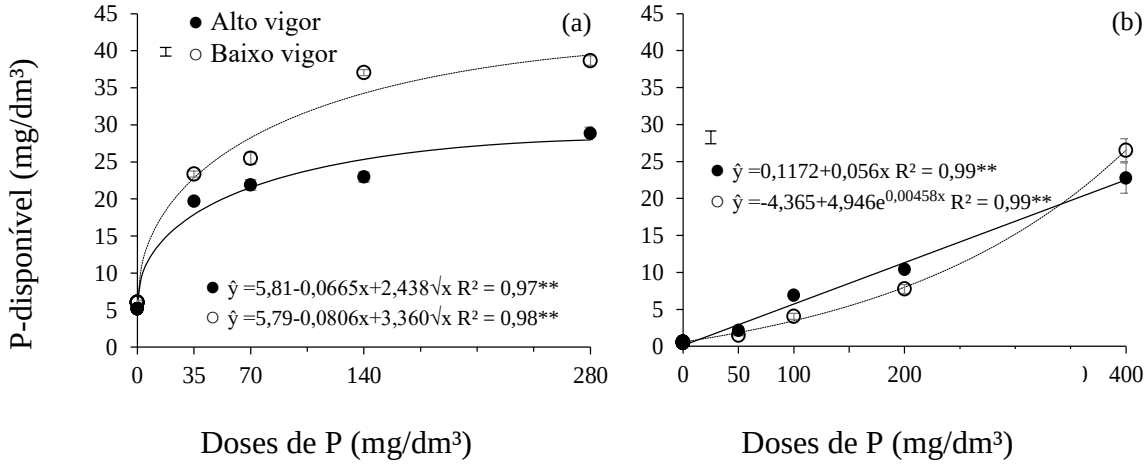

Figura 5. P-disponível no solo extraído por Mehlich-1 após cultivo do feijoeiro em função do vigor da semente do feijoeiro e de doses de P em solo arenoso (a) e argiloso (b). UFV, Rio Paranaíba – MG (2020).

$F_{vigor: 306,87**}$ $F_{doses: 702,59**}$ $F_{interação:43,74**}$ (b) $F_{vigor: 119,33 **}$ $F_{doses: 4337,84**}$ $F_{interação: 327,27**}$

No cultivo em solo arenoso houve redução da taxa de recuperação em função das doses de P quando as sementes utilizadas foram de alto vigor. Quando as sementes foram as de baixo vigor a máxima taxa de recuperação de 10,8% foi obtida com a dose de 119 mg/dm³ de P (Figura 6a). No cultivo em solo argiloso, independentemente do vigor da semente houve redução da taxa de recuperação de P pelo feijoeiro em função das doses de P aplicadas (Figura 6b). Com a menor dose de P a recuperação foi maior quando utilizadas sementes de alto vigor.

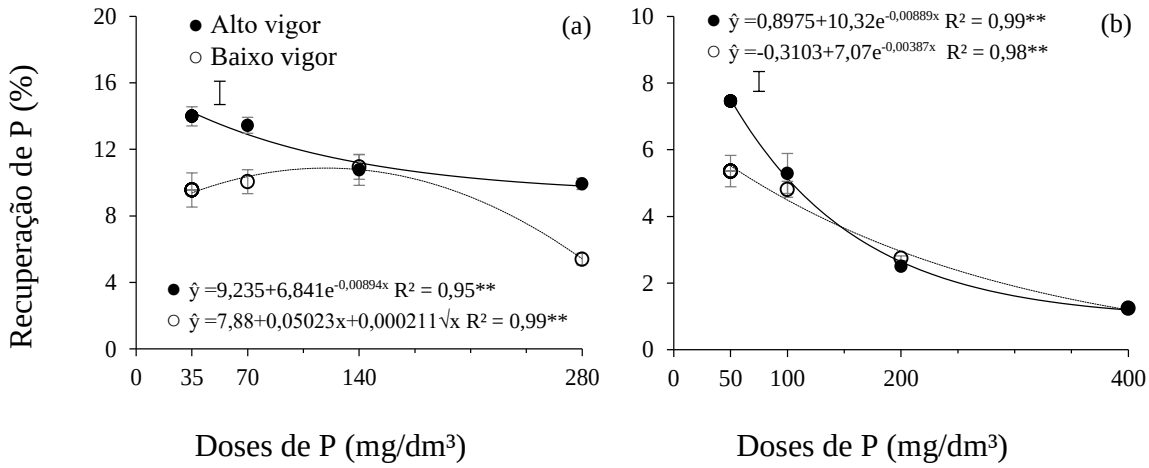

Figura 6. Taxa de recuperação de P em função do vigor da semente do feijoeiro e de doses de P em solo arenoso (a) e argiloso (b). UFV, Rio Paranaíba – MG (2020).

$F_{vigor: 21,27**}$ $F_{doses: 9,62**}$ $F_{interação: 3,06**}$ (b) $F_{vigor: 785,1 **}$ $F_{doses: 880,04**}$ $F_{interação: 750,88**}$

DISCUSSÃO

A matéria seca (folhas + raízes) foi menor quando utilizadas sementes de baixo vigor em 11,8 e 15,2% nos solos arenoso e argiloso, respectivamente. De forma similar aos 14 dias após a emergência, as plantas de feijoeiro de sementes de alto vigor produziram 6% mais matéria seca que as plantas oriundas das sementes de baixo vigor (Zucareli et al., 2011). Plantas de soja advindas de sementes de alto vigor apresentaram 14% de aumento da matéria seca aos 28 dias em relação às de baixo vigor (Kolchinski et al., 2006). Semente de alto vigor pode originar plantas com sistema radicular mais expandido, o que é importante para o aproveitamento e exploração dos nutrientes aplicados no solo (Silva et al., 2014). Em sementes de soja de baixo vigor houve reduções na velocidade de emergência e na produção de biomassa seca de plântulas, o que resultou em menor crescimento inicial da planta (Henming et al., 2010). O fósforo é responsável por 0,1% 1,0% da matéria seca total das plantas, que varia de 0,2% a 0,4% nos tecidos foliares. Está presente em grande parte na forma inorgânica como componentes de ésteres de fosfato (fosfato de açúcar, nucleotídeos e fosfolipídios), certas enzimas e proteínas, adenosina tri-fosfato e está envolvido em várias reações de transferência de energia e informações genéticas (Bhattacharya, 2019). O fósforo é importante na construção de energia para o metabolismo do crescimento das plantas através de produções celulares, como ATP e ADP, desde os estágios iniciais até o final da vida útil da planta (Muaid 2014).

A taxa fotossintética aumentou com sementes de alto vigor no solo arenoso. No solo argiloso houve discreto aumento da taxa fotossintética nas plantas originadas das sementes de baixo vigor com maior dose de P (Figura 2). De forma similar na cultura de soja a taxa fotossintética aumentou com sementes de alto vigor, incrementando a matéria seca da folha (Pedó et al., 2015). A capacidade da planta de manter altas taxas de fotossíntese é importante para o aproveitamento das condições ideais de água no solo e temperatura para o crescimento da planta (Fenta et al., 2011). Temperaturas extremas, baixa qualidade da semente e baixa disponibilidade de nutrientes no solo podem reduzir a fotossíntese e de forma dependente da variedade (Silva et al., 2016). As plantas de sementes de alto vigor exploram maior volume de solo e mantém condições de água e nutrientes nos tecidos em condições ótimas por maior período de tempo, o que reflete no aumento da taxa fotossintética (Neves et al. 2009).

Houve maior acúmulo de P na planta de lote de alto vigor de 37% e 0,4 % nos solos arenoso e argiloso, respetivamente (figura 3). Resultado similar à pesquisa que evidenciou aumento de 66% no acúmulo de P na cultura de feijão com maiores doses do nutriente aplicado no solo argiloso (Silva et al., 2002). A absorção de P gera zonas de depleção em torno a raízes existente, mas devido à baixa mobilidade no solo a aquisição de P é altamente dependente do crescimento contínuo da raiz e da exploração de novos domínios do solo que ainda não foram esgotados de P (Shanka et al., 2018). Algumas características fisiológicas da planta como a absorção do P e translocação desse nutriente estão controladas por genes com diferentes expressões em função da variedade (Silva et al., 2019). As plantas absorvem a maior parte do P na solução do solo, principalmente na forma de íons ortofosfatos (H_2PO_4 e $HPO_4^{2-),}$ mediante a solubilização de minerais fosfatados e da mineralização da matéria orgânica (Dechen; Nachtigall, 2007). O contato do íon-raiz ocorre por difusão, a pesar de baixa mobilidade no solo, na planta a mobilidade e alta com distribuição entre os órgãos, ou seja, das folhas velhas paras as novas e para os frutos e sementes (Silva, 2006).

O acúmulo de N foi 11 e 0,4% maior em sementes de alto vigor em solos arenoso e argiloso, respetivamente (figura 4). O nitrogênio tem influencias significativas no crescimento e morfologias radiculares que são determinantes da produtividade das plantas e sua disponibilidade e concentração interna influenciam na partição da biomassa entre raízes e folha (Razaq et al., 2017). O P além de aportar energia para o melhor aproveitamento do N pela cultura de feijão-caupi, também influenciou no estabelecimento de nódulos, pois o aumento de numero de pelos radiculares proporciona mais sítios de infecção para bactérias fixadoras de N_2 (Silva et al. 2010).

A disponibilidade de P no solo arenoso foi 31% maior em solo arenoso e 18% maior em solo argiloso quando se cultivou plantas oriundas de sementes de baixo vigor (figura 5). De forma parecida foi observado que no solo arenoso, há maior da disponibilidade de P uma vez que a fixação de P é menor em função da baixa concentração de argila (Machado et al., 2011). Sementes de alto vigor proporcionam maior crescimento de sistema radicular, o que pode aumentar a proporção do P aplicado absorvido e alterar as propriedades químicas pela exsudação de ácidos orgânicos. Essas condicionantes das plantas advindas de sementes vigorosas protegem o P da fase mineral do solo, com maior capacidade de fixação do P em formas não-lábeis (Correa et al. 2004). A retenção de P aplicado ao solo ocorre pela precipitação deste elemento em solução com formas iônicas de Fe^{3+}, Al^{3+} e Ca^{2+}, e de maneira mais significativa pela

sua fixação pelos hidróxidos de Fe^{3+} e de Al^{3+}, presentes em maiores quantidades nos solos tropicais mais intemperizados (Novais et al., 2007). A aplicação de P em doses elevadas em solos intemperizados é justificada pela intensa fixação desse elemento, que reduz a fração lábil do nutriente, principalmente em solos onde há predomínio de minerais sesquióxidos (Novais & Smyth,1999).

Em solo arenoso, a recuperação de P foi 10,8% quando realizada a semeadura de sementes de alto vigor em relação às de baixo vigor. No solo argiloso independentemente do vigor houve uma redução da taxa de recuperação em função a doses de P aplicado e essa taxa foi menor que a do solo arenoso (Figura 6). A taxa de recuperação é negativamente influenciada pela dose aplicada do nutriente (Mei et al., 2012) e comumente os solos arenosos propiciam maior recuperação do P que os argiloso (Bonfim et al. 2003, Ramos et al. 2010). A menor taxa de recuperação no solo argiloso pode ser atribuída ao aumento do poder tampão de fosfato desse solo (Bonfim et al.,2003). Na cultura de soja a taxa de recuperação correlacionou-se inversamente com a capacidade-tampão de P dos solos, assim, para a mesma quantidade de P absorvida, é necessária maior quantidade de P em solo com maior capacidade-tampão, como é o solo argiloso (Syers et al., 2008). Os solos de regiões tropicais, geralmente ácidos e com predominância de argilas sesquioxídicas, atuam como dreno do P aplicado e reduzem drasticamente o aproveitamento pelas plantas. Isso ocorre porque a absorção do P da solução do solo pelas plantas, que está em equilíbrio com a forma lábil, é negativamente relacionada com a energia de ligação de P e com o fator capacidade desse elemento no solo. Desse modo, em solo com maior fator capacidade há menor taxa de recuperação do P aplicado (Novais & Smyth 1999).

