

DALCIONEI PAZZIN

**PRODUÇÃO E QUALIDADE DE SEMENTES DE SOJA EM FUNÇÃO DO
TEOR DE FÓSFORO NA SEMENTE E DA ADUBAÇÃO FOSFATADA**

VIÇOSA
MINAS GERAIS-BRASIL
2015

DALCIONEI PAZZIN

**PRODUÇÃO E QUALIDADE DE SEMENTES DE SOJA EM FUNÇÃO DO
TEOR DE FÓSFORO NA SEMENTE E DA ADUBAÇÃO FOSFATADA**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS-BRASIL
2015

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

T

P348p
2015 Pazzin, Dalcionei, 1987-
Produção e qualidade de sementes de soja em função do
teor de fósforo na semente e da adubação fosfatada / Dalcionei
Pazzin. – Viçosa, MG, 2015.
v, 37f. : il. ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Denise Cunha Fernandes dos Santos Dias.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 28-34.

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

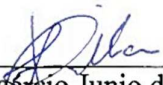
CDD 22. ed. 633.34

DALCIONEI PAZZIN

**PRODUÇÃO E QUALIDADE DE SEMENTES DE SOJA EM FUNÇÃO DO
TEOR DE FÓSFORO NA SEMENTE E DA ADUBAÇÃO FOSFATADA**

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

APROVADA: 16 de julho de 2015.



Laércio Junio da Silva
(Coorientador)




Roberto Fontes Araújo



Marcelo Coelho Sekita



Luiz Antônio dos Santos Dias



Denise Cunha Fernandes dos Santos Dias
(Orientadora)

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, especialmente ao Departamento de Fitotecnia.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela concessão da bolsa de estudos.

À professora Denise C. F. S. Dias pela dedicada orientação, conselhos e ensinamentos.

À minha família pela estrutura necessária para superar os momentos difíceis e por estarem presentes nos bons momentos, principalmente à minha mãe Leonir.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia pelos ensinamentos durante o curso.

Aos amigos do Laboratório de Rotina de Sementes pelo companheirismo e conhecimentos compartilhados.

Aos amigos do curso de Pós-Graduação e aos estagiários, com os quais tive o prazer de conviver, além da ajuda na realização dos trabalhos.

À Pamela por estar no meu lado me dando apoio e motivação em todos os momentos.

SUMÁRIO

RESUMO	iv
ABSTRACT	v
INTRODUÇÃO	1
Importância do fósforo	3
Acúmulo de fósforo nas sementes	5
Disponibilidade de fósforo na semente	6
MATERIAL E MÉTODOS	9
RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
CONCLUSÕES	27
REFERÊNCIAS	28
ANEXOS	35

RESUMO

PAZZIN, Dalcionei, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2015. **Produção e qualidade de sementes de soja em função do teor de fósforo na semente e da adubação fosfatada.** Orientadora: Denise Cunha Fernandes dos Santos Dias. Coorientador: Laércio Junio da Silva.

A disponibilidade de nutrientes para a planta influi na formação do embrião e dos órgãos de reserva, na composição química, além de afetar a qualidade e a produtividade de sementes. Sementes com elevados teores de fósforo podem produzir plantas mais vigorosas, principalmente em condições de deficiência no solo. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito do teor de fósforo nas sementes e no solo no desenvolvimento das plantas, na produção e na qualidade de sementes de diferentes cultivares de soja. O trabalho foi conduzido em vasos dentro de casa de vegetação com cinco cultivares de soja (TMG 132, TMG 1176, M 7908, Valiosa e Candeia), sendo que as sementes utilizadas no experimento foram produzidas de modo a apresentarem teores de fósforo em torno de 0,22 – 0,26 % (Baixo) e 0,46 – 0,49 % (Alto). No solo foram utilizadas três doses de fósforo: 50, 100 e 200 mg dm⁻³. O delineamento foi em blocos completos casualizados, com cinco repetições, segundo esquema fatorial 2x3x5, sendo 2 teores de fósforo na semente, 3 doses de fósforo no solo e 5 cultivares, totalizando 150 unidades experimentais. As avaliações realizadas foram: altura de plantas, duração do período vegetativo, matéria seca da haste, ramificação das plantas. Após a colheita, foi determinado o número de sementes por planta, peso de mil sementes, produção de sementes por planta, teor de fósforo nas sementes, germinação, comprimento e matéria seca de plântulas e emergência. Sementes com alto teor de fósforo originaram plantas com maior número de ramificações e número de sementes. Em solos com baixa disponibilidade de fósforo, plantas obtidas de sementes com maior teor deste nutriente apresentaram maior produção. A emergência de plântulas das cultivares M 7908, TMG 132 e Valiosa foi menor quando as plantas genitoras foram cultivadas em solo com baixa disponibilidade de fósforo. Plantas da cultivar TMG 1176 originadas de sementes com alto teor de fósforo produziram sementes com maior emergência de plântulas.

ABSTRACT

PAZZIN, Dalcionei, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2015. **Yield and quality of soybean seeds due to seed phosphorus content and phosphorus fertilization.** Adviser: Denise Cunha Fernandes dos Santos Dias. Co-adviser: Laércio Junio da Silva

The availability of nutrients to the plant influences the formation of the embryo and store tissues, chemical composition, and quality and productivity of seeds. Seeds with high phosphorus content can produce more vigorous plants, especially in soil with deficiency conditions. The objective of this study was to evaluate the effect of phosphorus in seeds and soil, in plant development, production and quality of seeds of different soybean cultivars. The work was conducted in pots in a greenhouse with five soybean cultivars (TMG 132, TMG 1176, M 7908, Valiosa and Candeia). The seeds used in the experiment were produced in order to submit phosphorus around 0.22 to 0.26% (Low) and 0.46 to 0.49% (High). Were used three levels of phosphorus in the soil: 50, 100 and 200 mg dm⁻³. The design was a complete randomized block design with five replications, in a factorial scheme 2x3x5, 2 phosphorus content in the seeds, 3 levels of phosphorus in the soil and 5 cultivars, totaling 150 experimental units. The evaluations were: plant height, length of vegetative growing period, dry matter of stem and number of branching. After the harvest was determined the number of seeds per plant, weight of a thousand seeds and production of seeds per plant, phosphorus content in the seeds, germination, length and dry matter and seedling emergence. Seeds with high phosphorus content originated plants with higher number of branches and number of seeds. In soils with low phosphorus availability, plants grown from seeds with higher content of this nutrient had higher production. The seedling emergence of M 7908 cultivars, TMG 132 and Valiosa were lower when plants progenitors were grown in soil with low phosphorus availability. Cultivar TMG 1176 originated from seeds with high phosphorus content produced seeds with higher seedling emergence.

INTRODUÇÃO

A cultura da soja vem sendo expandida, tanto em área plantada, quanto em produção, em todas as regiões do Brasil. Na safra 2014/2015 atingiu uma área cultivada de 31,5 milhões de hectares, com produção superior a 94,0 milhões de toneladas, os estados do Mato Grosso e Paraná figuram como maiores produtores, com 47,5% do total produzido (Conab, 2015). A geração de divisas advindas da exportação de produtos do complexo soja (grão, farelo e óleo) superou 30 bilhões de dólares, tanto no ano de 2013, quanto no ano de 2014 (Secex, 2015). Na safra 2013/2014, o Brasil foi o segundo maior produtor e o maior exportador mundial, participando com 30,5% da produção e 41,4% do total exportado (USDA, 2015).

O aumento da produção de soja no Brasil se deve muito às tecnologias e insumos empregados, os quais permitem a manifestação do potencial genético e fisiológico das cultivares. Os avanços obtidos com o melhoramento genético são transferidos ao agricultor pelas sementes, sendo que a obtenção de uma lavoura com alta produtividade inicia-se com um estande adequado de plantas, o que está relacionado à utilização de sementes de alta qualidade. O termo qualidade de sementes foi definido por Marcos Filho (2005) como um conjunto de características que determinam o seu valor para a semeadura, indicando que o potencial de desempenho das sementes somente pode ser identificado, de maneira consistente, quando é considerada a interação dos atributos de natureza genética, física, fisiológica e sanitária.

O genótipo, as condições climáticas durante o desenvolvimento das sementes, a ocorrência de insetos e patógenos nocivos, a época e o manejo durante a colheita, a ocorrência de injúrias mecânicas, a adequação das operações de secagem e beneficiamento, as condições e o período de armazenamento, além do tratamento químico podem afetar a qualidade das sementes (Marcos Filho, 2005).

Entre os fatores que afetam a qualidade das sementes, pode-se citar a disponibilidade de nutrientes no solo, visto que sementes com um adequado conteúdo de nutrientes apresentam alta capacidade de gerar plantas vigorosas e produtivas. Assim, as sementes devem ser produzidas em áreas com alta disponibilidade de

nutrientes para a planta, de modo a se obter não somente maiores produtividades, como também melhor qualidade de semente (Carvalho e Nakagawa, 2012). A exigência nutricional das plantas é mais intensa no início dos estádios reprodutivos, sendo mais crítica quando boa parte dos nutrientes são translocados para a formação das sementes. Nessa fase, os nutrientes são necessários para a formação e o desenvolvimento de novos órgãos e, também, para a formação de materiais de reserva que serão armazenados nas sementes (Sfredo, 2008)

A vitalidade das sementes depende, em parte, do vigor de seus ascendentes, motivo pelo qual as áreas cultivadas para produção de sementes devem possuir boa fertilidade, além de receberem adubações equilibradas (Marcos Filho, 2005). A aplicação de minerais pode ser feita diretamente no solo, em cobertura, via foliar, pelo tratamento de sementes ou pela combinação de duas ou mais formas (Vitti e Trevisan, 2000).

A adubação de base é o principal meio de fornecimento de nutrientes para as plantas destinadas a produzir sementes, principalmente no caso dos macronutrientes fósforo e potássio, em que quase sua totalidade é fornecida durante a semeadura. Contudo, quando o solo apresenta problemas de retenção ou disponibilidade de minerais, a adubação pode ser realizada em outros estádios da cultura. Um dos métodos é via foliar, visto que as folhas das plantas têm a capacidade de absorver os nutrientes depositados em sua superfície na forma de solução. A adubação foliar é realizada principalmente para o fornecimento de micronutrientes. A solução de nutrientes atravessa a cutícula, por falhas existentes na mesma, para entrar em contato com as células (Bissani et al, 2008). A absorção dos nutrientes pelas células ocorre de modo semelhante a das raízes, isto é, o íon deve atravessar uma membrana com característica de seletividade. Outro modo de fornecimento de nutrientes para a planta é via sementes, visto que representa menores custos para a aplicação, maior uniformidade de distribuição e bom aproveitamento pela planta, podendo ser via tratamento de semente (Luchese et al., 2004; Soares, 2013)

O fósforo é um dos principais minerais envolvidos no processo de germinação, sendo que os teores presentes na semente são a única fonte deste elemento para o desenvolvimento inicial da plântula. Após a germinação, as reservas de fósforo nas

sementes são rapidamente mobilizadas e translocadas para os tecidos das raízes e parte aérea. Esta fonte de fósforo é posteriormente complementada por absorção pelo sistema radicular das plantas em desenvolvimento. Pouco se sabe sobre os mecanismos fisiológicos que controlam a transição entre a dependência completa sobre as reservas de fósforo nas sementes e o início da aquisição, bem como a indução de uma maior capacidade de absorção em plantas deficientes (White e Veneklaas, 2012).

Importância do fósforo

A função do fósforo como nutriente para as plantas é bem conhecida, como por exemplo, é constituinte de compostos energéticos, como ATP, derivados do inositol (fitinas), fosfolipídios e outros ésteres. É responsável pelo desenvolvimento adequado das raízes e das plântulas no início do seu desenvolvimento, contribuindo para o aumento da resistência aos estresses, na maior eficiência do uso da água, na resistência às doenças, além de estar muito relacionado à produtividade (Malavolta, 2006).

Apesar do fósforo ser o décimo segundo elemento químico mais abundante na crosta terrestre, é o segundo elemento que mais limita a produtividade nos solos tropicais. Esse comportamento é consequência de sua habilidade em formar compostos com diferentes energias de ligação aos íons e coloides do solo, conferindo-lhe alta estabilidade, dependendo do grau de intemperização e uso do solo (Rheinheimer, 2000).

As plantas apresentam vários recursos para aumentar a eficiência de absorção do fósforo, mesmo quando fertilizantes fosfatados são aplicados ao solo, principalmente em solos altamente intemperizados, pois após a sua dissolução, a maior parte fica retida na fase sólida, formando compostos menos solúveis, ou seja, apenas parte do fósforo retido é aproveitada pelas plantas (Sousa et al., 2002).

Com a baixa disponibilidade de fósforo no solo, as plantas desenvolvem variações fisiológicas, bioquímicas e morfológicas para facilitar a sua absorção (Lynch e Brown 2001; Raghothama, 1999). Alguns autores relataram mudanças na morfologia e arquitetura radicular, simbiose com microrganismos, ativação de transportadores de

fosfato de alta afinidade, aumento da atividade das fosfatases internas, e a secreção de ácidos orgânicos e fosfatases para a rizosfera (Raghothama, 1999; Vance et al., 2003).

A absorção do fósforo pelas raízes é mediante transportador de $H^+HPO_4^{2-}$. Depois de absorvido, o movimento do fósforo através da membrana plasmática das células da raiz é um passo fundamental no transporte do nutriente dentro da planta. Embora os processos fisiológicos de transporte de fósforo através das membranas estejam relativamente bem compreendidos, só nos últimos anos as proteínas de transporte específicas, quinases ou fosfatases, envolvidas neste transporte foram caracterizadas e identificadas. A absorção de fósforo para a raiz envolve o transporte a partir do apoplasto, em que a concentração é inferior $2,0 \mu M$; enquanto a concentração do citossol varia de 5 a 17 mM (Mimura et al, 1998; Mimura, 2001).

O potencial de membrana negativo e a grande diferença entre as concentrações de fósforo externo e interno exigem que um grande gradiente eletroquímico seja superado para o transporte de fósforo nas células da raiz, exigindo, portanto, uma alta afinidade, e um eficiente mecanismo de transporte que consome muita energia, o qual é acionado pelas H^+ -ATPase das membranas (Ullrich et al., 1984). A enzima H^+ -ATPase desempenha papel importante na resposta das plantas aos estresses nutricionais e ambientais. Raízes de soja tratadas com ativador de H^+ -ATPase tiveram aumento na absorção de fósforo em 35 %, enquanto o emprego de um inibidor da enzima suprimiu severamente a absorção deste nutriente (Shen et al., 2006).

No início do estabelecimento das plântulas no solo, a principal fonte de fósforo é a semente, e o incremento da concentração do mineral na semente via endógena e/ou exógena proporciona um melhor estabelecimento da planta no solo (Trigo et al., 1997; Soares, 2013).

Para se obter alto rendimento nas culturas, as plantas necessitam de fornecimento adequado de fósforo já nos estágios iniciais de crescimento (Grant et al., 2001). Mesmo que as plantas absorvam apenas pequenas quantidades de fósforo nas suas primeiras semanas de crescimento, este acúmulo inicial é extremamente importante. Em milho, foi observado redução no rendimento total de grãos devido à oferta limitada de fósforo entre a semeadura e o estágio de plantas com seis folhas (Barry e Miller, 1989). A

alocação de matéria seca para o grão durante o enchimento é influenciada pela nutrição da planta desde o início do seu desenvolvimento (Gavito e Miller, 1998).

A deficiência de fósforo afeta a morfogênese das folhas nos estágios iniciais, sendo que esses efeitos podem persistir durante todo o ciclo da cultura, causando redução no crescimento foliar e conseqüente redução na interceptação da radiação solar, reduzindo a fotossíntese da planta. Outro efeito indireto da deficiência de fósforo é a redução do aparecimento e alongamento de raízes, o que tem impacto adicional sobre a capacidade da planta de absorver o mineral e outros nutrientes (Pellerin et al., 2000).

Acúmulo de fósforo nas sementes

A concentração de fósforo nas sementes varia com a disponibilidade do mineral no solo e com fatores ambientais que afetam o crescimento e desenvolvimento da planta. Os teores variam também entre espécies de plantas e entre genótipos da mesma espécie cultivada no mesmo ambiente (Schultz e French, 1978).

Em sementes, o fósforo é armazenado principalmente na forma de ácido fítico (Wilcox et al., 2000). O ácido fítico acumula-se rapidamente nas sementes durante a fase de maturação, juntamente com outras substâncias, tais como carboidratos e lipídios. Em sementes, o ácido fítico está presente sob a forma de um sal com vários outros cátions, incluindo potássio, magnésio, manganês, ferro e zinco, formando fitato (Raboy, 2009; Ravindran et al., 1994). Outras formas de fósforo nas sementes são o inorgânico e o celular (componente das membranas celulares, DNA, RNA, entre outros) (Raboy, 2009).

O acúmulo de fósforo em sementes de soja durante o seu desenvolvimento, bem como, a relação entre a quantidade de fitato e fósforo total contido nas sementes, foi determinado por Raboy e Dickinson (1987). O ácido fítico foi detectado já na embriogênese e seu acúmulo progrediu linearmente à medida que a semente se desenvolvia. Quase todo o fósforo translocado para as sementes em desenvolvimento foi incorporado como ácido fítico, desde a terceira semana após o florescimento até a

maturação fisiológica, tendo a soma dos demais compostos de fósforo permanecido constante.

Para a semente, uma grande disponibilidade de fósforo é benéfica para a germinação e formação da plântula. No entanto, quando o grão for utilizado para a alimentação, o ácido fítico atua como um fator antinutricional em animais monogástricos, incluindo o homem, devido à sua capacidade de complexar minerais tais como cálcio, magnésio, ferro e zinco, e de interagir com proteínas, diminuindo a biodisponibilidade de minerais e de proteínas nutricionalmente importantes (Azeke et al., 2011; Escobin-Mopera et al., 2012).

No caso da soja já foram desenvolvidas por mutagênese, linhagens que apresentam uma redução de 60% em ácido fítico e aumento do fósforo inorgânico (Wilcox et al., 2000). Estes mutantes estão sendo usados por melhoristas para desenvolver novas cultivares, visto que baixo conteúdo de ácido fítico e alto teor de fósforo inorgânico nestas linhagens deve aumentar o valor nutricional do farelo de soja e reduzir o excesso de fósforo nos dejetos de animais.

Disponibilidade de fósforo na semente

A disponibilidade adequada de nutrientes durante a maturação influi na formação do eixo embrionário e do tecido de reserva, assim como na sua composição química e, conseqüentemente, no metabolismo e vigor das sementes (Carvalho e Nakagawa, 2012). Os efeitos da nutrição fosfatada em soja podem ser observados em diversas características das sementes, como no tamanho e peso, qualidade fisiológica e sanitária, e composição química (Guerra et al., 2006; Marin, 2012).

As substâncias de reserva contidas nas sementes são responsáveis pelo fornecimento de minerais e energia necessários para a plena manifestação das suas funções vitais, além de afetar o seu potencial de armazenamento (Marcos Filho, 2005). Os minerais também são necessários para o desenvolvimento da plântula e seu estabelecimento em campo. Assim, sementes com alto conteúdo de um determinado

mineral poderão originar plantas vigorosas em um solo com deficiência do mesmo. Entretanto, as reservas das sementes são suficientes apenas para garantir a emergência da plântula, e a partir desta fase, o desenvolvimento inicial da planta em campo dependerá principalmente da fertilidade do solo (Carvalho e Nakagawa, 2012).

A germinação é a primeira etapa do ciclo de vida de uma planta altamente produtiva, e inclui os eventos metabólicos que se iniciam com a absorção de água pelas sementes e termina com o alongamento do eixo embrionário e obtenção de uma plântula (Bewley et al., 2013). Assim, no início a planta depende das reservas da semente, seguida por uma fase em que os suprimentos externos terão apenas um efeito limitado, e uma fase final, quando a taxa de crescimento é determinada pela absorção de nutrientes pela raiz e as reservas da semente já não contribuem (White e Veneklaas, 2012).