CONCLUSÃO

Plantas oriundas de sementes de alto vigor produzem maior matéria seca, acumulam mais P e necessitam de menor dose de fertilizante fosfatado em relação às oriundas de sementes de baixo vigor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade C. A.; Scapim, C. A.; Lucca, A.; Braccini; Martorelli, D. Produtividade, crescimento e partição de matéria seca em duas cultivares de feijão Acta Scientiarum Agronomy. v. 31, n. 4, p. 683-688, 2009.

Anghinoni, I. Fertilidade do solo e seu manejo em plantio direto. In Novais, R.F., Alvarez V., V. H., Barros, N. F., Fontes, R. L. F., Cantarutti, R. B., Neves, J. C. L., Fertilidade do Solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

Bertolin, D. C., Sá, M. E. D., & Moreira, E. R. (2011). Parâmetros do teste de envelhecimento acelerado para determinação do vigor de sementes de feijão. Revista Brasileira de Sementes, 104-112.

Bhattacharya, A. (2019). Changing Environmental Condition and Phosphorus-Use Efficiency in Plants. Changing Climaté and Resource Use Efficiency in Plants, 241–305.

Bonfim-silva, E. M., Guimarães, S. L., Faria, L. N., Oliveira, J. R., Bosa, C. K., Fontenelli, J. V. (2014). Phosphorus fertilization on the development and production of pigeonpea in the cerrado oxisol in first cultivation. Bioscience Journal,v. 30, p. 1380-1388.

Borem, A.; Carneiro, J.E.S.; A cultura. In: CARNEIRO, J.E.S.; PAULA JÚNIOR, T.J.; BOREM, A (Ed.)**.** Feijão do plantio a colheita. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa. 2015. Cap. 1, pág. 9 – 15.

Carvalho, A.M. X; E Mendes, F.Q. Spreadsheet Program para Estatística Experimental e Descritiva. UFV, 2017.

Chuyong, G.B.; Newbery, D.M.; Songwe, N.C. Litter nutrients and retranslocation in a central African rain forest dominaté d by ectomycorrhizal trees. New Phytologist, v.148, n.3, p.493-510, 2000.

Corrêa J.C.; Mauad M.; Rosolem C.A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciada pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. Pesquisa agropecuária Brasileira. Brasília, v.39, n.12, p.1231-1237, dez. 2004.

Corrêa, J. C., Maua, M., Rosolem C. A. (2004). Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. Pesquisa Agropecuária Brasileira. v.39, p.1231-1237.

Corte, V. B., Borges, E. E. L., Pontes C. A., Leite, I. T. A., Ventrella M. C, Mathias, A. A. (2006). Mobilização de reservas durante a germinação das sementes e crescimento das plântulas de C*aesalpinia peltophoroides* Benth. (leguminosae-caesalpinoideae). Revista Árvore, v.30, p.941-949.

Coutinho, P. W. R., Silva, D. M. S., Medeiros E. C., Okumura S. R. S., Júnior, M. L. S. (2014). Raté s of phosphorus fertilizers in the culture of cowpea in the northeastern on Staté of Pará. Revista Agro ambiente, v. 8, p. 66-73.

Silva, D. A., Tsai, S. M., Chiorato, A. F., da Silva Andrade, S. C., de Fatima Esteves, J. A., Recchia, G. H., & Carbonell, S. A. M. (2019). Analysis of the common bean

(Phaseolus vulgaris L.) transcriptome regarding efficiency of phosphorus use. PloS one, 14(1), e0210428.

Dechen, A. R.; Nachtigal, G. R. 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: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - UFV, 2007. Cap. 03, p. 91-132.

Souza Ferraz, R. L., Melo, A. S., Suassuna, J. F., de Brito, M. E. B., Fernandes, P. D., & Júnior, E. D. S. N. (2012). Trocas gasosas e eficiência fotossintética em ecótipos de feijoeiro cultivados no semiárido**.** Pesquisa Agropecuária Tropical, *42*(2), 181-188.

Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária Embrapa Soja. A importância do uso de semente de soja de alta qualidade. Boletim informativo folder n 01.2010.

Farinelli R.; Lemos L.B.; Cavariani C.; Nakagawa J. Produtividade e qualidade fisiológica de sementes de feijão em função de sistemas de manejo de solo e adubação nitrogenada. Revista brasileira de sementes, vol. 28, nº 2, p.102-109, 2006.

Feltran, J. C., Maté u, G. P., Crusciol, C. A. C., Lemos, L. B., Silva, L. M. (2007). Root growth and micronutrient uptake by common bean as affected by liming. v.35, p.88 – 105.

Grant, C. A., Flaté n, D. N., Tomasiewicz, D. J., Sheppard, S. C. (2001). A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. Better Crops with Plant Food.

Guoju, X., Fengju, Z., Juying, H., Chengke, L., Jing, W., Fei, M., & Zhengji, Q. (2016). Response of bean cultures' waté r use efficiency against climaté warming in semiarid regions of China. Agricultural waté r management, 173, 84-90.

Henning, F. A., Mertz, L. M., Junior, E. A. J., Machado, R. D., Fiss, G., Zimmer, P. D. (2010). Composição química e mobilização de reservas em sementes de soja de alto e baixo vigor. Bragantia, v. 69, p727-734.

Hammond, J. P., & White, P. J. (2008). Sucrose transport in the phloem: integrating root responses to phosphorus starvation. Journal of experimental botany, 59(1), 93-109.

Jaimez, R. E., Rada, F., García-Núñez, C., & Azócar, A. (2005). Seasonal variations in leaf gas exchange of plantain cv. Hartón (Musa AAB) under different soil waté r conditions in a humid tropical region. *Scientia Horticulturae*, *104*(1), 79-89.

Kikuti, H., Andrade, M. J. B., Carvalho, J. G., Morais, A. R. (2005). Nitrogênio e fósforo em feijão (*Phaseolus vulgaris L.)* variedade cultivada BRS MG Talismã. Acta Scientiarum Agronomy., v. 27, p. 415-422.

Kolchinski, E. M., Schuch, L. O. B., Peske, S., T. R. 2006). Early growth of soybean plants in relation to seeds vigor. Revista Bras. Agroc, v. 12, p. 163-166.

Krolow, R. H., Mistura, C., Coelho, R. W., Siewerdt, L., Zonta, E. P. (2004). Effect of phosphorus and potassium on development and nodulation of three cool season annual legumes. Revista Brasileira de Zootecnia, v.33, p. 2224 - 2230.

Liao, H., Rubio, G., Yan, X., Cao, A., Brown, K. M., Lynch, J. P. (2001). Effect of phosphorus availability on basal root shallowness in common bean. Plant and Soil, v. 232, p. 69–79.

LIU, G. D.; MORGAN, K.; HOGUE, B.; LI, Y. C.; SUI, D. Improving phosphorus use efficiency for snap bean production by optimizing application raté . Hort. Sci. Vol. 42, 2015 (2): 94–101.

Lynch, J., Lauchli, A., Epstein, E. (1991). Vegetative growth of the common bean in response to phosphorus nutrition. Crop Science. v.31, p. 380 – 387.

Machado E. C.; Schmidt P.T.; Medina C. L.; Ribeiro R.V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v. 40, n. 12, p. 1161- 1170 2005.

Marcos Filho, Júlio. Testes de vigor: importância e utilização. Vigor de sementes: conceitos e testes, 1999.

Machado, V. J., de Souza, C. H. E., de Andrade, B. B., Lana, R. M. Q., & Korndorfer, G. H. (2011). Curvas de disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico. Bioscience Journal, 27(1).

Maluf, H. J. G. M., Soares, E. M. B., Silva, I. R., Neves, J. C. L., Silva, M. F. O. 2015. Disponibilidade e recuperação de nutrientes de resíduos culturais em solo com diferentes texturas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.39, p.1690-1702.

Mei, P.-P., Gui, L.-G., Wang, P., Huang, J.-C., Long, H.-Y., Christie, P., & Li, L. (2012). Maize/faba bean intercropping with rhizobia inoculation enhances productivity and recovery of fertilizer P in a reclaimed desert soil. Field Crops Research, 130, 19–27.

Mondo, V. H.; Nascente, A.; Neto, M. Common bean seed vigor affecting crop grain yield. Journal of Seed Science, v.38, n.4, p.365-370, 2016.

Novais, R. D., & Smyth, T. J. (1999). Fósforo em solo e planta em condições tropicais (No. 631.422 N934). Universidade Federal de Vicosa, Vicosa, MG (Brasil). Departamento de Solos.

Neves, A. L., Lacerda, C. F. D., Guimarães, F. V., Gomes Filho, E., & Feitosa, D. R. (2009). Trocas gasosas e teores de minerais no feijão-de-corda irrigado com água salina em diferentes estádios. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 13, 873-881.

OLIVEIRA, I. P., Edwards, D. G., Asher, C. J., Grundon, N. J., dos Santos, R. S. M., & de Faria, C. D. (2001). Modos de aplicação e doses de fósforo no crescimento do feijoeiro. Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em periódico indexado.

Pedó, T., Koch, F., Martinazzo, E. G., Villela, F. A., & Aumonde, T. Z. (2015). Physiological attributes, growth and expression of vigor in soybean seeds under soil waté rlogging. African Journal of Agricultural Research, 10(39), 3791-3797.

Pommel, B.; Mouraux, D.; Cappellen, O.; Ledent, J.F. Influence of delayed emergence and canopy skips on the growth and development of maize plants: a plant scale approach with CERES-Maize. European Journal of Agronomy, v.16, p.263-277, 2002.

Procópio, S.; Santos, J.; Pires, F.; Da Silva, A.; Mendonça, E. Absorção e utilização do fósforo pelas culturas da soja e do feijão e por plantas daninhas. Revista Brasileira de Ciencias do Solo, 29:911-921, 2005.

Razaq, M., Zhang, P., & Shen, H. L. (2017). Influence of nitrogen and phosphorous on the growth and root morphology of Acer mono. PloS One, 12(2), p.1-13.

Rezapour, R.; Kazemi-Arbat, H.; Yarnia, M.; Zafarani-Moattar, P. Effect of seed size on germination and seed vigor of two soybean (glycin max L.) cultivars. Intl. Res. J. Appl. Basic. Sci. Vol., 4 (11), 3396-3401, 2013.

Ramos, S. J., Faquin, V., Rodrigues, C. R., Silva, C. A., Ávila, F. W. D., & Sampaio, R. A. (2010). Utilização de fósforo e produção do feijoeiro: influência de gramíneas forrageiras e fontes de fósforo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 34(1), 89-96.

Sant'Ana, E. V. P., dos Santos, A. B., & da Silveira, P. M. (2010). Adubação nitrogenada na produtividade, leitura SPAD e teor de nitrogênio em folhas de feijoeiro. Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em periódico indexado.

Silva, P. R. C. Processo de produção de adubos foliares. Salvador: Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas (Rede de Tecnologia da Bahia), 2006. 5 p.

Silva D, A.; Esteves, J. A.; Messias, U.; Teixeira, A.; Gonçalves, J.; Chiorato, A. F.; Carbonell, S. A.; Efficiency in the use of phosphorus by common bean genotypes. Sci. Agric. v.71, n.3, p.232-239, May/June 2014.

Silva Bonfim, E. M., Freire, F. J., dos Santos, M. V. F., da Silva, T. J. A., & dos Santos Freire, M. B. (2003). Avaliação de extratores para determinação de fósforo disponível de solos cultivados com Brachiaria brizantha. Acta Scientiarum. Agronomy, 25(2), 323-328.

Santos, J. Z. L., Neto, A. E. F., de Resende, Á. V., Carneiro, L. F., Curi, N., & da Silva Moretti, B. (2011). Resposta do feijoeiro à adubação fosfatada em solos de cerrado com diferentes históricos de uso. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 35(1), 193-202.