Nas sementes, aproximadamente 75% do fósforo ocorre na forma de ácido fítico, o qual fornece fósforo durante a germinação (Raboy, 2009). Os teores de fósforo em sementes de soja variam com a cultivar e o manejo químico do solo (Olibone e Rosolem, 2010).

Várias pesquisas já foram realizadas relacionando adubação com qualidade fisiológica e física das sementes. Identifica-se uma estreita relação entre a quantidade de fósforo disponível para a planta e sua posterior determinação na semente (Marin, 2012; Batistella Filho et al., 2013). Entretanto, essa mesma tendência muitas vezes não é constatada ao se avaliar a qualidade fisiológica das sementes e desempenho de plantas (Peske et al., 2012).

Ganhos na qualidade de sementes com o aumento do teor de fósforo não foram verificados por Zucarelli et al. (2006a, 2011b), Marin (2012) e Batistella Filho et al. (2013). A massa de 100 sementes e a qualidade fisiológica de sementes de feijão não foram afetadas quando a dose de P_2O_5 variou de zero a 150 kg ha^{-1} (Zucarelli et al., 2006a; 2011b). Em soja, Marin (2012) também não verificou efeito na emergência de plântulas e germinação quando as plantas que deram origem às sementes foram produzidas com adubação fosfatada em excesso, ou reduzida, em relação à dose recomendada.

Já no trabalho realizado em dois anos por Batistella Filho et al. (2013), a adubação fosfatada, variando de zero a 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅, aumentou a produtividade, porém não afetou a qualidade fisiológica das sementes de soja produzidas, mesmo em solo com disponibilidade muito baixa de fósforo.

Sementes de soja coletadas no estado do Rio Grande do Sul e classificadas em seis lotes, de acordo com o teor de fósforo, foram utilizadas por Trigo et al. (1997) para avaliar o desempenho das plantas. Os autores verificaram que, quanto maior o teor de fósforo nas sementes, melhor foi o desempenho das plantas, principalmente quando elas foram cultivadas em solos com alta disponibilidade de fósforo. Em outro trabalho realizado por Guerra et al. (2006), testando doses de P₂O₅ no solo, variando de zero a 400 kg ha⁻¹ foi verificado aumento na germinação e vigor das sementes com o aumento da dosagem da adubação fosfatada.

Em solos com baixa disponibilidade de nutrientes minerais, a importância do conteúdo destes nas sementes pode ser relevante para o estabelecimento inicial da planta, principalmente no caso do fósforo, em que grande parte dos solos brasileiros são deficientes. Sementes de feijão com maior teor de fósforo, obtidas de plantas que receberam adubação foliar fosfatada, podem aumentar o crescimento da parte aérea, a nodulação e o acúmulo de nitrogênio nos estádios vegetativos, particularmente sob baixas doses de P aplicadas ao solo (Araújo et al., 2002).

A disponibilidade do fósforo é baixa em solos muito ácidos, contudo, se o pH do solo for alcalino a disponibilidade do nutriente também é reduzida. Isto pode ocorrer em sistema de plantio direto onde a calagem é realizada superficialmente sem incorporação, visto que doses de calcário em superfície podem alcalinizar a camada superficial do solo (Caires et al., 2000). É nesta camada superficial onde a plântula se estabelece com um sistema radicular ainda pouco desenvolvido, provavelmente não muito eficiente para absorver a quantidade de fósforo necessária para o seu desenvolvimento inicial, principalmente sob condições de baixa disponibilidade deste nutriente. Deste modo, sementes que já apresentam um teor de fósforo endógeno elevado podem fornecer mais energia para a plântula e, conseqüentemente, para a planta durante o seu estabelecimento inicial no campo, contudo esta resposta pode variar para diferentes genótipos da mesma espécie.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito do teor de fósforo nas sementes e da disponibilidade do nutriente no solo no desenvolvimento das plantas, na produção e na qualidade de sementes de diferentes cultivares de soja.

MATERIAL E MÉTODOS

Produção das sementes

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, de novembro de 2013 a abril de 2014. Foram utilizadas cinco cultivares de soja de diferentes grupos de maturidade: TMG 132, TMG 1176, M 7908, Valiosa e Candeia.

A grande maioria das cultivares brasileiras apresentam crescimento tipo determinado, deste modo as cinco cultivares utilizadas no experimento apresentam crescimento deste tipo. A cultivar TMG 132 é cultivada no Mato Grosso, Piauí, Tocantins, Maranhão, norte do Mato Grosso do Sul, oeste da Bahia e leste de Goiás. A cultivar TMG 1176 é cultivada no estado do Mato Grosso, oeste da Bahia, norte do Mato Grosso do Sul e sudoeste de Goiás. A cultivar M 7908 cultivada no estado do Mato Grosso, São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul. A cultivar Valiosa é cultivada em Minas Gerais e Goiás. A cultivar Candeia é cultivada no estado do Maranhã, Piauí, Tocantins e Pará.

As sementes utilizadas no experimento foram produzidas na safra anterior, em casa de vegetação. O solo em que essas sementes foram produzidas apresentava alta e baixa disponibilidade de fósforo, com 200 e 50 mg kg⁻¹ de P respectivamente. Após a colheita, o teor de fósforo dessas sementes foi determinado no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, via digestão nítrico-perclórica e a quantificação foi feita por espectrometria de absorção molecular (Malavolta et al., 1997). Deste modo, de cada cultivar, foram obtidos dois lotes de sementes, com alto e baixo teor de fósforo (Tabela 1).

Tabela 1. Teores de fósforo em sementes de cinco cultivares de soja produzidas em solo com alta e baixa disponibilidade de fósforo

Cultivares	Grupo de Maturidade	Teor de fósforo (%)	
		Baixa	Alta
TMG 132	8,5	0,24	0,46
TMG 1176	7,6	0,26	0,48
M 7908	7,9	0,22	0,48
VALIOSA	8,1	0,26	0,47
CANDEIA	9,0	0,24	0,49

Instalação do Experimento

Realizou-se a análise química e física do solo utilizado e de acordo com os resultados (Tabela 2), foi realizada a correção pH e a adubação com potássio e micronutrientes segundo Novais et al. (1991). A correção do pH foi realizada 45 dias antes da semeadura, e a adubação foi realizada no dia anterior a semeadura.

Tabela 2. Características físico-químicas do solo utilizado no experimento antes da adubação e calagem.

Análise Granulométrica (dag kg ⁻¹)												
Areia Grossa		Areia Fina		Silte	Argila	Classe Textural						
18		14		9	59	Argilosa						
Análise Química												
pH	P	K	Na	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	H + Al	T	V	m	MO	P-rem
	-----mg dm ⁻³ -----			-----cmol _c dm ⁻³ -----			----- % -----			mg L ⁻¹		
5,93	1,2	6,0	2,1	0,75	0,2	0,0	1,2	2,1	45,0	0,0	0,88	7,0

Análises realizadas nos Laboratórios de Análises Físicas e Químicas de Solos do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

Para a adubação fosfatada, foram utilizadas três doses de fósforo: 50, 100 e 200 mg dm⁻³ de solo, obtendo-se diferentes níveis de disponibilidade do mineral. Estes valores correspondem aos níveis baixo, médio (recomendado) e alto, respectivamente. Utilizou-se como fonte de fósforo o superfosfato triplo moído, contendo 54% de P₂O₅.

A semeadura foi realizada na segunda quinzena de novembro, em vasos com capacidade de quatro litros, contendo solo adubado, conforme os tratamentos já descritos. Foram semeadas quatro sementes em cada vaso, na profundidade de três centímetros. Após a emergência das plântulas, foram eliminadas as menos vigorosas deixando-se duas plantas por vaso. A irrigação, duas vezes ao dia, era realizada até o solo atingir a capacidade de campo. Os vasos apresentavam orifícios no fundo, e foram colocados sobre pratos de plástico para evitar a lixiviação de nutrientes com a água de irrigação.

Avaliações

Aos 30 dias após a emergência, foi mensurado a altura das plantas em centímetros com auxílio de régua. Identificou-se também, o estágio de desenvolvimento, de acordo com a escala estabelecida por Fehr e Caviness (1977). E determinou-se a duração do período vegetativo, o qual consiste no número de dias decorridos da emergência das plântulas até o início da floração.

A colheita foi realizada gradualmente quando as plantas atingiam o estágio R8, estabelecido por Fehr e Caviness (1977), que corresponde à maturação plena das vagens. As plantas foram removidas dos vasos, e realizado, manualmente, a retirada e debulha das vagens. Em seguida, foram realizadas as seguintes determinações: Diâmetro da haste com auxílio de paquímetro, sendo expresso em milímetros; Número de ramificações por planta; Matéria seca da haste, que foram acondicionadas em sacos de papel, colocadas em estufa com circulação forçada de ar a 70 °C, onde permaneceram até atingirem peso constante, os resultados foram expressos em gramas por planta.

As sementes colhidas foram secas com ventilação à temperatura ambiente até atingirem a umidade de 13%, posteriormente foi determinado: Produção de sementes em gramas por planta; Contagem do número de sementes; Peso de mil sementes em gramas. As sementes foram acondicionadas em sacos de papel e mantidas em ambiente com temperatura controlada a 20 °C para posterior análise do teor de fósforo, germinação e vigor.

O teor de fósforo das sementes foi determinado via digestão nítrico-perclórica e a quantificação foi feita por espectrometria de absorção molecular (Malavolta et al., 1997). A partir da determinação da quantidade de fósforo na semente e da produção de sementes foi determinado o Quociente de utilização de P (QUTIL) - que equivale a “unidades de massa de sementes produzida (MS) pelo percentual de P nas sementes (Psem)”, obtido pela expressão: $QUTIL = MS / Psem$, expresso em quilogramas por ponto percentual.