Scheeren, B. R.; Peske, S.; Schuch, L. O; Barros, A. C; qualidade fisiológica e produtividade de sementes de soja. Revista Brasileira de Sementes, vol. 32, n 3 p. 035-041, 2010.

Silva, A. D., Brito, M. E. B., Frade, L. J. G., Nobre, R. G., Costa, F. B. D., Melo, A. S. D., & Silva, L. D. A. (2016). Crescimento e trocas gasosas de genótipos de feijão-caupi sob estratégias de cultivo. Revista Ambiente & Água, 11(3), 745-758.

Silva, D. A., Tsai, S. M., Chiorato, A. F., da Silva Andrade, S. C., de Fatima Esteves, J. A., Recchia, G. H., & Carbonell, S. A. M. (2019). Analysis of the common bean (Phaseolus vulgaris L.) transcriptome regarding efficiency of phosphorus use. PloS one, 14(1).

Silva, D. A. D., Esteves, J. A. D. F., Messias, U., Teixeira, A., Gonçalves, J. G. R., Chiorato, A. F., & Carbonell, S. A. M. (2014). Efficiency in the use of phosphorus by common bean genotypes. Scientia Agricola, 71(3), 232-239.

Silva, E. L., de Araujo, A. F., dos Santos, V. B., Nunes, L. P. L., & Carneiro, R. V. (2010). Biological N2 fixation in cowpea under different raté s and sources of soluble phosphorus. Bioscience Journal, 26(3), 394-402.

Silva, R. (2002). Resposta do feijoeiro à adubação fosfatada num NEOSSOLO LITÓLICO distrófico da região sul do Rio Grande do Sul. Current Agricultural Science and Technology, 8(2).

Silva, V. N., Zambiasi, C. A., Tillmann, M. A. A., Menezes, N. L., & Villela, F. A. (2014). Condução do teste de condutividade elétrica utilizando partes de sementes de feijão. Revista de Ciências Agrárias, 37(2), 206-213.

Syers, J. K., Johnston, A. E., & Curtin, D. (2008). Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use. FAO Fertilizer and plant nutrition bulletin, 18(108).

Tunes, L. M., Barros, A. C. S. A., Badinelli, P. G. Olivo, F. (2008). Testes de vigor em função de diferentes épocas de colheita de sementes de cevada (*Hordeum vulgare L.)*. Revista Brasileira de Ciências. Agrárias, v.3, p.321-326.

Urrutia, O., Guardado, I., Erro, J., Mandado, M., & García-Mina, J. M. (2013). Theoretical chemical characterization of phosphaté -metal–humic complexes and relationships with their effects on both phosphorus soil fixation and phosphorus availability for plants. Journal of the Science of Food and Agriculture, 93(2), 293-303.

White, P. J., Hammond, J. P. (Eds.). (2008). The ecophysiology of plant – phosphorus interactions (vol. 7). Springer Science & Business Media.

Varennes, A.; De Melo, J. P.; Ferreira, M. Predicting the concentration and uptake of nitrogen, phosphorus and potassium by field-grown green beans under non-limiting

conditions. European Journal of Agronomy. Volume 17, Issue 1, July 2002, Pages 63-72.

Vian, A.; Santi, A.; Telmo Amado, J.; Cherubin, M.; Simon, D. H.; Damian, H; Bredemeier, C. Variabilidade espacial da produtividade de milho irrigado e sua correlação com variáveis explicativas de planta. Ciência Rural, Santa Maria, v.46, n.3, p.464-471, mar, 2016.

Vitousek, P. M.; Sanford, R. L. Nutrient cycling in moist Tropical forest. Annual Review of Ecology and Systematics, v. 17, n. 2, 137-167, 1986.

Zucareli, C., Prando, A. M., Júnior, E. U., & Nakagawa, J. (2011). Phosphorus on the productivity and seed quality of bean Carioca Precoce cultivaté d during the rainy season. Revista Ciência Agronômica, 42(1), 32.

2º- CAPÍTULO: EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO FOSFATADA NO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris*) EM FUNÇÃO DE DOSES DE POLÍMERO SUPERABSORVENTE MISTURADO AO FERTILIZANTE.

O recurso hídrico é um dos principais fatores limitantes para a produtividade das culturas. A má distribuição de chuvas é um grave problema na agricultura de sequeiro. Ocorrência de períodos de déficit hídrico no solo em fases mais sensíveis da cultura podem resultar em perdas expressivas na produtividade e no aproveitamento dos nutrientes. O uso de Polímeros Superabsorventes pode ser uma estratégia para minimizar os riscos de plantio em condições de déficit hídrico. Desta forma, objetivou-se determinar respostas fisiológicas e os componentes de produção de feijão *(Phaseolus vulgaris)* em resposta à adubação fosfatada combinada com doses de polímeros na presença ou ausência de deficiência de água no solo. O experimento foi montado em casa de vegetação em vasos de 150 dm^3 com 17 plantas de feijão em cada vaso. Os tratamentos consistiram de três fatores que foram combinados em esquema fatorial: dois regimes hídricos (com e sem déficit hídrico), duas doses de P (ideal e 1/3 ideal) e cinco doses de polímeros (0, 2, 4, 8, 16% equivalente da massa do fertilizante fosfatado para a de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5). A matéria seca foi aumentada 0,9% na menor dose de P misturada com 16% de polímero sem déficit hídrico e 0,5% na maior dose de P misturada com 5% de polímero sem déficit hídrico. O acúmulo de P foi aumentado 16 e 19% na maior e menor dose de P misturado com 8,6 e 16% de polímero sem déficit hídrico, respetivamente. A taxa fotossintética e condutância estomática foram menores ao submeter às plantas ao déficit hídrico. A concentração de prolina na folha foi maior

na menor dose de P misturado com 8% de polímero com e sem déficit hídrico, respetivamente. O numero de vagem por planta aumentaram 21e 6% na maior e menor dose de P misturado com 8,9 e 5,46 % de polímero sem déficit hídrico, respetivamente. O peso de cem grãos apresentou uma diferença de 0,5% na maior e menor dose de P misturado com 2,41 e 16% de polímero sem déficit hídrico. A produção de grãos por vaso foi aumentado 22 e 24% na maior e menor dose de P misturado com 13,7 e 16% de polímeros sem déficit hídrico, respetivamente. A EUA aumentou 21 e 24% na maior e menor dose de P misturado com 5,89 e 6,81% de polímero sem déficit hídrico, respetivamente. Polímeros superabsorventes pode ser uma alternativa para prolongar a umidade do solo e aumentar a eficiência do fertilizante fosfatado.

Palavras chaves: Déficit hídrico, difusão de P, eficiência de uso da agua.

INTRODUÇÃO

A escassez hídrica é uma das principais limitantes à produtividade das culturas no mundo. Essa pode ter origem na baixa precipitação pluvial ou no uso irracional dos recursos hídricos com a expansão de áreas de cultivo irrigadas (Tundisi, 2008; FAO, 2013). O aumento populacional e a necessidade de intensificação da produção de alimentos, aliados à escassez de recursos hídricos, têm levado a buscas por alternativas que reduzam o consumo e otimizem o uso de água durante os cultivos. O uso de tecnologias que ajudam a prolongar a disponibilidade de nutrientes e água no solo são essenciais para o aumento da produtividade agrícola e maior eficiência no uso de água e nutrientes (Lopes et al., 2017).

O feijão é sensível ao estresse hídrico, especialmente a deficiência, comum em muitas áreas de cultivo. A irrigação e tecnologias conservadoras de água no solo são importantes para ganhos de produtividade e da eficiência de nutrientes aplicados na cultura (Morais et al., 2016). Quando submetido à deficiência de água no solo (potencial hídrico no solo inferior à -0,6 MPa) há queda da germinação e do comprimento do hipocótilo e da radícula (Viçosi et al., 2017). A adaptação de plantas ao ambiente com

déficit hídrico e um desafio da agricultura moderna (Lizana et al., 2006), pois, é comum o cultivo das plantas em condição hídrica subótima.

O manejo de fertilizantes pode constituir para o aumento da produtividade, especialmente o fósforo cuja disponibilidade às plantas é influenciada por vários atributos do solo. A disponibilidade de nutrientes dos solos, através de análises de solos, deve correlacionar-se com as quantidades absorvidas pelas plantas e, consequentemente, com a produção possibilitada pelo mesmo (Silva et al., 2001, Procópio et al., 2005). Embora o teor total de P no solo se situe entre 200 e 3000 mg kg^{-1}, na maioria das vezes, menos de 0,1% (0,2 a 3 mg kg^{-1}) desse fósforo se encontra em solução, ou seja, prontamente disponível à absorção vegetal (Novais & Smyth, 1999). Isso ocorre, pois, os solos das regiões tropicais são geralmente ácidos e apresentam quantidades significativas de oxidróxidos de Fe e Al e caulinita, carregados positivamente, que apresentam alta capacidade de fixação de fosfato, que é adsorvido às superfícies dos colóides por um complexo de esfera interna (Meurer et al., 2004).

Como alternativa para melhor aproveitamento da precipitação pluvial, pode-se adoptar o uso de polímeros capazes reter a água nos períodos de alta disponibilidade e disponibilizá-la em período posterior de menor precipitação (Romero et al., 2016). A maior retenção de água no solo contribui tanto para a economia hídrica da cultura como para o melhor aproveitamento do P, pois, a umidade é um dos fatores que mais influenciam o fluxo difusivo de P no solo (Costas, 2019). A maior umidade no solo, especialmente na região de aplicaçaõ de P, pode contribuir para maior e constante fluxo difusivo de P (Aquino et al. 2011). Assim, menores doses de P podem ser requeridas e haverá maior aproveitamento do nutriente pelo feijoeiro com o uso de polímeros superabsorvente que garantam alta umidade junto dos grânulos de adubo fosfatado. Essa pesquisa tem por objetivo determinar respostas fisiológicas e os componentes de produção de feijão *(Phaseolus vulgaris)* em resposta à adubação fosfatada combinada com doses de polímeros na presença ou ausência de deficiência de água no solo.

MATÉ RIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na área experimental da Universidade Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba. O solo utilizado no experimento foi um Latossolo Vermelho-Amarelo com textura argilosa que foi caracterizado quimicamente (Tabela 1).

Tabela 1. Análise química do solo coletado antes da instalação do experimento.

Textura	pH	P[1]	K[1]	S	B	Fe[1]	Mn[1]	Cu[1]	Zn[1]	Ca^{2+}	Mg^{2+}	P[2]
	(H_2O)	----------mg dm^{-3}----------								$cmol_c dm^{-3}$		mg L^{-1}
Amostra 1	5,5	4,2	26	9	0,20	34	3,80	0,90	0,50	2,10	0,7	14,80
Amostra 2	5,5	3,8	28	12	0,20	31	2,00	0,90	0,60	2,20	0,7	14,20

[1] Extrator: Mehlich-1; [2] Fósforo remanescente.

A unidade experimental foi um vaso de 150 dm^{-3} (0,5 m² de área superficial) preenchido com solo corrigido e adubado para o adequado crescimento do feijoeiro. Os tratamentos foram arranjados em esquema fatorial (2x2x5+2): dois regimes hídricos (ciclos de deficiência hídrica a partir do florescimento ou irrigação plena durante todo o ciclo), duas doses de P (ideal e 1/3 ideal) e cinco doses de polímeros. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com quatro repetições. A cultivar utilizado foi ANFC do grupo carioca, ciclo até colheita de 76 dias, tipo II com habito de crescimento indeterminado com porte semi-ereto. Em cada vaso foram semeadas 40 sementes dispostas em linha concêntrica e distante 10 cm da borda do vaso. Após a emergência efetuou-se o desbaste das plantas remanescendo doze plantas por metro quadrado. As doses de polímero s foram misturadas com o adubo fosfatado (MAP granulado com 11% de N e 52% de P_2O_5). As doses de polímero foram equivalentes a 0 (sem polímero); 4,62; 9,23; 18,46 e 36,92 kg ha^{-1} do polímero. Essas doses equivalem a 0, 2, 4, 8 e 16% da massa do fertilizante fosfatado para a dose de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 que é a recomendada para o cultivo em solos com baixa disponibilidade de P (Ribeiro et al., 1999). As doses de adubo fosfatado e de polimeros por vaso foi estimado considerando que num cultivo de campo há 20.000 metros de linha (espaçamento de 50 cm) e que no vaso foi colocado sulco de semeadura de 80 cm. A mistura do adubo fosfatado e polímero foi depositada em sulco com 8 cm de profundidade. As sementes foram semeadas a 3 cm de profundidade, ou seja, 5 cm acima da mistura do adubo fosfatado mais polímero. Foram feitas adubação de nitrogênio (0,152 mg/dm3), K_2SO_4 (0,172 mg/dm3), H_3BO_4 (0,0024 mg/dm3), $ZnSO_4$ (0,175 mg/dm3) e $CuSO_4$ (0,0046 mg/dm3).