O teste de germinação foi realizado utilizando quatro subamostras de 50 sementes por repetição. O substrato utilizado foi papel toalha umedecido com um volume de água equivalente a 2,5 vezes o seu peso seco. Após a semeadura, foram confeccionados rolos e mantidos em germinador a 25 °C. A avaliação foi realizada aos cinco e oito dias após a semeadura, o resultado foi expresso em porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009).

Para avaliação do vigor das sementes, foi determinado o crescimento de plântulas conforme os procedimentos descritos por Nakagawa (1994), adaptado de AOSA (1983). Foram utilizadas dez subamostras de 10 sementes por repetição. Uma linha foi traçada no terço superior do papel toalha no sentido longitudinal. Os papéis foram umedecidos previamente com água destilada equivalente a 2,5 vezes a massa seca do papel. As sementes de soja foram posicionadas de forma que a micrópila estivesse voltada para a parte inferior do papel. Os rolos foram acondicionados em sacos plásticos e posicionados verticalmente no germinador, por sete dias, a 25 °C. Ao final deste período, foi determinado o comprimento do hipocótilo e da raiz primária das plântulas normais (raiz primária e hipocótilo) utilizando-se uma régua. Os resultados foram expressos em centímetros por plântula.

A matéria seca das plântulas, foi realizada utilizando as plântulas do teste de crescimento de plantas, como descrito anteriormente. As plântulas, após de serem mensuradas, foram secas em estufa com circulação forçada de ar, a 70 °C, onde permaneceram até atingirem peso constante. Os resultados foram expressos em miligramas por plântula.

A emergência de plântulas foi realizada utilizando-se três subamostras de 100 sementes por repetição. As sementes foram semeadas a três centímetros de profundidade, em bandejas contendo solo. A contagem das plântulas normais emergidas foi efetuada ao vigésimo primeiro dia após a data da semeadura. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais emergidas (Nakagawa, 1994).

O experimento foi instalado em delineamento em blocos completos casualizados, com cinco repetições, onde cada vaso representou uma repetição, segundo esquema fatorial 2x3x5, correspondendo a dois teores de fósforo na semente, três doses de fósforo no solo e cinco cultivares de soja, totalizando 150 parcelas. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade dos resíduos, e posteriormente foi realizada a análise de variância. As médias dos dois teores foram comparados pelo teste F a 5% de probabilidade e as médias das doses de fósforo no solo e cultivares foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. O processamento dos dados foi realizado com o software SAS/STAT versão 9.0, e a elaboração dos gráficos pelo software Excel.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aos 30 dias, de maneira geral não foi observado efeito significativo do teor de fósforo das sementes na altura, sendo observado apenas diferença para a cultivar TMG 1176, onde as sementes que apresentavam menor teor de fósforo foram as que apresentaram maior altura (Tabela 3). Apesar dos valores não serem significativos, as demais cultivares tenderam a apresentar uma maior altura quando as sementes apresentavam maior teor de fósforo. Em trabalho com sementes de soja que apresentavam diferentes teores de fósforo, Trigo et al. (1997) verificaram aumento na matéria seca das plantas de soja aos 30 dias após a emergência.

Tabela 3. Altura de plantas (cm) de cinco cultivares de soja aos 30 dias após a emergência, oriundas de sementes com alto e baixo teor de fósforo

Teor de P na semente	Cultivares					Média
	Candeia	M 7908	TMG 1176	TMG 132	Valiosa	
Alto	36,0 a	50,6 a	38,7 b	34,0 a	51,3 a	42,1 a
Baixo	33,7 a	50,5 a	45,8 a	31,1 a	45,4 a	41,3 a
Média	34,8 C	50,6 A	42,2 B	32,6 C	48,4 A	41,7
CV (%)	14,07					

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si, respectivamente, pelo teste F e pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ao comparar as cultivares, as plantas apresentaram diferenças na altura aos 30 dias, com os maiores valores observados nas plantas das cultivares Valiosa e M 7908, o que acabou se refletindo na produção, onde as mesmas estavam entre as mais produtivas. A dose de fósforo no solo afetou a altura de plantas aos 30 dias para todas as cultivares, apresentando valor médio de 55,3, 53,3 e 27,7 centímetros para as doses de fósforo de 200, 100 e 50 mg dm⁻³, respectivamente.

A diferença observada entre os tratamentos na altura aos 30 dias não foi observada em períodos anteriores próximos a emergência. Visto que no início do desenvolvimento a absorção de nutriente pelas raízes é muito baixo, uma vez que as reservas internas da semente são suficientes para suprir adequadamente a plântula (White e Veneklaas, 2012; Nadeem et al., 2013). A baixa absorção de fósforo no início do desenvolvimento pode ser atribuída ao acesso limitado ao fosfato na rizosfera, ou a uma baixa disponibilidade ou atividade de transportadores de fosfato em células epidérmicas da raiz (White e Veneklaas, 2012). Os transportadores podem entender que a planta tem P suficiente para o crescimento, ou que para a ativação dos mesmos seja necessário um sinal sistêmico, relacionado à fotossíntese e ao desenvolvimento do floema, que ainda não foi produzido, translocado ou percebido (Nadeem et al., 2012).

Para o estágio de desenvolvimento das plantas aos 30 dias após a emergência, todas as cultivares responderam de maneira semelhante de acordo com a disponibilidade de fósforo no solo (Tabela 4), sendo que quando o solo apresentou baixa disponibilidade de fósforo (adubação de 50 mg dm⁻³), as plantas apresentaram uma evolução mais lenta nos estádios, ou seja, atraso no desenvolvimento de folhas novas.

Isto possivelmente ocorreu porque as plantas normalmente respondem à deficiência de P por meio da alocação de mais carbono para as raízes, resultando em maior número, crescimento e formação de raízes laterais (Gilroy e Trewavas, 2000; Lynch e Brown, 2001). Assim, a parte aérea além de ser prejudicada pela falta do nutriente acaba não sendo priorizada em situação de deficiência no solo.

Tabela 4. Estádio de desenvolvimento de cinco cultivares de soja aos 30 dias após a emergência cultivadas em solo adubado com três doses de fósforo: 200, 100 e 50 mg dm⁻³

Dose de P (mg dm ⁻³)	Cultivares					Média
	Candeia	M 7908	TMG 1176	TMG 132	Valiosa	
200	7,0 a	7,1 a	7,6 a	6,9 a	7,0 a	7,1 a
100	6,4 a	6,3 a	7,0 a	6,9 a	6,6 a	6,6 b
50	4,8 b	5,2 b	5,0 b	4,9 b	5,0 b	5,0 c
Média	6,1 B	6,2 AB	6,5 A	6,2 AB	6,2 AB	
CV (%)	8,96					

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As plantas de todas as cultivares, aos 30 dias após a emergência, apresentaram estágio de desenvolvimento de acordo com o seu grupo de maturidade (Tabela 1). A cultivar Candeia, que tem o maior ciclo, diferiu da cultivar TMG 1176, que tem o menor ciclo dentre as cultivares estudadas. Essa tendência, também foi verificada na duração do período vegetativo (Tabela 5), que para a cultivar Candeia foi de 54,3 dias, enquanto que para a cultivar TMG 1176 foi de 37,8 dias.

Tabela 5. Duração do período vegetativo (dias) de plantas de cinco cultivares de soja oriundas de sementes com alto e baixo teor de fósforo.

Teor de P na semente	Cultivar					Média
	Candeia	M 7908	TMG 1176	TMG 132	Valiosa	
Alto	54,5	44,4	38,3	51,3	44,8	46,7 a
Baixo	54,1	41,9	37,4	50,9	45,0	45,9 b
Média	54,3 A	43,2 D	37,8 E	51,1 B	44,9 C	
CV (%)	4,03					

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si, respectivamente, pelo teste de F e pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O baixo teor de fósforo na semente reduziu a duração do período vegetativo das plantas conforme a Tabela 5, sem, no entanto, haver interação com a cultivar utilizada. De maneira geral, a duração do período vegetativo está ligada ao potencial produtivo da planta, visto que as plantas com um período vegetativo mais longo tendem a acumular mais matéria seca, tanto na parte aérea quanto no sistema radicular, apresentando maior capacidade de realizar fotossíntese e absorver água e nutrientes e, conseqüentemente, apresentar maiores produtividades.

A duração do período vegetativo, quando analisada de acordo com a dose de fósforo no solo, diferiu-se principalmente nas plantas da cultivar Candeia (Tabela 6), que quando cultivadas em solo com baixa disponibilidade do nutriente a duração passou de 55,8 dias para 51,3 dias.

A antecipação da floração de plantas anuais geralmente está relacionada às condições de estresses (Gungula et al., 2003; Callahan e Pigliucci, 2005), o que acaba reduzindo a produtividade. Porém, em outros trabalhos, como o realizado por Ma et al. (2002) com plantas de tremoço, a baixa disponibilidade de fósforo no solo acabou prolongando a duração do período vegetativo. Contudo, ao se observar a média da duração do período vegetativo das cinco cultivares (Tabela 6), verifica-se apenas um pequeno aumento quando as plantas estão em condição de baixa disponibilidade (50 mg dm^{-3}) de fósforo, e também um aumento, que não chega a ser significativo, quando as plantas foram cultivadas em condições de alta disponibilidade de fósforo (200 mg dm^{-3}).

Tabela 6. Duração do período vegetativo (dias) de plantas de cinco cultivares de soja cultivadas em solo adubado com três doses de fósforo: 200, 100 e 50 mg dm^{-3} .