Para caracterizar a retenção de agua do polímero foi realizado um ensaio para determinar a capacidade de absorção e liberação de água. Para isso 5 g de polímero superabsorventes foram adicionadas em 1,5 litros de água deionizada. Uma vez que o polímero entra em contato com água a absorção foi rápido, com máxima absorção até 9 horas (Figura 1a). Após absorver a máxima quantidade de agua o polímero foi colocado em estufa a uma temperatura de 30°C para determinar a liberação de agua (figura 1b).

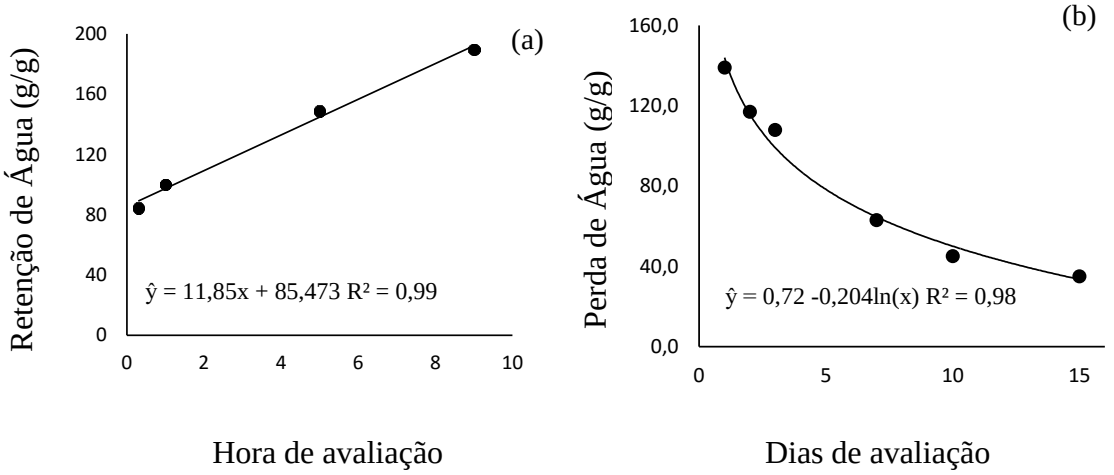

Figura 1. Retenção de água a partir do polímero seco (a) e perda de água a partir do polímero saturado (b) em função do tempo. UFV, Rio Paranaíba – MG (2020).

As plantas foram irrigadas em condições iguais e ótimas até atingirem o estádio fenológico R5 (emissão do primeiro botão floral). Após esse estádio foram introduzidos os tratamentos referentes aos regimes de água no solo. O solo dos tratamentos controles (irrigado) foi mantido com umidade equivalente à capacidade de campo por meio de irrigações diárias. Os tratamentos com ciclos de deficiência hídrica foram irrigados apenas quanto à condutância estomática das plantas de feijoeiro atingiram 33% da medida nas plantas com irrigação plena. As plantas foram submetidas a quatro ciclos de umedecimento e de secagem do solo. As quantidades de água reposta nos vasos foram com base na massa de solo desses, umidade atual e a equivalente à capacidade de campo.

Foram feitas as avaliações de troca gasosa com um analisador de gás infravermelho (IRGA) modelo LI-6400XT (LI-COR, Lincoln, Nebraska, USA), as quais foram a mensuração da taxa de assimilação de CO_2 (A) (µmol m^{-2} s^{-1}), e a condutância estomática (*gs* - mol m^{-1} s^{-1}). As medições foram diárias a partir da imposição dos regimes de água no solo.

No estádio R5 as folhas foram colhidas e foram desidratadas em estufa com circulação forçada de ar a 70 ºC, por 72 horas. Posteriormente as folhas secas foram pesadas e em seguida trituradas em moinho tipo Willey equipado com peneira de 1,27 mm. As amostras foram submetidas à digestão sulfúrica e quantificados os nutrientes N, P (Embrapa 2009). A concentração de prolina parte aérea foi extraída pelo método do ácido sulfossalicílico e determinada em espectrofotômetro, a 520 nm, de acordo com Baté s et al. (1973)

Para calcular a matéria seca da planta foram coletando folhas nos estádios finais da planta até a colheitas das vagens, depois foi coletada a totalidade da planta e foram desidratadas em estufa com circulação forçada de ar a 70 ºC, por 72 horas. Foi calculado numero de vagem por vaso e numero de grão por vagem, peso de 100 grãos e produção de grãos (g/vaso).

A eficiência do uso da água (EUAg) (kg ha^{-1} mm^{-1}) foi calculada relacionando a produção de grãos (PG) e a quantidade de água aplicada (QA), EUA_g= PG/QA (Geerts e Raes, 2009; Lacerda et al., 2009).

Para análises estatísticas inicialmente os dados foi submetidos à verificação da normalidade e homogeneidade das variâncias. Posteriormente os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e realizara-se análise de regressão. Foi utilizado o Software em planilha eletrônica SPEED Stat (Carvalho e Mendes, 2017) e adotada a significância de 5%.

RESULTADOS

A matéria seca da planta foi influenciada pela interação tripla dos fatores estudados (P, Regime hídrico e Polímeros). Com a maior dose de P o déficit hídrico reduziu a produção de matéria seca de 86,68 para 65,61. A adição da maior dose de polímero à maior dose do adubo fosfatado elevou a produção de matéria seca e tornou insignificante o efeito do déficit hídrico sobre o crescimento (Figura 2). Com a aplicação da menor dose de P o incremento de doses de polímero aumentou a produção de matéria seca, de forma independente da ocorrência do déficit hídrico a partir do florescimento. Sem indução da deficiência hídrica, a combinação da maior dose de polímero com a menor do adubo fosfatado resultou em produção de matéria seca 18,2% maior que a obtida das plantas adubadas com a maior dose de P e sem adição do polímero. Com deficiência hídrica o aumento das doses de polímero incrementou linearmente a produção de matéria seca e de forma mais acentuada quando a dose de P foi a maior.

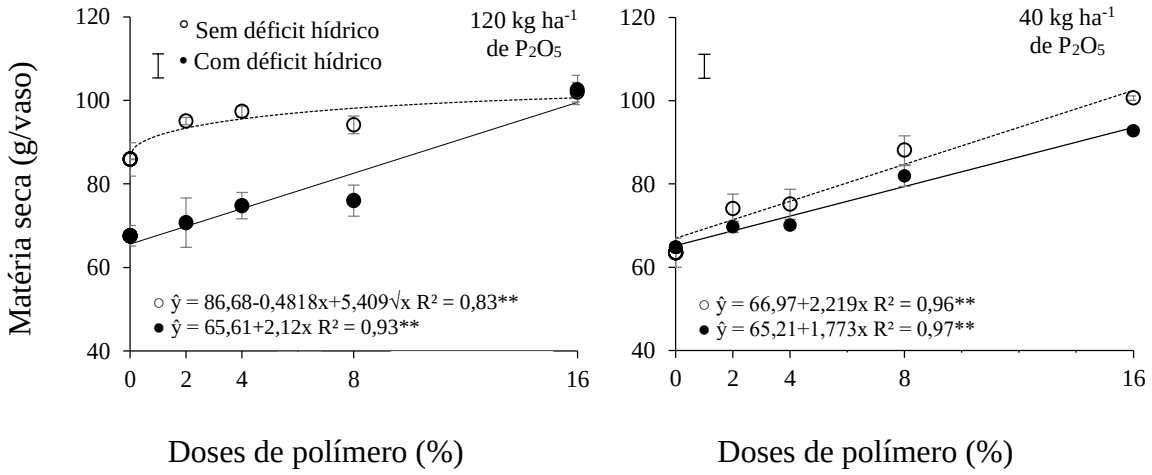

Figura 2. Matéria seca da planta (folhas + caule + vagens) em função de doses polímero e de doses de P com ou sem déficit hídrico a partir de início de florescimento do feijoeiro. UFV, Rio Paranaíba – MG (2020).

O déficit hídrico reduziu em 16,1 ou 15,5% o acúmulo de N quando o feijoeiro foi adubado com a maior ou menor dose de P, respectivamente (Figura 3). A adição de polímero ao adubo fosfatado incrementou o acúmulo de N de forma mais acentuada quando combinadas a maior dose de P e a indução da deficiência hídrica ou a menor dose de P sem ocorrência da deficiência hídrica.

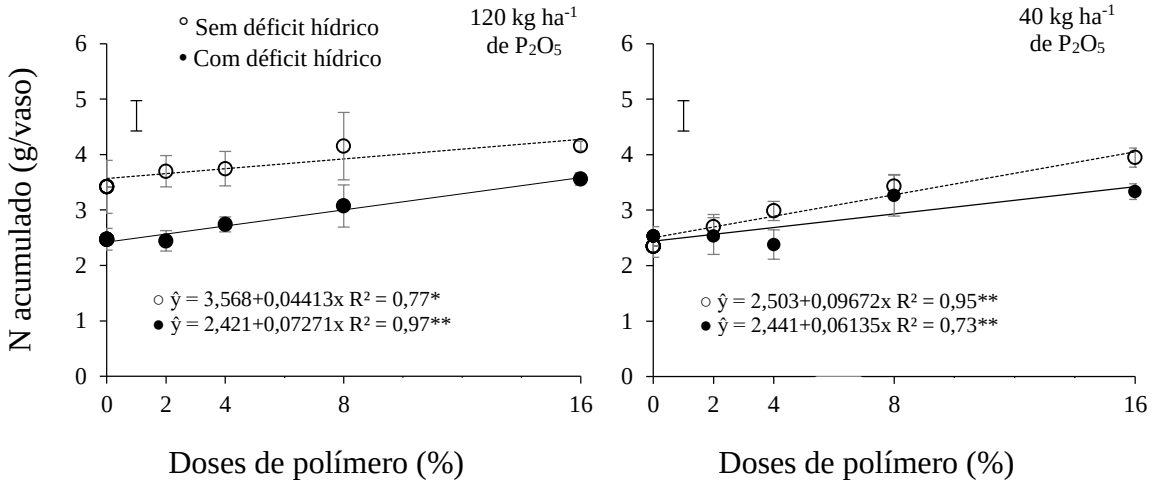

Figura 3. Nitrogênio (N) acumulado (folhas + caule) em função de doses polímero e de doses de P com ou sem déficit hídrico a partir de início de florescimento do feijoeiro. UFV, Rio Paranaíba – MG (2020).

Quando aplicada a dose de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 sem déficit hídrico o máximo acúmulo de P foi de 258,7 mg/vaso associado a adição de 8,65% de polímero ado adubo fosfatado. Plantas adubadas com a menor dose de P combinadas com a maior dose de

polímero superaram o acúmulo do nutriente das que receberam a maior dose de P sem adição de polímero na condição de déficit hídrico (Figura 4).

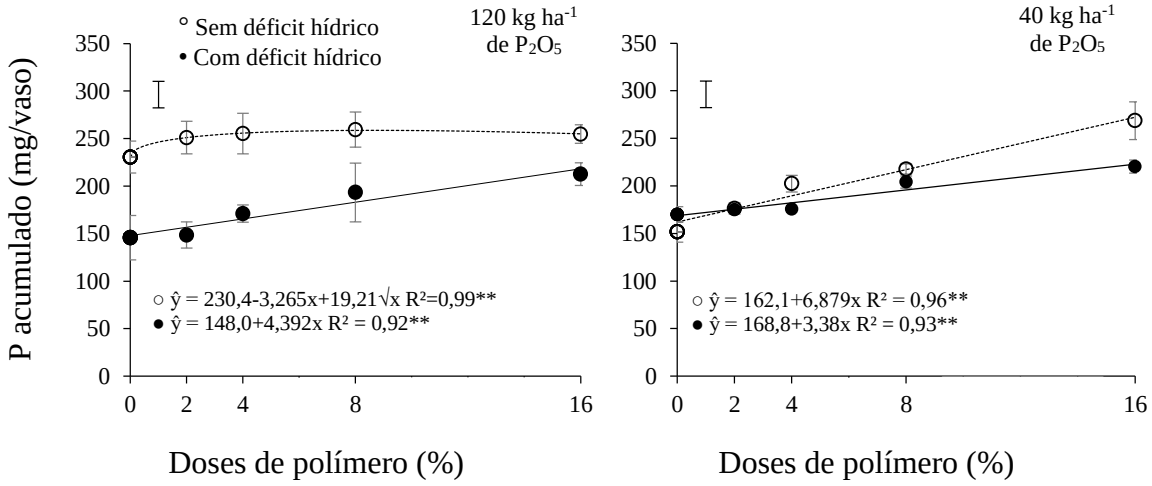

Figura 4. Fósforo (P) acumulado (folhas + caule) em função de doses polímero e de doses de P com ou sem déficit hídrico a partir de início de florescimento do feijoeiro. UFV, Rio Paranaíba – MG (2020).

Houve interação dos fatores doses de P e regime hídrico sobre o acúmulo de prolina (Figura 5). Com a maior dose de P sem deficiência hídrica a concentração de prolina foi máxima quando aplicado à dose de 5,43% de polímero. Com a maior dose de P e deficiência hídrica ou com a menor dose de P independentemente da deficiência hídrica, as doses de polímero não alteraram a concentração de prolina. O principal fator que alterou a concentração de prolina foi a dose de P (Figura 5).

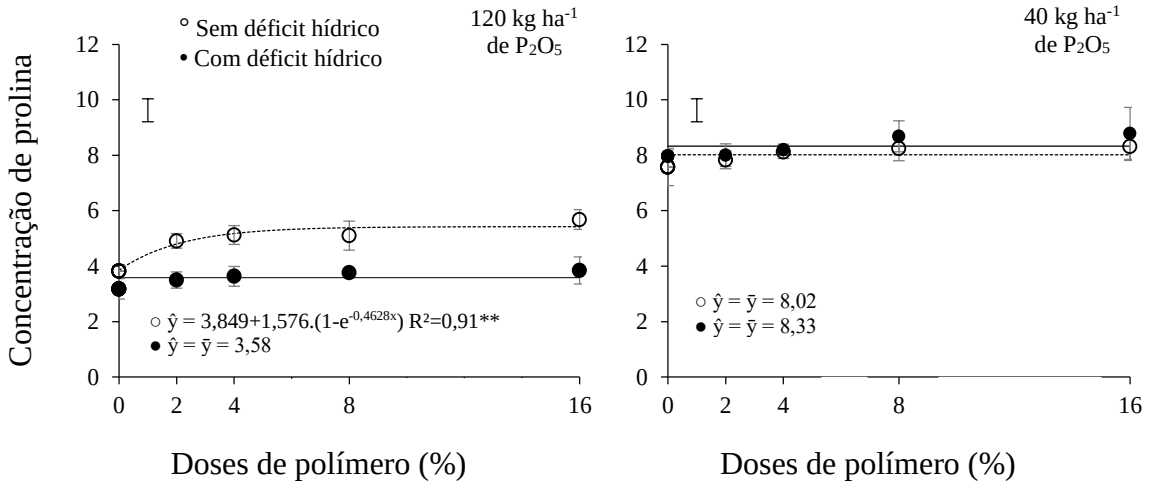

Figura 5. Concentração de prolina em folhas em função de doses polímero e de doses de P com ou sem déficit hídrico a partir de início de florescimento do feijoeiro. UFV, Rio Paranaíba – MG (2020).

Com déficit hídrico, na dose de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 sem polímero a taxa fotossintética diminuiu 92, 52 e 71% nos três ciclos de déficit hídrico. Com 4% de polímero misturado ao adubo à diminuição da taxa fotossintética foi de 98, 50 e 76% nos três ciclos de déficit hídrico. Com dose de 16% de polímero a taxa fotossintética diminuiu 86, 86 e 36% nos três ciclos de déficit hídrico, respetivamente. Na dose de 40 kg ha^{-1} de P_2O_5 sem polímero a taxa fotossintética diminuiu 92, 50 e 93% nos três ciclos de déficit hídrico. Com 4% de polímero misturado ao adubo à diminuição da taxa fotossintética foi de 98, 78 e 82% nos três ciclos de déficit hídrico. Com dose de 16% de polímero a taxa fotossintética diminuiu 92, 65 e 63% nos três ciclos de déficit hídrico, respetivamente (figura 6). As taxas fotossintéticas se mantiveram alto quando não sofreram déficit hídrico.

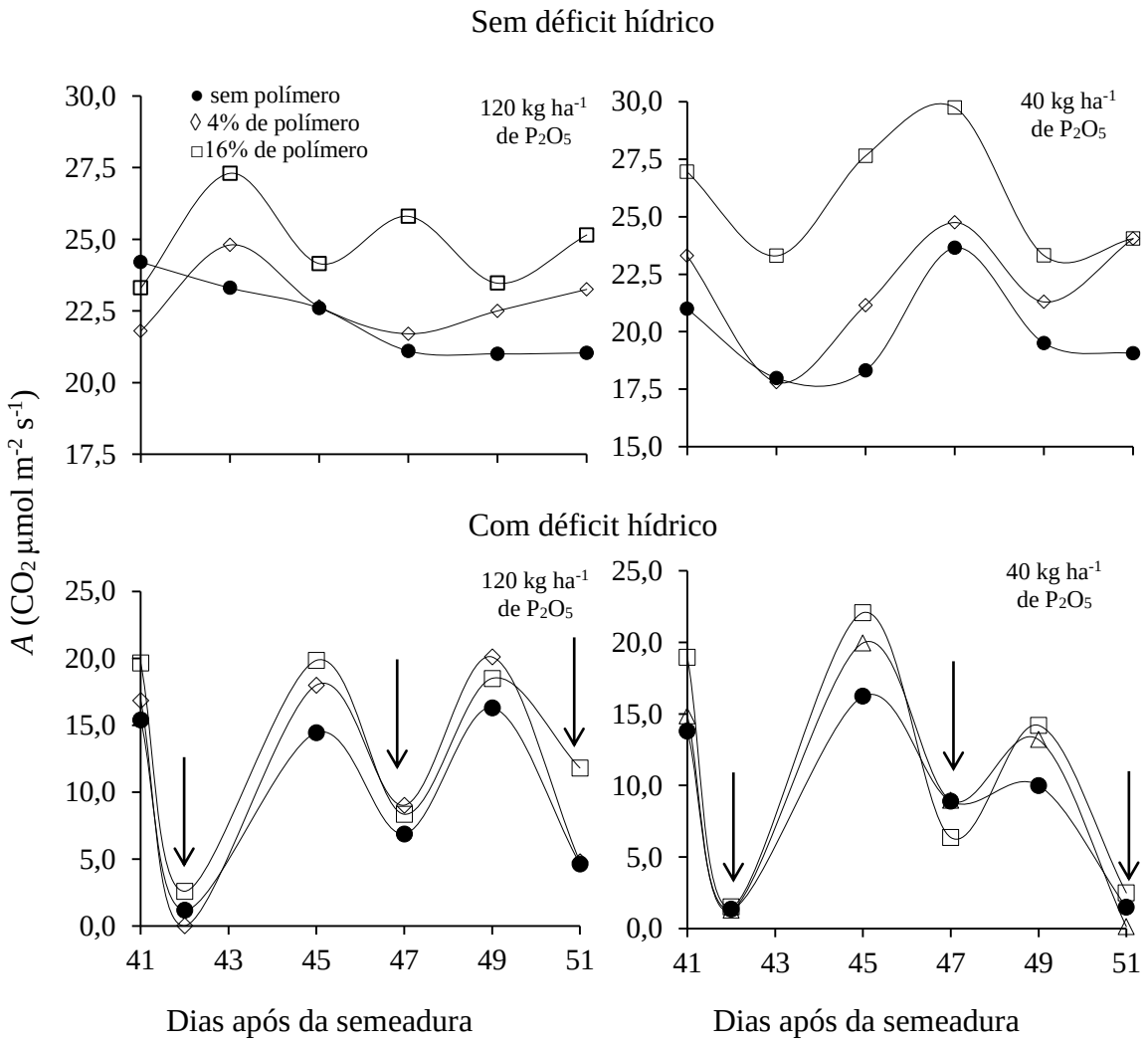

Figura 6. Taxa assimilatória líquida (*A*) em função de doses polímero e de doses de P com ou sem déficit hídrico a partir de início de florescimento do feijoeiro. UFV, Rio Paranaíba – MG (2020). ↓ Correspondem ao final de cada ciclo de déficit hídrico que foram submetidos os tratamentos e que após esses as plantas foram irrigadas para que a umidade atingisse a capacidade de campo.

Na dose de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 com déficit hídrico, sem polímero a condutância estomática diminuiu 90, 45 e 85% nos três ciclos de déficit hídrico. Com 4% de polímero misturado ao adubo à diminuição da taxa fotossintética foi de 91, 55 e 99% nos três ciclos de déficit hídrico. Com dose de 16% de polímero a taxa fotossintética diminuiu 92, 71 e 82% nos três ciclos de déficit hídrico, respetivamente. Na dose de 40 kg ha^{-1} de P_2O_5 sem polímero a taxa fotossintética diminuiu 88, 37 e 63% nos três ciclos de déficit hídrico. Com 4% de polímero misturado ao adubo à diminuição da taxa fotossintética foi de 90, 52 e 76% nos três ciclos de déficit hídrico. Com dose de 16% de polímero a taxa fotossintética diminuiu 88, 29 e 84% nos três ciclos de déficit hídrico, respetivamente (figura 7). A condutância estomática se manteve normal quando não sofreram déficit hídrico.