Dose de P (mg dm^{-3})	Cultivar					Média
	Candeia	M 7908	TMG 1176	TMG 132	Valiosa	
200	55,8 a	43,0 a	38,2 a	50,2 a	45,2 a	46,5 ab
100	55,8 a	42,8 a	34,6 b	50,5 a	44,6 a	45,7 b
50	51,3 b	43,7 a	40,7 a	52,5 a	44,9 a	46,6 a
Média	54,3 A	43,2 D	37,8 E	51,1 B	44,9 C	
CV (%)	4,03					

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Plantas de soja com maior número de ramificações tendem a apresentar uma maior produção, visto que muitas flores se desenvolvem nas ramificações. O número de ramificações por planta de soja é correlacionado com a competição intraespecífica por fatores do meio, como a água, luz e nutrientes (Thomas et al., 1998). No presente trabalho, também foi verificado o efeito do teor de fósforo na semente no número de ramificações (Tabela 7), onde as sementes que apresentavam maior teor de fósforo deram origem a plantas com maior número de ramificações. Possivelmente, essas sementes que apresentam um elevador teor de fósforo originam plantas com melhor sistema radicular, o que pode ter estimulado o desenvolvimento de brotações laterais nas plantas.

A planta ao absorver fósforo pelo sistema radicular tem o crescimento de gemas axilares estimulado, principalmente pela alteração da sensibilidade hormonal. Já as plantas em condições de deficiência de fósforo aumentam a sensibilidade à auxina pela maior expressão dos receptores (Perez-Torres et al., 2008), o que acaba inibindo a ramificação das plantas. As plantas originadas de sementes com menor teor de fósforo, possivelmente, apresentaram maior sensibilidade às auxinas, o que acabou reduzindo o número de ramificações nas plantas.

O hormônio que está mais relacionado com a deficiência de fósforo nas plantas são as strigolactonas. As plantas, quando se desenvolvem em ambiente com deficiência de fósforo, começam a sintetizar strigolactonas nas raízes a partir da clivagem de carotenoides. Este hormônio faz a planta liberar exsudatos no solo que favorecem o crescimento de micorrizas associadas às raízes, além do crescimento radicular, aumentando a captação de fósforo para as plantas (López-Ráez et al., 2008). Por outro lado, este hormônio atua na inibição da ramificação lateral das plantas.

Tabela 7. Número de ramificações de plantas de cinco cultivares de soja, oriundas de sementes com alto e baixo teor de fósforo

Teor de P na semente	Cultivar					Média
	Candeia	M 7908	TMG 1176	TMG 132	Valiosa	
Alto	3,6 a	2,5 a	2,6 a	3,5 a	3,3 a	3,1 a
Baixo	2,9 a	2,5 a	2,4 a	3,7 a	2,4 b	2,8 b
CV (%)	23,04					

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

O número de ramificações também afetou a matéria seca da haste, pois quando as sementes apresentavam alto teor de fósforo a matéria seca da haste foi de 20,6 gramas, já quando as sementes apresentavam um baixo teor de fósforo a matéria seca da haste foi de 19,26 gramas. Quando analisada a interação entre a disponibilidade de fósforo no solo e as cultivares (Tabela 8), observa-se redução na matéria seca da haste com a redução da disponibilidade de fósforo.

Tabela 8. Matéria seca da haste (g) de plantas de cinco cultivares de soja, cultivadas em solo adubado com três doses de fósforo: 200, 100 e 50 mg dm⁻³

Dose de P (mg dm ⁻³)	Cultivar					Média
	Candeia	M 7908	TMG 1176	TMG 132	Valiosa	
200	35,68 a	24,85 a	23,16 a	23,42 a	32,10 a	27,84 a
100	28,36 b	19,65 b	16,85 b	19,95 a	27,35 b	22,43 b
50	11,28 c	12,18 c	5,28 c	6,98 b	12,05 c	9,55 c
Média	25,10 A	18,89 B	15,10 C	16,78 C	23,83 A	
CV (%)	13,51					

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A redução na produção de biomassa em plantas cultivadas em solos com baixa disponibilidade de fósforo pode ser atribuída a uma menor taxa de expansão das folhas, a qual é induzida pela maior condutância hidráulica das raízes para as folhas. Usando técnicas experimentais e de simulação, Rodriguez et al. (1998) identificaram a existência de efeitos diretos da deficiência de fósforo na expansão da área foliar. Já, Chiera e Rufty (2002) concluíram que a expansão de folhas de soja sob estresse de P foi limitada pelo número de divisões celulares.

O número de sementes produzidas foi afetado pela disponibilidade de fósforo no solo (Tabela 9), onde a redução da disponibilidade do mineral reduziu o número de sementes produzidas. O maior teor de fósforo nas sementes que deram origem às plantas aumentou o número de sementes produzidas de maneira geral, o que pode ser atribuído a melhor floração e pegamento de vagens dessas plantas, além do maior número de ramificações nessas plantas como observado na Tabela 7.

Tabela 9. Número de sementes colhidas de cinco cultivares de soja cultivadas em solo adubado com três doses de fósforo, a partir de sementes com alto e baixo teor

Teor de P na semente	Dose de fósforo no solo (mg dm ⁻³)			Média
	200	100	50	
Alto	319,0	245,2	128,6	230,9 a
Baixo	299,9	227,6	107,5	211,7 b
Média	309,4 A	236,4 B	118,1 C	
CV (%)	17,68			

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si respectivamente pelo teste F e pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O peso de mil sementes é uma característica intrínseca à cultivar, contudo a disponibilidade de fósforo no solo afetou o peso das sementes (Tabela 10). Para a cultivar TMG 1176, não houve aumento significativo no peso de mil de sementes com o aumento da disponibilidade de fósforo no solo, o que pode ser explicado pelo menor desenvolvimento da planta desta cultivar, que é a que apresenta o menor ciclo entre as cultivares estudadas (Tabela 1).

Tabela 10. Peso de mil sementes (g) colhidas de cinco cultivares de soja cultivadas em solo adubado com três doses de fósforo: 200, 100 e 50 mg dm⁻³

Dose de P (mg dm ⁻³)	Cultivares					Média
	Candeia	M 7908	TMG 1176	TMG 132	Valiosa	
200	163,3 a	201,5 a	124,7 a	132,1 a	196,8 a	163,7 a
100	160,7 a	182,0 b	122,1 a	131,1 a	183,7 a	155,9 b
50	103,7 b	122,8 c	115,3 a	94,6 b	114,3 b	110,2 c
Média	142,6 B	168,8 A	120,7 C	119,3 C	165,0 A	
CV (%)	7,18					

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A produção foi afetada, principalmente, pela disponibilidade de fósforo no solo. Dentre as cultivares, a que apresentou menor produção foi a TMG 1176 (Tabela 11) o que foi um reflexo principalmente do peso de mil sementes (Tabela 10). A cultivar apresentou a menor produção quando cultivada em solo com alta disponibilidade de fósforo, não diferindo apenas da cultivar Candeia; o mesmo ocorreu quando cultivadas em solo com média disponibilidade de fósforo no solo. Já, quando o cultivo foi

realizado em solo com baixa disponibilidade de fósforo não houve diferença significativa entre as cultivares (Tabela 11). Genótipos mais eficiente conseguem produzir mesmo em solo com baixa disponibilidade do mineral, o que não foi o caso no presente trabalho. Genótipos eficientes na utilização de fósforo alocam uma fração maior de sua biomassa para o crescimento das raízes, especialmente sob condições de baixa disponibilidade de fósforo (Nielsen et al., 2001). Genótipos eficientes também apresentam menores taxas de respiração das raízes quando comparados à genótipos ineficientes, o que permite manter uma maior alocação de biomassa radicular, sem aumentar os gastos de carbono pela raiz.

Tabela 11. Produção de sementes (g planta⁻¹) de cinco cultivares de soja cultivadas em solo adubado com três doses de fósforo: 200, 100 e 50 mg dm⁻³

Dose de P (mg dm ⁻³)	Cultivares					Média
	Candeia	M 7908	TMG 1176	TMG 132	Valiosa	
200	44,0 aBC	57,6 aA	36,3 aC	55,4 aA	54,5 aA	49,6 a
100	36,8 aAB	38,0 bA	28,7 aB	38,9 bA	38,4 bA	36,2 b
50	12,2 bA	15,7 cA	12,4 bA	12,9 cA	11,7 cA	13,0 c
Média	31,0 B	37,1 A	25,8 C	35,7 A	34,9 AB	
CV (%)	17,67					

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com maior disponibilidade de fósforo no solo houve aumento da produtividade de sementes. Já o teor de fósforo na semente somente apresentou efeito positivo na produtividade quando o solo apresentava baixa disponibilidade de fósforo (Tabela 12). Em solos com menor disponibilidade de fósforo, a importância do conteúdo do nutriente na semente é mais relevante para o estabelecimento das plantas. Entretanto, avaliando o efeito do aumento da concentração de fósforo na semente de soja (de 0,58% para 1,10%), Trigo et al. (1997) constataram que houve aumento de rendimento de grãos de 37% em solo com adubação de fósforo e de 20% em solo sem adubação de fósforo.

Elevados teores de fósforo nas sementes permitem um melhor estabelecimento de plantas de várias espécies anuais (De Marco, 1990; Zhang et al., 1990; Thomson et al., 1991; Ros et al., 1997; Grant et al., 2001; Zhu e Smith, 2001), sendo que em alguns casos proporcionam maiores rendimentos (Trigo et al., 1997). Este maior rendimento pode ser atribuído à melhor ramificação das plantas, bem como, à redução do

abortamento de flores. Isto foi verificado no presente trabalho, em que o teor de fósforo nas sementes afetou o número de ramificações, o que acabou se refletindo na produção.

Tabela 12. Produção (g planta⁻¹) de sementes de cinco cultivares de soja oriundas de sementes com alto e baixo teor de fósforo

Teor de P na semente	Dose de fósforo no solo (mg dm ⁻³)			Média
	200	100	50	
Alto	49,6 aA	37,1 aB	14,4 aC	33,7
Baixo	49,5 aA	35,2 aB	11,6 bC	32,1
Média	49,6 A	36,2 B	13,0 C	
CV (%)	17,67			

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si, respectivamente, pelo teste F e pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Existe relação entre a quantidade de nutrientes aplicados na planta e sua posterior determinação na semente (Zucarelli et al., 2011; Marin, 2012; Batistella Filho et al., 2013). O mesmo foi observado no presente trabalho (Tabela 10), em que as plantas cultivadas em solo com maior disponibilidade de fósforo atingiram 0,36 % do mineral, enquanto que as que foram cultivadas em solo com menor disponibilidade do nutriente apresentaram um teor médio de fósforo de 0,24 %.