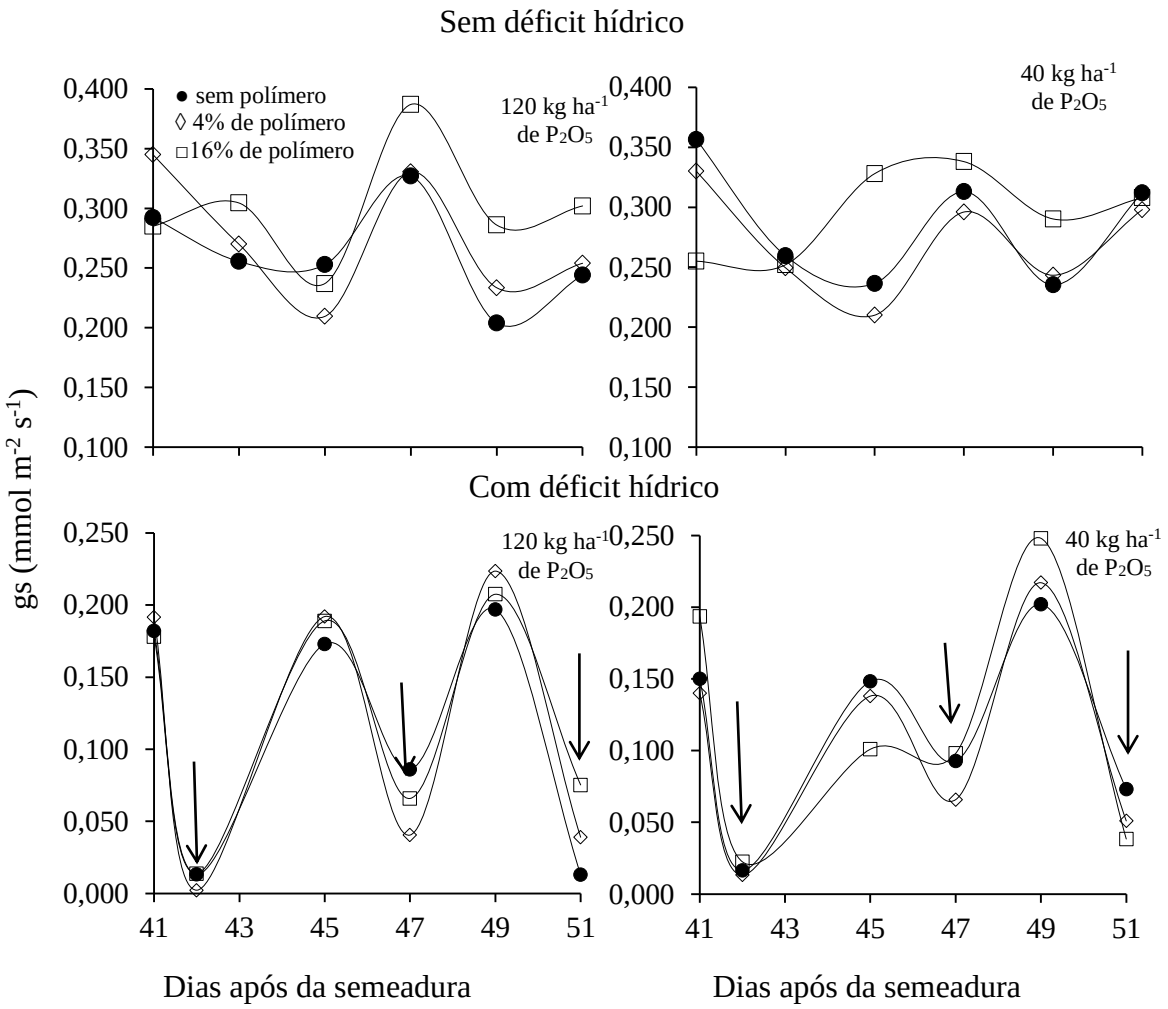

Figura 7. Condutância estomática (gs) em função de doses polímero e de doses de P com ou sem déficit hídrico a partir de início de florescimento do feijoeiro. UFV, Rio Paranaíba – MG (2020). ↓ Correspondem ao final de cada ciclo de déficit hídrico que foram submetidos os tratamentos e que após esses as plantas foram irrigadas para que a umidade atingisse a capacidade de campo.

O incremento das doses de polímero resultou no aumento do número de vagens para ambas as doses de P e condições hídricas no solo (Figura 8). Com a aplicação da maior dose sem deficiência hídrica, a adição de 15,4% da dose de polímero incrementou o número de vagens por planta em 38,4%. Na condição de déficit hídrico a dose de 13,5% incrementou o número de vagens por planta em 50,1% em relação ao tratamento sem polímero. Nas plantas submetidas a déficit hídrico e cultivadas com a maior dose de P na qual adicionou-se 13,5% de polímero o número estimado de vagens por planta foi de 5,74. Esse número supera as 5,25 vagens por planta obtidas nas plantas cultivadas com a maior dose de P sem adição do polímero e sem déficit hídrico.

Nas plantas cultivadas com a menor dose de P a adição do polímero resultou em ganho no número de vagens (Figura 8). A combinação da menor dose de P e 10,8% de polímero resultou em 6,08 vagens por planta, o que supera as vagens produzidas com a maior dose de P sem adição do polímero.

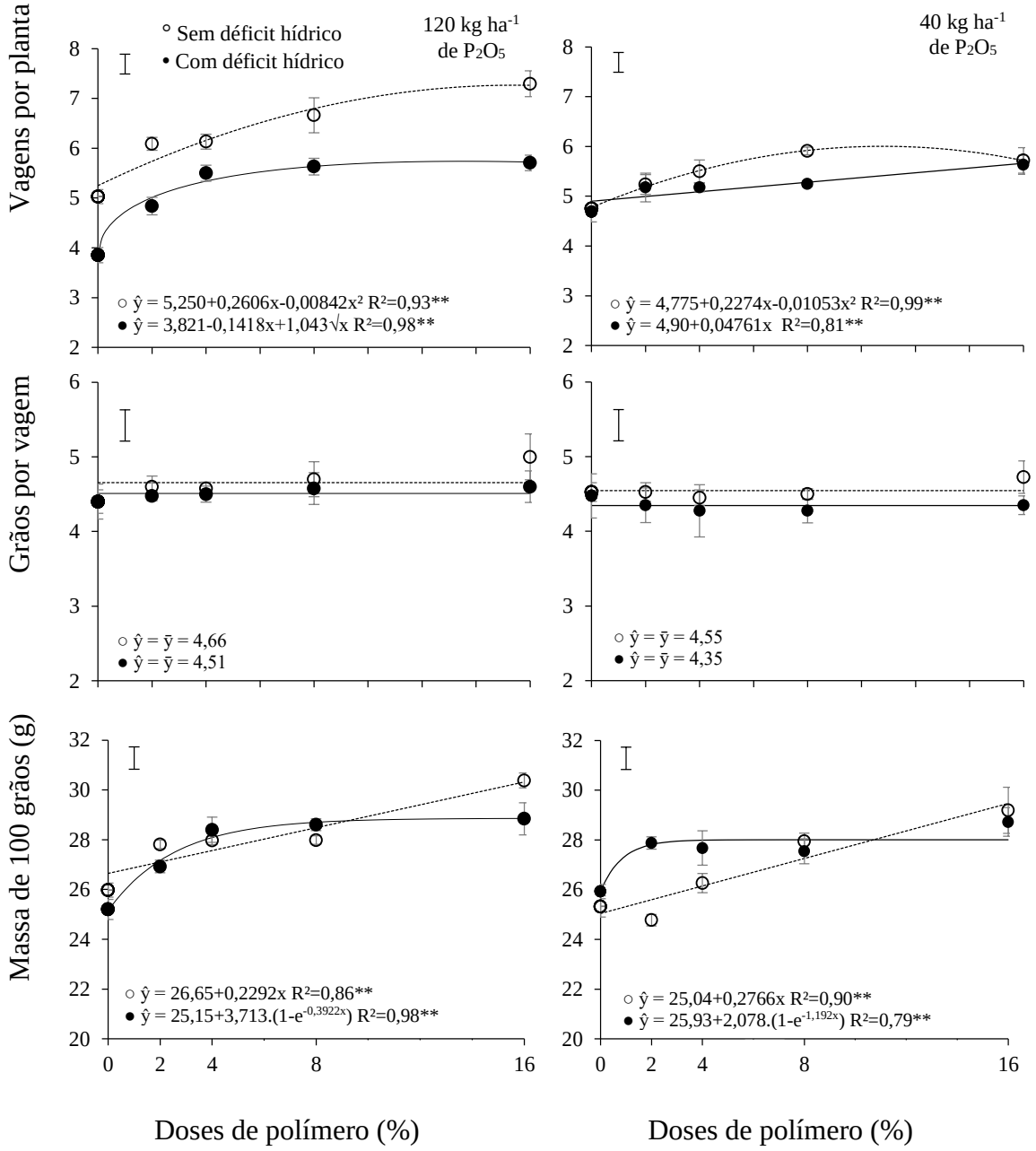

Figura 8. Componentes de produção (vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de cem grãos) em função de doses polímero e de doses de P com ou sem déficit hídrico a partir de início de florescimento do feijoeiro. UFV, Rio Paranaíba – MG (2020).

O número de grãos por vagem não foi influenciado pelos tratamentos (Figura 8). O número médio de grãos por vagem foi de 4,52.

Para ambas as doses de P, sem a indução da deficiência hídrica, houve incremento linear da massa de cem grãos em função das doses de polímero adicionadas ao adubo fosfatado (Figura 8). Com a indução da deficiência hídrica o incremento das doses de polímero aumentou a massa de cem grãos, mais de forma pouco expressiva a partir de 2 e 4% para a menor e maior dose de P, respectivamente.

A adição de polímero incrementou a produção de grãos para ambas as doses de P e condições hídricas no solo (Figura 9). Com a maior dose de P, sem indução da deficiência hídrica a produção atingiu 86,02 g/vaso. Essa produção foi incrementada em 43,9% quando aplicada a maior dose de polímero. Na condição de deficiência hídrica a produção alcançou 95,4 g/vaso e superou em 10,7% a produção do tratamento sem indução da deficiência hídrica e sem adição do polímero. Quando houve indução do déficit hídrico, a combinação das maiores doses de P e de polímero incrementou em 34,2% da produção em relação a não adição do polímero. As produções das plantas que receberam maior dose de P, sem déficit hídrico e sem polímero foram similares às que receberam a menor dose de P associada a maior dose do polímero na presença do déficit hídrico.

Com a aplicação da maior dose de P, o alcance de pelo menos 95% da máxima eficiência de uso da água na produção de grãos careceu de 5,9 e 4,9% de polímero para a condição sem e com indução de déficit hídrico no solo, respectivamente. Com a aplicação da menor dose de P a eficiência de uso da água foi linearmente incrementadas nas plantas submetidas à deficiência hídrica. Naquelas cultivadas sem deficiência hídrica, a partir de 4% de polímero adicionado ao fertilizante fosfatado, houve aumento da eficiência de uso da água na produção de grãos (Figura 9).

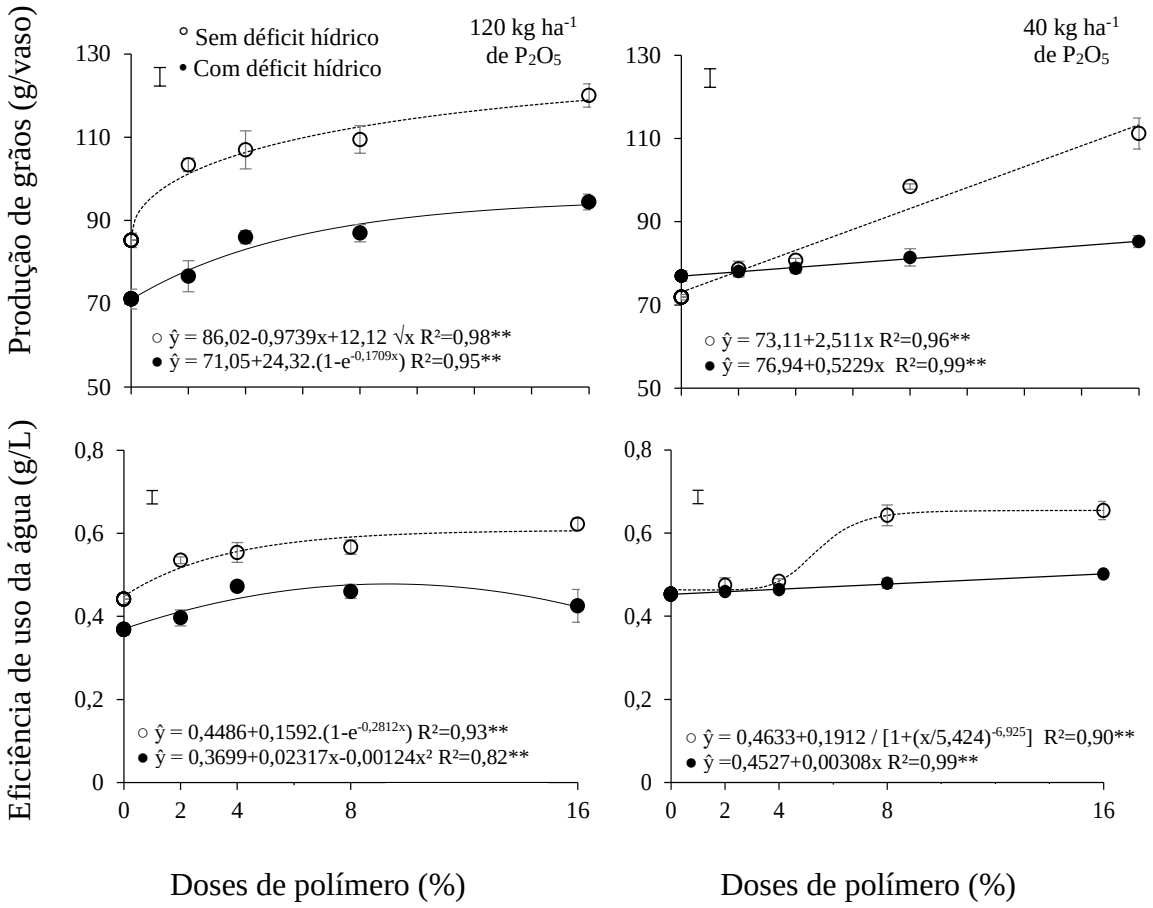

Figura 9. Produção e eficiência do uso da água em função de doses polímero e de doses de P com ou sem déficit hídrico a partir de início de florescimento do feijoeiro. UFV, Rio Paranaíba – MG (2020).

DISCUSSÃO

Houve aumento da matéria seca em resposta às doses de polímeros e nas doses de P sem déficit hídrico (figura 2). Em outra pesquisa polímeros superabsorventes aumentaram de 18 a 28% da matéria seca da parte aérea do feijão e reduziram o efeito da salinidade do solo. Isso ocorreu porque o polímero absorve considerável massa de água que é disponibilizada por um período relativamente longo (Kant et al. 2008). O desempenho maior do crescimento das plantas sob déficit hídrico em solos que recebeu aplicação de polímero superabsorvente pode ser explicado pela capacidade do polímero absorver e liberar lentamente água e nutrientes nos períodos em que a disponibilidade hídrica é limitante (Kargar et al. 2017). O feijoeiro geralmente responde à adubação com P, mas quando é submetida ao déficit hídrico a resposta é baixa ou mesmo nula (Oliveira et al. 2011).

O conteúdo do nitrogênio aumentou 16 e 15% em respostas a doses de polímero sem déficit hídrico e com doses de P, respetivamente (figura 4). De forma similar, o conteúdo de nitrogênio foi incrementado em até 40% devido à adição de polímero superabsorvente por manter maior umidade do solo próximo às raízes de feijão (Kant et al. 2008). Plantas de feijão submetidas ao déficit hídrico apresentaram menor acúmulo de N devido a falta de umidade no solo, que influencia nos processos de fluxo de massa e difusão e na disponibilidade de nitratos no fluxo do xilema (Polania et al., 2016).

Os acúmulos de P foram aumentados em 15 e 18% em respostas a doses de polímero sem déficit hídrico e com maior dose de P, respetivamente (figura 4), Pesquisadores mencionaram que o acúmulo de P na planta tem relação na produtividade dependendo das condições ambientais, especialmente umidade do solo (Silva et al. 2010). Doses crescentes de P em solos promove aumento dos componentes relacionados ao crescimento do feijoeiro, além disso, favorece na formação nódulos radiculares, uma vez que o N não seja aplicado na semeadura (Silva et al. 2010, Santos et al. 2011).

A concentração de prolina foi maior quando aplicada a menor dose de P com e sem déficit hídrico (figura 5). Pesquisa similar menciona que o aumento da concentração de prolina nas plantas de trigo submetidas a déficit hídrico pode ser atribuído ao aumento das atividades das enzimas envolvidas na síntese deste aminoácido (Fumis, & Pedras, 2002). A diminuição do potencial hídrico da folha aumentou os níveis de prolina devida o mesmo ter função de ajustar em plantas com déficit hídrico (Maia et al., 2007). A concentração de prolina aumenta o potencial osmótico celular para manter um ambiente intracelular estável e protegido em plantas contra danos oxidativos sob tratamento osmótico. Para sua degradação é importada para as mitocôndrias, onde é convertida novamente em glutamato pela prolina desidrogenasse e pirrolina-5-carboxilato desidrogenasse (Kishor et al., 2005). Quando a planta sofre de estresses abióticos o acúmulo de prolina é diferente em diferentes órgãos da planta. Essa diferença resulta não apenas do aumento da síntese e diminuição da degradação, mas também do transporte que é mediado por um transportador de prolina (ProT) (Chen et al., 2016). Teores de prolinas livre na parte aérea foram reduzidos 46% em genótipos de sorgo submetidos a estresse salino com doses de P e S (Ruppenthal, 2016). Os nutrientes minerais minimizam os efeitos negativos das condições de estresse por meio do envolvimento em várias atividades metabólicas e desempenham papel na modulação dos componentes de várias vias de sinalização (Per et al., 2017). No entanto, poucos relatórios estão disponíveis sobre a relação de P com a concentração de prolina

em plantas. Estudos confirmaram o papel do P na indução de tolerância ao estresse hídrico em diferentes espécies de plantas (Ajum e Lopez, 2011). Pesquisadores mencionam que possivelmente a suplementação de P induz ajuste osmótico, melhorando a tolerância à seca em relação às plantas com baixo teor de fósforo, esse ajuste osmótico induzido ajuda a manter a pressão do turgor, o volume de protoplastos e resulta em crescimento expansivo, como a expansão das folhas sob estresse hídrico (Salina et al., 2013).

Com a adição de polímero ao fertilizante fosfatado a taxa fotossintética das plantas foi menos afetados em comparação aos tratamentos sem polímero. Sem déficit hídrico com 16% de polimero e com maior dose de P as plantas não sofreram alterações na taxa assimilatória liquida (figura 6). De forma similar plantas de soja submetidas ao déficit diminuíram em 50% a taxa fotossintética. Após serem irrigadas novamente, a taxa fotossintética aumentou em 27% (Catuchi et al., 2012). O déficit hídrico leva a redução da transpiração, interrupção da translocação de água das raízes para as brotações, redução de pigmentos fotossintéticos e redução dos produtos fotossintéticos (Ahmadpour et al., 2016).

Os polímeros mantiveram o solo úmido e não afetaram a condutância estomáticas das plantas. Quando submetidas ao déficit hídrico, a condutância estomática foi reduzida em 92 e 88% para a menor e maior dose de P, respectivamente (figura 7). Resultado similar foi observado aos 12 e 18 dias na cultura de milho após da ocorrência ao de déficit hídrico. A condutância estomática aumentou 20,1% com aplicação de polímero superabsorvente por acima da testemunha sem polímero superabsorvente. Isso explica que, sob déficit hídrico no solo, o polímero superabsorvente pode diminuir a taxa de transpiração, mantendo uma fotossíntese e a condutância estomática mais alta e melhorando a eficiência instantânea no uso da água nas folhas (Yang et al., 2017). A redução da condutância estomática observada nas plantas submetidas ao déficit hídrico é uma estratégia para redução do consumo hídrico e manutenção do status hídrico foliar. Em variedades de feijão houve redução da condutância estomática por efeito do déficit hídrico evidenciando que o mesmo pode ser utilizado como indicador da deficiência de água na planta e solo (Oliveira et al,. 2005).

Sem déficit hídrico a combinação da menor dose de P com 9% de polímero ou da maior dose de P com 5,4% de polímero resultaram em aumento de 21 e 0,6% no número de vagens, respectivamente (figura 8). Resultado similar foi observado em plantas de feijão submetidas a déficit hídrico e com adição de polímeros

superabsorvente que aumentaram 38% em número de vagem por planta (Lopez, 2016). Maior lamina de irrigação aplicada no feijoeiro resultaram em incremento no número de vagem por planta de 36% (Silva et al 2017). Na floração e formação de vagens é importante que não falte água para evitar possíveis abortos e garante maior número de vagens por planta. Comumente o número de vagens por planta é componente de rendimento mais sensível ao estado hídrico do feijoeiro comum (Guimarães et al. 2011).

Grãos por vagem é uma caraterística de alta herdabilidade genética e é pouco influenciado pelas mudanças ambientais (Lopes et al. 2017). As variações ambientais geralmente influência mais o número de vagens formadas do que pelo numero de grãos por vagem. Em ocasiões em que ocorre o déficit hídrico o número de grãos por vagens pode ser reduzido para 3,5 a 4,5 grãos por vagem (Stone e Moreira, 2001), similar ao encontrado neste trabalho de pesquisa.

Houve discreto aumento do peso de cem grãos em resposta a doses de polímero sem déficit hídrico e com maior dose de P. Na maior dose de P, o peso de cem grãos foi de 30,32 gramas (figura 8). Pesquisadores observaram em cultivares de feijão aumento do peso de cem grãos devido a características genéticas das cultivares e não da aplicação de P (Oliveira et al. 2014). Variedades de feijão dos grupos comerciais carioca e preto apresentaram peso de cem grãos de 27,16 a 38,77 gramas (Salgado et al., 2011), próximos ao obtido para a variedade ANFC do grupo carioca.

Houve incremento na produção de grãos em função de doses de P e de polímero. As doses de P apresentaram efeito mais expressivo sem ocorrência do déficit hídrico e as doses de P com efeito mais importante quando as plantas foram submetidas ao déficit hídrico (figura 9). De forma similar observou-se uma redução de 25 a 50% da produtividade de milho e amendoim devido ao déficit hídrico. Nessas culturas a adição de polímero superabsorvente incrementou a produtividade em condições normais de umidade no solo e também de déficit hídrico (Kenawy et al. 2018). Em soja o uso de polímero também foi opção para reduzir o dano causado pelo déficit hídrico sobre a produção (Lopez, 2016). Polímeros que retém água no solo é uma alternativa, atuando como reguladores da disponibilidade de água para as culturas, promovendo o aumento da produtividade local e reduzindo os custos de produção (Mendonça et al. 2013).

Com a maior doses de P e a combinação de 6 e 5% de polímero a EUA foi de 0,607 e 0,478g/L sem e com déficit hídrico, respetivamente.Com a menor doses de P e a combinação de 7 e 16% de polímero a EUA foi de 0,654 e 0,501 g/L sem e com déficit hídrico, respetivamente (figura 9). Pesquisadores mencionaram que para cultura do

feijoeiro foi estabelecida o valor da eficiência de uso da água na ordem de 0,3 a 0,6 g L^{-1} quando utilizado de 300 a 500 mm no ciclo da cultura (Doorenbos e Kassam 1979). Resultados de pesquisa mostram aumento de 25,3% da EUA em condições de déficit hídrico na cultura de milho (Yang et al., 2017). O uso eficiente de água pode ser melhorado com a aplicação de polímeros superabsorventes devido na capacidade de reter água e liberá-lo lentamente. Doses de 4% de polímero superabsorvente bastaram para aumentar a eficiência do uso de água da grama *Agrostis stolonifera* (Agaba et al. 2011).

CONCLUSÃO

A adição de 8% de polímero combinadas com a maior dose de P ou de 16% combinada com a menor dose de P resultou em maior crescimento, produção e eficiência de uso da água. O benefício do polímero superabsorvente ocorreu tanto para condição sem como na condição de déficit de agua no solo.

Pesquisas futuras devem investigar maiores doses de polímero adicionadas ao adubo fosfatado como estratégia para aumento da eficiência do uso da água e redução das doses de fósforo necessárias para otimizar a produtividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmadpour, R., hosseinzadeh, S. R., & armand, N. (2016). Evaluation of methanol role in reducing the negative effects of waté r deficit stress in lentil (Lens culinaris Medik.).

Anjum, N. A., & Lopez-Lauri, F. (2011). Plant Nutrition and Abiotic Stress Tolerance III. Ikenobe.

Aquino, L. A., Berger, P. G., Oliveira, R. A., Neves, J. C., Lima, T. C., & Batista, C. H. (2011). Parcelamento do fertilizante fosfatado no algodoeiro em sistema de cultivo irrigado e de sequeiro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 15(5), 463-470.

Ashraf, M. F. M. R., & Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and experimental botany,59(2), 206-216.