O teor de fósforo das sementes utilizadas na semeadura não afetou o teor de fósforo nas sementes colhidas. Já as cultivares, em relação ao teor de fósforo, apresentaram comportamento semelhantes, e não foi verificado efeito de diluição, em que o aumento de produtividade acaba diminuindo o teor de fósforo na semente. Como observado na cultivar M 7908, que quando cultivada em solo com alta disponibilidade de fósforo, foi uma das mais produtivas (Tabela 11) e apresentou o maior teor, quando comparada à cultivar Candeia.

A diferença no teor de fósforo das sementes, entre as plantas cultivadas em solo com baixa (50 mg dm⁻³) e em solo com alta disponibilidade de fósforo (200 mg dm⁻³) foi maior para a cultivar TMG 1176, chegando a 0,16 ponto percentual (Tabela 13), o que demonstra maior sensibilidade da cultivar em relação à disponibilidade de fósforo no solo. Já a menor diferença entre os teores de fósforo na semente ao comparar a dose de 50 mg dm⁻³ com 200 mg dm⁻³ de fósforo no solo foi observada nas sementes da

cultivar TMG 132, que foi de 0,07 ponto percentual, valor similar foi observado por Batistella Filho et al. (2013) avaliando o efeito de diferentes disponibilidades de fósforo no solo com a cultivar MG/BR 46 (Conquista).

Tabela 13. Teor de fósforo (%) em sementes de cinco cultivares de soja cultivadas em solo adubado com três doses fósforo: 200, 100 e 50 mg dm⁻³

Dose de P (mg dm ⁻³)	Cultivares					Média
	Candeia	M 7908	TMG 1176	TMG 132	Valiosa	
200	0,34 aB	0,39 aA	0,38 aAB	0,34 aB	0,36 aAB	0,36 a
100	0,32 aA	0,30 bA	0,32 bA	0,35 aA	0,33 aA	0,32 b
50	0,26 bA	0,24 cA	0,22 cA	0,27 bA	0,23 bA	0,24 c
Média	0,30 A	0,31 A	0,31 A	0,32 A	0,30 A	
CV (%)	8,87					

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O quociente de utilização de fósforo foi utilizado em trabalhos com milho por Parentoni e Souza Júnior (2008). Os autores calcularam a quantidade de produto comercial (massa grãos de milho) produzidos pela quantidade de fósforo exportada junto com os grãos, obtendo-se assim a quantidade de kg produzidos por kg de fósforo utilizado. Já no presente trabalho o cálculo do quociente foi realizado dividindo a produção de sementes pelo percentual de fósforo nas sementes, obtendo-se dessa maneira a quantidade de sementes produzidas por ponto percentual de fósforo (Tabela 14).

O efeito do teor de fósforo das sementes utilizadas na semeadura foi significativo para o quociente de utilização do mineral pelo teste F a 5% de probabilidade. As plantas originadas de sementes com alto teor de fósforo apresentaram um quociente médio de 109,2, já as originadas de sementes com baixo teor de fósforo apresentaram um quociente de 98,2. Contudo, não foi verificado interação entre os teores e a disponibilidade de fósforo no solo, bem como a interação com as cultivares (ANEXO 1).

O quociente de utilização do fósforo (Tabela 14) foi maior com o aumento da dose de fósforo no solo, exceto para a cultivar TMG 1176, que mesmo com alta disponibilidade do nutriente no solo não aumentou o quociente de utilização. Isto

demonstra que a cultivar, além de apresentar a menor produção dentre as cultivares estudadas, é pouco eficiente quanto a utilização do fósforo do solo.

Tabela 14. Quociente de utilização de fósforo de cinco cultivares de soja cultivadas em solo adubado com três doses de fósforo: 200, 100 e 50 mg dm⁻³.

Dose de P (mg dm ⁻³)	Cultivares					Média
	Candeia	M 7908	TMG 1176	TMG 132	Valiosa	
200	142,5 aA	154,9 aA	99,2 aB	170,1 aA	159,0 aA	145,2 a
100	106,6 aA	131,4 aA	98,8 aA	109,4 bA	112,6 bA	111,8 b
50	49,1 bA	62,6 bA	58,2 aA	54,4 cA	48,4 cA	54,5 c
Média	99,4 AB	116,3 A	85,4 B	111,3 A	106,7 A	
CV (%)	20,03					

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A germinação das sementes produzidas não foi influenciada pela disponibilidade de fósforo no solo para a plantas das cultivares Candeia, M 7908 e TMG 132 (Tabela 15). O mesmo foi verificado por Salum et al. (2008), em sementes de feijão. Segundo Batistella Filho et al. (2013), a adubação fosfatada não afeta a qualidade fisiológica das sementes produzidas quando avaliada pelos testes de germinação e de vigor, apesar de aumentar a concentração de P nos tecidos. Em feijão, Zucarelli et al. (2001), também não observaram efeito da adubação fosfatada na massa de 100 sementes e na qualidade fisiológica das sementes.

A cultivar TMG 1176, quando cultivada em solo com dose de 200 mg dm⁻³ de fósforo, produziu semente com menor germinação quando comparada às sementes produzidas de plantas cultivadas em solo que recebeu adubação de 100 mg dm⁻³. Krueger et al. (2013), ao analisarem sementes de soja colhidas em seis locais nos Estados Unidos, com três níveis de adubação fosfatada, observaram redução do poder germinativo das sementes quando as plantas foram cultivadas em solo com alta disponibilidade de fósforo, os autores atribuíram a redução à presença de patógenos nas sementes. Ao contrário da cultivar TMG 1176, a cultivar Valiosa quando cultivada em solo adubado com 200 mg dm⁻³ produziu sementes com maior percentual de germinação, o que possivelmente pode estar relacionado ao teor de fósforo nas sementes (Tabela 13).

Tabela 15. Germinação de sementes (%) de cinco cultivares de soja, cultivadas em solo adubado com três doses de fósforo: 200, 100 e 50 mg dm⁻³

Dose de P (mg dm ⁻³)	Cultivares					Média
	Candeia	M 7908	TMG 1176	TMG 132	Valiosa	
200	95,31 a	76,30 a	86,17 b	95,83 a	91,92 a	89,10
100	95,16 a	78,14 a	95,83 a	91,50 a	80,02 b	88,13
50	93,48 a	76,03 a	91,06 ab	96,02 a	78,69 b	87,06
CV (%)	4,89					

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A emergência das plântulas originadas das sementes das cultivares M 7908, Valiosa e TMG-132 foi menor quando as plantas foram produzidas em solo com baixa disponibilidade de fósforo (Tabela 16). Em estudo realizado por Guerra et al. (2006) houve aumento da germinação e do potencial de vigor, determinado pelo teste de tetrazólio e pelo teste de emergência a campo, quando a adubação fosfatada em soja foi incrementada.

Tabela 16. Emergência de plântulas (%) de cinco cultivares de soja, cultivadas em solo adubado com três doses de fósforo: 200, 100 e 50 mg dm⁻³

Dose de P (mg dm ⁻³)	Cultivares					Média
	Candeia	M 7908	TMG 1176	TMG 132	Valiosa	
200	89,50 a	78,22 a	80,46 a	94,00 a	84,50 a	85,34 a
100	96,50 a	77,00 a	85,57 a	86,33 ab	85,98 a	86,28 a
50	87,30 a	63,78 b	78,84 a	78,80 b	69,78 b	75,70 b
CV (%)	6,26					

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a emergência de plantas também foi verificado o efeito do teor de fósforo das sementes (Tabela 17), em que, na média, plantas oriundas de sementes com alto teor de fósforo produziram sementes com maior percentual de emergência, sendo que a diferença foi de 4,1 ponto percentual. Esses dados contrariam os encontrados por Salum et al. (2008), em que a qualidade fisiológica das sementes colhidas de feijão não foi favorecida pelo teor de fósforo da semente semeada. Dentre todos os parâmetros da qualidade de sementes avaliados, a emergência de plantas foi o único em que foi observado o efeito do teor de fósforo das sementes que originaram as plantas.

Tabela 17. Emergência de plântulas (%) de cinco cultivares de soja produzidas em plantas originadas de sementes com alto e baixo teor de fósforo

Teor de P na semente	Cultivares					Média
	Candeia	M 7908	TMG 1176	TMG 132	Valiosa	
Alto	89,0 a	76,5 a	85,6 a	89,7 a	81,5 a	84,5 a
Baixo	93,2 a	69,5 a	77,6 b	83,1 a	78,7 a	80,4 b
Média	91,1 A	73,0 D	81,6 BC	86,4 AB	80,1 C	
CV (%)	6,26					

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si, respectivamente, pelo teste F e pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O comprimento de plântulas pode ser um bom parâmetro para prognosticar o desempenho de um lote de sementes de soja em campo (Vanzolini et al., 2007). Para esta característica, somente a cultivar TMG 132 foi afetada negativamente pela baixa disponibilidade de fosforo no solo (Tabela 18).

Diretamente, a deficiência de fósforo estimula o desenvolvimento do sistema radicular para maximizar a interceptação do nutriente (Lynch e Brown, 2001). Segundo Williamson et al. (2001), a menor disponibilidade de fosfato favorece o crescimento de raízes laterais em relação ao crescimento da raiz primária, aumentando sua densidade e comprimento. A redução do crescimento da raiz primária é devido à redução do alongamento celular. Deste modo, o comprimento de plântulas é pouco influenciado pela disponibilidade de fósforo, visto que em um primeiro momento o fósforo estimula o crescimento, porém quando as reservas são exauridas o crescimento começa a reduzir até cessar completamente.