Agaba, H., Orikiriza, L. J., Obua, J., Kabasa, J. D., Worbes, M., & Hüttermann, A. (2011). Hydrogel amendment to sandy soil reduces irrigation frequency and improves the biomass of Agrostis stolonifera. Agricultural Sciences, 2(04), 544.

Baté s, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for waté r-stress studies. Plant and soil, 39(1), 205-207.

Chen, & Huang, Mao, x., Liao, z., & he, z. (2017). A Comparative Study of the Cellular Microscopic Characteristics and Mechanisms of Maize Seedling Damage from Superabsorbent Polymers. Pedosphere, 27(2), 274–282.

Costa, D. D. D. A. (2019). Fracionamento do fósforo no solo em função dos sistemas de manejo.

Chen, J., Wu, J., Lu, Y., Cao, Y., Zeng, H., Zhang, Z., & Wang, S. (2016). Clonagem molecular e caracterização de um gene que codifica a proteína transportadora de prolina no feijão (Phaseolus vulgaris L.). The Crop Journal , 4 (5), 384-390

Catuchi, T. A., Guidorizzi, F. V. C., Guidorizi, K. A., Barbosa, A. D. M., & Souza, G. M. (2012). Respostas fisiológicas de cultivares de soja à adubação potássica sob diferentes regimes hídricos. *Pesquisa agropecuária brasileira*, *47*(4), 519-527.

Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Manual de métodos de análise de solo. 2. Ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. (Documento 1).

Ennahli, S., & Earl, HJ (2005). Limitações fisiológicas à assimilação de carbono fotossintético no algodão sob estresse hídrico. Crop Science, 45 (6), 2374-2382.

Fioreze, S. L., Pivetta, L. G., Fano, A., Machado, F. R., & Guimarães, V. F. (2011). Comportamento de genótipos de soja submetidos a déficit hídrico intenso em casa de vegetação. Revista Ceres, 58(3), 342-349.

Food And Agriculture Organization Of The United Nations (FAO). Tecnologías para el uso sostenible del água. Tegucigalpa, Honduras, 2013.

Fumis, T. D. F., & Pedras, J. F. (2002). Variação nos níveis de prolina, diamina e poliaminas em cultivares de trigo submetidas a déficits hídricos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 37(4), 449-453.

Geerts, S., & Raes, D. (2009). Deficit irrigation as an on-farm straté gy to maximize crop waté r productivity in dry areas. Agricultural waté r management, 96(9), 1275-1284.

Gonçalves, J. G.; Alisson Fernando Chiorato, A. F.; Da Silva, D. A.; Fátima Esteves, J. A.; Bosetti, F.; Carbonell, S. A. Análise da capacidade combinatória em feijoeiro comum submetido ao déficit hídrico. Artigo, Bragantia, Campinas, v. 74, n. 2, p.149-155, 2015.

Guimarães, C. M., Stone, L. F., Del Peloso, M. J, & Oliveira, J. P. D (2011). Genótipos de feijoeiro comum sob deficiência hídrica. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 15(7), 649-656.

Kant, C., Aydin, A., & Turan, M. (2008). Ameliorative effect of hydro gel substraté on growth, inorganic ions, proline, and nitraté contents of bean under salinity stress. Journal of plant nutrition, 31(8), 1420-1439.

Kishor, P. K., Sangam, S., Amrutha, R. N., Laxmi, P. S., Naidu, K. R., Rao, K. S., ... & Sreenivasulu, N. (2005). Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. Current science, 424-438.

Kargar, M., Suresh, R., Legrand, M., Jutras, P., Clark, O. G., & Prasher, S. O. (2017). Reduction in waté r stress for tree saplings using hydrogels in soil. Journal of Geoscience and Environment Protection, 5(01), 27

Kenawy, E.-R., Saad-Allah, K., & Hosny, A. (2018). Mitigation of drought stress on three summer crop species using the superabsorbent composite Gelatin-g-p (AA-co-AM)/RH. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1–15.

Lacerda, C. F. D., Neves, A. L., Guimarães, F. V., da Silva, F. L., Prisco, J. T., & Gheyi, H. R. (2009). Eficiência de utilização de água e nutrientes em plantas de feijão-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. Engenharia Agrícola, 29(2), 221-230.

Lawn, R. J., & Likoswe, A. A. (2008). Genotypic differences in leaf area maintenance contribute to differences in recovery from waté r stress in soybean. Australian Journal of Agricultural Research, 59(12), 1075-1085.

Lizana, C.; Wentworth, M.; Martínez, J. P.; Villegas, D;, Meneses, R.; Murchie, E. H.; Pastenes, C.; Lercari, B.; Vernieri, P.; Horton, P.; Pinto, M. Adaptación diferencial de dos variedades de frijol común al estrés abiótico. Efectos de la sequía sobre el rendimiento y la fotosíntesis. 2006; 57 (3): 685-97. Epub 2006

Lopes, M. B. S. (2016). Hidrogéis como alternativa no aumento da capacidade de retenção de água no solo para cultura da soja e do feijão caupi.

Locaté lli, V. D. E., Medeiros, R. D. D., Smiderle, O. J., de Albuquerque, J. D. A., Araújo, W. F., & de Souza, K. T. (2014). Componentes de produção, produtividade e eficiência da irrigação do feijão-caupi no cerrado de Roraima. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 18(6), 574-580.

Lopes, M. B; Tavares, T. C; Veloso, D. A; Silva, N. C; Fidelis, R. R. Cowpea bean production under waté r stress using hydrogels. Pesq. Agropec. Trop., Goiânia, v. 47, n. 1, p. 87-92, Jan./Mar. 2017.

Machado E. C.; Schmidt P.T.; Medina C. L.; Ribeiro R.V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, v. 40, n. 12, p. 1161- 1170 2005.

Manabe, P. M.; Matos, C.; Ferreira, E.; Silva, A. B.; Manabe, T. S.; Silva, A. F.; Rocha, P. R.; Galon, L. Características fisiológicas de feijoeiro em competição com plantas daninhas Biosci. J. Uberlândia, v. 30, n. 6, p. 1721-1728, nov./dec. 2014.

Mendonça, T. G., Urbano, V. R., Peres, J. G., & Souza, C. F. (2013). Hidrogel como alternativa no aumento da capacidade de armazenamento de água no solo. Waté r Resources and Irrigation Management-WRIM, 2(2), 87-92.

Meurer, E. J.; Rhenheimer, D.; Bissani, C. A. Fenômeno De Sorção Em Solos. In: Meurer, J. E. (Ed.). Fundamentos de química do solo. 2. ed. Porto Alegre: Gênesis, 2004. p. 131–179.

Morais, W. A; Soares, F. A; Cunha, F. N; Vidal, V. M; Silva, N.F; Teixeira, M. B. Reposição hídrica e adubação com NPK no crescimento e produção do feijoeiro. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.10, n. 2, p. 496 - 506, 2016.

Novais, R. F.; Smyth, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: UFV/DPS, 1999. 399 p.

Oliveira, G. A., Araújo, W. F., Cruz, P. L. S., Silva, W. L. M. D., & Ferreira, G. B. (2011). Resposta do feijão-caupi as lâminas de irrigação e as doses de fósforo no cerrado de Roraima. Revista Ciência Agronômica, 42(4), 872-882.

Oliveira, A. D. D., Fernandes, E. J., & Rodrigues, T. D. J. (2005). Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. Engenharia Agrícola, 25(1), 86-95.

Oliveira, T. C., Silva, J., dos Santos, M. M., Cancellier, E. L., & Fidelis, R. R. (2014). Desempenho agronômico de cultivares de feijão em função da adubação fosfatada no sul do estado do Tocantins. Revista Caatinga, 27(1), 50-59.

Peixoto, P. H. P.; Cambraia, J.; Sant'ana, R.; Mosquim, P. R.; Moreira, M. A. Aluminum effects on lipid peroxidation ando n the activities of enzymes of oxidative metabolism in sorghum. Rev Bras Fisiol Veg. v.11, p.137-143, 1999.

Pedreira, A. C., Maia, P. S. P., de Oliveira Neto, C. F., da Silva Castro, D., de Freitas, J. M. N., da Silva Lobato, A. K., & da Costa, R. C. L. (2007). Conteúdo relativo de água, teor de prolina e carboidratos solúveis totais em folhas de duas cultivares de milho submetido ao estresse hídrico. Revista Brasileira de Biociências, 5(S2), 918-920.

Polania, J., Poschenrieder, C., Rao, I., & Beebe, S. (2016). Estimation of phenotypic variability in symbiotic nitrogen fixation ability of common bean under drought stress using 15N natural abundance in grain. European Journal of Agronomy, 79, 66-73.

Procópio, S.O; Santos, J.B; Pires, F.R; Silva, A.A; Mendonça, S.E. Absorção e utilização do fósforo pelas culturas da soja e do feijão e por plantas daninhas. R. Bras. Ci. Solo, 29:911-921, 2005.

Per, T. S., Khan, N. A., Reddy, P. S., Masood, A., Hasanuzzaman, M., Khan, M. I. R., & Anjum, N. A. (2017). Approaches in modulating proline metabolism in plants for salt and drought stress tolerance: Phytohormones, mineral nutrients and transgenics. Plant Physiology and Biochemistry, 115, 126–140.

Ribeiro, A. C. (1999). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais.

Romero, A.P; Laguna, R.R; García, F.P; Rangel, M; Zaraté, R.R; Flores, M.H. Hidrogel como mitigador de estrese hídrico. Revista Iberoamericana de Ciencias. Vol. 3 No. 5 2016.

Santos, J. Z. L., Furtini Neto, A. E. Resende, Á. V. D., Carneiro, L. F., Curi, N., & Moretti, B. D. S. (2011). Resposta do feijoeiro à adubação fosfatada em solos de cerrado com diferentes históricos de uso. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 35(1), 193-202.

Salgado, F. H. M., Fidelis, R. R., de Carvalho, G. L., dos Santos, G. R., Cancellier, E. L., & Silva, G. F. (2011). Comportamento de genótipos de feijão, no período da entressafra, no sul do estado de Tocantins. Bioscience Journal, 27(1).

Silva, D. M. R., dos Santos, J. C. C., Costa, R. N., Oliveira, A., Rocha, A. N. D. S. L., Santos, S. A., & dos Santos Silva, L. K (2017). Resposta do feijoeiro a lâminas de água aplicada em relação à evapotranspiração da cultura.

Silva, A. J. D., Uchôa, S. C. P., Alves, J. M. A., Lima, A. C. S., Santos, C. S. V. D., Oliveira, J. M. F. D., & Melo, V. F. (2010). Resposta do feijão-caupi às doses e formas de aplicação de fósforo em Latossolo Amarelo do Estado de Roraima. Acta Amazônica, 40(1), 31-36.

Silva, E. F. L., de Araújo, A. S. F., dos Santos, V. B., Nunes, L. A. P. L., & Carneiro, R. F. V. (2010). Fixação biológica do N2 em feijão-caupi sob diferentes doses e fontes de fósforo solúvel. Bioscience Journal, 26(3).

Salinas, R., Sánchez, E., Ruíz, J. M., Lao, M. T., & Romero, L. (2013). Phosphorus levels influence plasma membrane H^+-ATPase activity and K^+, Ca^{2+}, and Mg^{2+} assimilation in green bean. Communications in soil science and plant analysis, 44(1-4), 456-464.

Silva, E.V; Resende, J.C; Cintra, W.B. Resposta do feijoeiro a doses de fósforo em solo arenoso. Ciência Rural, Santa Maria, v.31, n.6, p.973-977, 2001.

Stone, L. F., & Moreira, J. A. A. (2001). Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 36(3), 473-481.

Tundisi, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. Estud. av. vol.22 no. 63 São Paulo 2008.

Yang, W., Li, P., Guo, S., Fan, B., Song, R., Zhang, J., & Yu, J. (2017). Compensating effect of fulvic acid and super-absorbent polymer on leaf gas exchange and water use efficiency of maize under moderate water deficit conditions. Plant Growth Regulation, 83(3), 351–360.