Tabela 18. Comprimento de plântulas (cm), de cinco cultivares de soja, cuja as sementes foram produzidas em solo adubado com três doses de fósforo: 200, 100 e 50 mg dm⁻³

Dose de P (mg dm ⁻³)	Cultivares					Média
	Candeia	M 7908	TMG 1176	TMG 132	Valiosa	
200	14,15 a	13,05 a	13,58 a	15,36 a	12,33 a	13,70
100	13,96 a	14,11 a	13,60 a	14,67 a	12,04 a	13,68
50	13,61 a	12,59 a	12,66 a	11,95 b	12,38 a	12,64
CV (%)	7,36					

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A matéria seca de plântulas foi menor quando a planta genitora foi produzida em solos com baixo fornecimento de fósforo para todas as cultivares, com exceção da TMG 1176 (Tabela 19). As plantas cultivadas em solo com menor dose de fósforo (50 mg dm⁻³) produziram sementes com menor teor de fósforo, o que pode ter afetado o acúmulo de matéria seca nas plântulas, visto que, a maior disponibilidade de fósforo na semente facilita a translocação de reservas para a plântula (Nadeem et al., 2012). O fósforo é quase que totalmente utilizado no processo de germinação ou translocado para a plântula (Lamont e Groom, 2002). Estes resultados podem estar relacionados também ao tamanho das sementes, visto que quanto maior o conteúdo de reservas maior será a quantidade translocada.

Tabela 19. Matéria seca de plântulas (mg) de cinco cultivares de soja, cuja as sementes foram produzidas em solo adubado com três doses de fósforo: 200, 100 e 50 mg dm⁻³

Dose de P (mg dm ⁻³)	Cultivares					Média
	Candeia	M 7908	TMG 1176	TMG 132	Valiosa	
200	157,7 a	191,1 a	117,5 a	124,1 a	190,3 a	156,2
100	160,2 a	187,5 a	111,2 a	124,2 a	162,3 b	149,1
50	95,9 b	126,5 b	98,4 a	90,5 b	114,3 c	105,1
CV (%)	6,11					

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

De maneira geral verifica-se que a baixa disponibilidade de fósforo no solo afeta negativamente não somente o desenvolvimento e produção das plantas, mas também, pode afetar o desempenho fisiológico das sementes colhidas. Já o teor de fósforo das sementes semeadas afeta apenas algumas características, como o número de ramificações, número de sementes e matéria seca da haste das plantas. A produção das plantas é afetada pelo teor de fósforo das sementes apenas quando as mesmas são cultivadas em solo com baixa disponibilidade de fósforo. Assim, o aumento do teor de fósforo das sementes via adubação da planta genitora pode ser benéfico para o desenvolvimento das plantas de soja, principalmente quando cultivadas em solos pobres de fósforo.

CONCLUSÕES

Sementes com alto teor de fósforo originam plantas com maior número de ramificações e número de sementes.

Em solos com baixa disponibilidade de fósforo, plantas oriundas de sementes com maior teor deste nutriente apresentam maior produção.

A emergência de plântulas das cultivares M 7908, TMG 132 e Valiosa foi menor quando as plantas genitoras foram cultivadas em solo com baixa disponibilidade de fósforo.

Plantas da cultivar TMG 1176 originadas de sementes com alto teor de fósforo produzem sementes com maior emergência de plântulas.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, A. P.; TEIXEIRA, M. G.; LIMA, E. R. Efeitos do aumento do teor de fósforo na semente, obtido via adubação foliar, no crescimento e na nodulação do feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 183-189, 2012.
- AZEKE, M. A.; GREINER, R.; JANY, K. Purification and characterization of two intracellular phytases from the tempeh fungus *Rhizopus oligosporus*. **Journal of Food Biochemistry**, v. 35, n. 1, p. 213-227, 2011.
- BARRY, D. A. J.; MILLER, M. H. Phosphorus nutritional requirement of maize seedlings for maximum yield. **Agronomy Journal**, v. 81, n. 1, p. 95-99, 1989.
- BATISTELLA FILHO, F.; FERREIRA, M. E.; VIEIRA, R. D.; DA CRUZ, M. C. P.; CENTURION, M. A. P.; SYLVESTRE, T. B.; RUIZ, J. G. C. L. Adubação com fósforo e potássio para produção e qualidade de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 7, p. 783-790, 2013.
- BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M.; NONOGAKI, H. **Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy**, 3rd Edition, Springer, 2013. 392p.
- BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; CAMARGO, F. A. O.; TEDESCO, M. J. **Fertilidade dos solos e manejo de adubação de culturas**. Porto Alegre: Metrópole, 2ed. 2008. 344p.
- BRASIL. Instrução normativa nº 45, de 17 de setembro de 2013. **Diário Oficial da União**, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, DF, 18 set. 2013, Seção I, p.16.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 395p.
- CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 1, p. 161-169, 2000.
- CALLAHAN, H. S.; PIGLIUCCI, M. Indirect consequences of artificial selection on plasticity to light quality in *Arabidopsis thaliana*. **Journal of Evolutionary Biology**, v. 18, n. 6, p. 1403-1415, 2005.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012, 590p.

CHIERA, J.; RUFTY, T. Leaf initiation and development in soybean under phosphorus stress. **Journal of Experimental Botany**. v. 53, p. 473–481, 2002.

CONAB Acompanhamento da safra brasileira de grãos, **Sétimo Levantamento** v. 2 - Safra 2014/15, n.7 -, Brasília, p. 1-100, abr. 2015. Disponível em: www.conab.gov.br. Acesso em: 20 de abr. de 2015.

DE MARCO, D. G. Effect of seed weight, and seed phosphorus and nitrogen concentrations on the early growth of wheat seedlings. **Animal Production Science**, v. 30, n. 4, p. 545-549, 1990.

ESCOBIN-MOPERA, L.; OHTANI, M.; SEKIGUCHI, S.; SONE, T.; ABE, A.; TANAKA, M.; ASANO, K. Purification and characterization of phytase from *Klebsiella pneumoniae* 9-3B. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 113, n. 5, p. 562-567, 2012.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames, Iowa: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 12p.

GAVITO, M. E.; MILLER, M. H. Early phosphorus nutrition, mycorrhizae development, dry matter partitioning and yield of maize. **Plant and Soil**, v. 199, n. 2, p. 177-186, 1998.

GILROY, S.; TREWAVAS, A. Signal processing and transduction in plant cells: the end of the beginning. **Nature Reviews Molecular and Cell Biology**, v. 2, p. 307-314, 2001.

GRANT, C. A.; FLATEN, D. N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. The importance of early season phosphorus nutrition. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 81, n. 2, p. 211-224, 2001.

GUERRA, C. A.; MARCHETTI, M. E.; ROBAINA, A. D.; DE SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; NOVELINO, J. O. Qualidade fisiológica de sementes de soja em função da adubação com fósforo, molibdênio e cobalto. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 28, n. 1, p. 1-7, 2006.

GUNGULA, D. T.; KLING, J. G.; TOGUN, A. O. CERES-Maize predictions of maize phenology under nitrogen-stressed conditions in Nigeria. **Agronomy Journal**, v. 95, n. 4, p. 892-899, 2003.

KRUEGER, K.; GOGGI, A. S.; MALLARINO, A. P.; MULLEN, R. E. Phosphorus and potassium fertilization effects on soybean seed quality and composition. **Crop Science**, v. 53, n. 2, p. 602-610, 2013.

LÓPEZ-RÁEZ, J. A.; CHARNIKHOVA, T.; GÓMEZ-ROLDÁN, V.; MATUSOVA, R.; KOHLEN, W.; DE VOS, R.; BOUWMEESTER, H. Tomato strigolactones are derived from carotenoids and their biosynthesis is promoted by phosphate starvation. **New Phytologist**, v. 178, n. 4, p. 863-874, 2008.

LUCHESE, A. V.; GONÇALVES JUNIOR, A. C.; LUCHESE, E. B.; BRACCINI, M. C. L. Emergência e absorção de cobre por plantas de milho (*Zea mays*) em resposta ao tratamento de sementes com cobre. **Ciência Rural**, v. 24, n. 6, p. 1949-1952, 2004.

LYNCH, J. P.; BROWN, K. M. Topsoil foraging—an architectural adaptation of plants to low phosphorus availability. **Plant and Soil**, v. 237, n. 2, p. 225-237, 2001.

MA, Q.; LONGNECKER, N.; ATKINS, C. Varying phosphorus supply and development, growth and seed yield in narrow-leafed lupin. **Plant and Soil**, v. 239, n. 1, p. 79-85, 2002.

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

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba, FEALQ, v. 12. 2005. 495p.

MARIN, R. S. F. **Fósforo na qualidade de sementes de soja e consequente desempenho na produção de grãos**. 2012. 47p. Dissertação (Mestrado em Ciências). Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, UFPEL, Pelotas, 2012.

MIMURA, T.; REID, R. J.; SMITH, F. A. Control of phosphate transport across the plasma membrane of *Chara corallina*. **Journal of Experimental Botany**, v. 49, n. 318, p. 13-19, 1998.

MIMURA, T. Physiological control of phosphate uptake and phosphate homeostasis in plant cells. **Functional Plant Biology**, v. 28, n. 7, p. 655-660, 2001.

NADEEM, M., MOLLIER, A.; MOREL, C.; VIVES, A.; PRUD'HOMME, L.; PELLERIN, S. Maize (*Zea mays* L.) endogenous seed phosphorus remobilization is not influenced by exogenous phosphorus availability during germination and early growth stages. **Plant and Soil**, v. 357, n. 1-2, p. 13-24, 2012.

NADEEM, M.; MOLLIER, A.; MOREL, C.; SHAHID, M.; ASLAM, M.; ZIA-UR-REHMAN, M.; PELLERIN, S. Maize seedling phosphorus nutrition: allocation of remobilized seed phosphorus reserves and external phosphorus uptake to seedling roots and shoots during early growth stages. **Plant and Soil**, v. 371, n. 1-2, p. 327-338, 2013.

- NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. In: VIEIRA, R. D., CARVALHO, N. M. (Ed.) **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p. 49-85.
- NIELSEN, K.; ESHEL, A.; LYNCH, J. P. The effect of phosphorus availability on the carbon economy of contrasting common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. **Journal of Experimental Botany**, v. 52, p. 329-339, 2001.
- NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente protegido. **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo** (EMBRAPA), Brasília, DF, 1991. p. 189-253.
- OLIBONE, D.; ROSOLEM, C. A. Phosphate fertilization and phosphorus forms in an Oxisol under no-till. **Scientia Agricola**, v. 67, p. 465-471, 2010.
- PARENTONI, S. N.; SOUZA JÚNIOR, C. L. Phosphorus acquisition and internal utilization efficiency in tropical maize genotypes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 7, p. 893-901, 2008.
- PELLERIN, S.; MOLLIER, A.; PLÉNET, D. Phosphorus deficiency affects the rate of emergence and number of maize adventitious nodal roots. **Agronomy Journal**, v. 92, n. 4, p. 690-697, 2000.
- PÉREZ-TORRES, C. A.; LÓPEZ-BUCIO, J.; CRUZ-RAMÍREZ, A.; IBARRA-LACLETTE, E.; DHARMASIRI, S.; ESTELLE, M.; HERRERA-ESTRELLA, L. Phosphate availability alters lateral root development in Arabidopsis by modulating auxin sensitivity via a mechanism involving the TIR1 auxin receptor. **The Plant Cell**, v. 20, n. 12, p. 3258-3272, 2008.
- PESKE, S. T.; BARROS, A. C. S. A.; SCHUCH, L. O. B.; Produção de sementes. In: PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; MENEGHELLO, G. E. (Eds.). **Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos**. 3. ed. Pelotas: UFPel, 2012. p. 13-103,
- RABOY, V.; DICKINSON, B. D. The timing and rate of phytic acid accumulation in developing soybean seeds. **Plant Physiology**, v. 3, n. 85, p. 841-844, 1987.
- RABOY, V. Approaches and challenges to engineering seed phytate and total phosphorus. **Plant Science**, v. 177, p. 281-296, 2009.
- RAGHOTHAMA, K. G. Phosphate acquisition. **Annual Review of Plant Biology**, v. 50, n. 1, p. 665-693, 1999.
- RAVINDRAN, V.; RAVINDRAN, G.; SIVALOGAN, S. Total and phytate phosphorus contents of various foods and feedstuffs of plant origin. **Food Chemistry**, v. 50, n. 2, p. 133-136, 1994.

RHEINHEIMER, D. S. **Dinâmica do fósforo em sistemas de manejo de solos**. 2000. 210p. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

RODRIGUEZ, D.; ZUBILLAGA, M. M.; PLOCHUK, E. L.; KELTJENS, W. G.; GOUDRIAAN, A.; LAVADO, R. S. Leaf area expansion and assimilate production in sunflower (*Helianthus annuus* L.) growing under low phosphorus conditions. **Plant Soil** v. 202, p. 133-147, 1998.

ROS, C.; BELL, R. W.; PETER F. Effect of seed phosphorus and soil phosphorus applications on early growth of rice (*Oryza sativa* L.) cv. IR66. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 43, n. 3, p. 499-509, 1997.

SALUM, J. D.; ZUCARELI, C.; GAZOLA, E.; NAKAGAWA, J. Características químicas e fisiológicas de sementes de feijão em função do teor de fósforo na semente e doses de fósforo no solo. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 1, p. 140-149, 2008.

SCHULTZ, J. E.; FRENCH, R. J. The mineral content of cereals, grain legumes and oilseed crops in South Australia. **Animal Production Science**, v. 18, n. 93, p. 579-585, 1978.

SECEX Secretaria de Comércio Exterior. **Balança Comercial Brasileira**. Disponível em: www.comexbrasil.gov.br Acesso em: 20 de março de 2015.

SFREDO, G. J. Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral. **Documentos Embrapa Soja**, Londrina, n. 305, 2008. 148p.

SHEN, H.; CHEN, J.; WANG, Z.; YANG, C.; SASAKI, T.; YAMAMOTO, Y.; YAN, X. Root plasma membrane H⁺-ATPase is involved in the adaptation of soybean to phosphorus starvation. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, n. 6, p. 1353-1362, 2006.

SOARES, M. M. **Efeito do recobrimento de sementes com fósforo na qualidade das sementes, nodulação e crescimento das plantas de soja**. 2009. 61f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

SOARES, M. M. **Nodulação, nutrição, componentes de rendimento e qualidade de sementes de soja em função do recobrimento de sementes e parcelamento da adubação fosfatada**. 2013. 98f. Tese (Doutorado em Fitotecnia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

- SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E.; REIN, T. A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados, 2002. p. 147-168.
- TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros minerais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985.
- THOMAS, A. L.; COSTA, J. A.; PIRES, J. L. Rendimento de grãos de soja afetado pelo espaçamento entre linhas e fertilidade do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 4, p. 543-546, 1998.
- THOMSON, B. D.; BELL, R. W.; BOLLAND, M. D. A. Low seed phosphorus concentration depresses early growth and nodulation of narrow-leaved lupin (*Lupinus angustifolius* cv. Gungurru). **Journal of Plant Nutrition**, v. 14, n. 12, p. 1355-1367, 1991.
- TRIGO, L. F. N.; PESKE, S. T.; GASTAL, M.; VAHL, L. C.; TRIGO, M. F. O. Efeito do conteúdo de fósforo na semente de soja sobre o rendimento da planta resultante. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 19, n. 1, p. 111-115, 1997.
- ULLRICH, E. C. I.; NOVACKY, A.; VAN BEL, A. J. E. Phosphate uptake in *Lemna gibba* G1: energetics and kinetics. **Planta**, v. 161, n. 1, p. 46-52, 1984.
- USDA World Agricultural Supply and Demand Estimates Disponível em: <http://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.pdf> Acesso em 20 de abr. de 2015.
- VANCE, C. P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D. L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, v. 157, n. 3, p. 423-447, 2003.
- VANZOLINI, S.; ARAKI, C. A. D. S.; SILVA, A. C. T. M.; NAKAGAWA, J. Teste de comprimento de plântula na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 2, p. 90-96, 2007.
- VITTI, G. C.; TREVISAN, W. **Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade da soja**. Potafos. Informações Agronômicas. n. 90 – jun/2000. 16p.
- WHITE, P. J.; VENEKLAAS, Erik J. Nature and nurture: the importance of seed phosphorus content. **Plant and Soil**, v. 357, n. 1-2, p. 1-8, 2012.
- WILCOX, J. R.; PREMASHANDRA, G. S.; YOUNG, K. A.; RABOY, V. Isolation of high seed inorganic P, low-phytate soybean mutants. **Crop Science**, v. 40, n. 6, p. 1601-1605, 2000.

WILLIAMSON, L. C.; RIBRIOUX, S. P.; FITTER, A. H.; LEYSER, H. O. Phosphate availability regulates root system architecture in *Arabidopsis*. **Plant Physiology**, v. 126, n. 2, p. 875-882, 2001.

ZHANG, M.; NYBORG, M.; MCGILL, W. B. Phosphorus concentration in barley (*Hordeum vulgare* L.) seed: influence on seedling growth and dry matter production. **Plant and Soil**, v. 122, n. 1, p. 79-83, 1990.

ZHU, Y.; SMITH, S. E. Seed phosphorus (P) content affects growth, and P uptake of wheat plants and their association with arbuscular mycorrhizal (AM) fungi. **Plant and Soil**, v. 231, n. 1, p. 105-112, 2001.

ZIMMER, P. D. Fundamentos da qualidade de sementes In: **Sementes: Fundamentos científicos e tecnológicos** Ed: PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; MENEGHELLO, G. E. 3.ed Ed. Universitária/UFPel, Pelotas, 2012. 573p.

ZUCARELI, C.; RAMOS JUNIOR, E. U.; BARREIRO, A. P.; NAKAGAWA, J.; CAVARIANI, C. Adubação fosfatada, componentes de produção, produtividade e qualidade fisiológica em sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 1, p. 9-15, 2006.

ZUCARELI, C.; PRANDO, A. M.; RAMOS JUNIOR, E. U.; NAKAGAWA, J. Fósforo na produtividade e qualidade de sementes de feijão Carioca Precoce cultivado no período das águas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 32-38, 2011.

ANEXO 1

Efeito do teor de fósforo das sementes, disponibilidade de fósforo no solo, cultivares de soja e suas interações no quociente de utilização de fósforo, germinação das sementes colhidas, comprimento de plântulas, matéria seca e emergência de plântulas

Fator	Variáveis				
	Quociente de util. de P	Germinação	Comprimento Plântulas	Matéria Seca	Emergência
Cultivar (C)	*	*	*	*	*
Dose (D)	*		*	*	*
CxD	*	*	*	*	*
Teor (T)	*				*
CxT			*		*
TxD			*		*
CxTxD				*	
CV (%)	20,03	4,89	7,36	6,11	6,26

*Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade

ANEXO 2

Efeito do teor de fósforo nas sementes, dose de fósforo no solo, cultivares de soja, e suas interações na altura de plantas e estágio de desenvolvimento aos 30 dias após a emergência, duração do período vegetativo, número de ramificações das plantas e matéria seca da haste

Fator	Variáveis				
	Altura	Estádio	Período Vegetativo	Número de Ramificações	M.S. Haste
Cultivar (C)	*	*	*	*	*
Dose (D)	*	*	*	*	*
CxD	*	*	*	*	*
Teor (T)			*	*	*
CxT	*			*	
TxD					
CxTxD	*		*		*
CV (%)	14,07	8,96	4,03	23,03	13,51

*Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade

ANEXO 3

Efeito do teor de fósforo das sementes, disponibilidade de fósforo no solo, cultivares de soja e suas interações no diâmetro das plantas no momento da colheita, produção de sementes, teor de fósforo nas sementes, número de semente e peso de mil sementes

Fator	Variáveis				
	Diâmetro	Produção	Teor de fósforo	Número de Sementes	Peso de 1000 Sementes
Cultivar (C)	*	*		*	*
Dose (D)	*	*	*	*	*
CxD		*	*	*	*
Teor (T)				*	
CxT	*		*		*
TxD		*			
CxTxD			*		
CV (%)	11,93	17,67	8,87	17,68	7,18

*Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade