

Germinação de sementes de feijão produzidas com diferentes doses de silício e condições hídricas

Valeria Pohlmann^{1*}; Caren Alessandra da Rosa¹; Alberto Eduardo Knies²; Marcondes Lazzari²; Fernanda Ludwig³

¹Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS.

^{1*}valeriapohlmann@hotmail.com.

²Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), Cachoeira do Sul, RS.

³Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), Santa Cruz do Sul, RS.

Resumo: O feijoeiro é sensível a deficiência hídrica, e uma alternativa que vêm sendo utilizada para diminuir os efeitos desse estresse, é a aplicação de silício (Si). Os efeitos do déficit hídrico podem ser refletidos às sementes produzidas pelas plantas injuriadas, resultando em menor qualidade germinativa. Considerando a deficiência de estudos na área, objetivou-se avaliar a germinação de sementes produzidas com diferentes doses de Si e condições hídricas. Dois experimentos foram conduzidos em casa de vegetação com blocos inteiramente casualizados, com seis doses de Si (0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5kg Si ha⁻¹), com e sem deficiência hídrica e quatro repetições. Foi imposto déficit hídrico na floração de até 42,81mm de evapotranspiração acumulada. A primeira safra foi de janeiro a abril de 2017 e a segunda de agosto a novembro de 2017. As sementes foram colhidas e armazenadas até a realização do teste de germinação, ocorrido em junho de 2018. Para o teste, utilizou-se três folhas de papel toalha, umedecidas com água destilada e mantidas a 25°C. Foram computadas as porcentagens de plântulas normais aos 5° e 9° dia após a instalação do teste. Ao 5° dia foi medido o comprimento da radícula (CR) de 5 unidades por parcelas. As plantas em condição de deficiência hídrica produziram sementes com menor porcentagem de germinação e CR na segunda safra. As doses de Si influenciaram no CR, com melhores resultados para as doses de 1,0 e 1,5 kg Si ha⁻¹ na primeira safra.

Palavras-chave: Adubação silicatada; escassez hídrica; qualidade fisiológica das sementes.

Germination of bean seeds produced with different doses of silicon and water conditions

Abstract: Beans are sensitive to water deficiency, and an alternative that has been used to reduce the effects of this stress is the application of silicon (Si). The effects of the water deficit can be reflected to the seeds produced by the injured plants, resulting in a lower germination quality. Considering the deficiency of studies in the area, the objective was to evaluate the germination of seeds produced with different Si doses and water conditions. Two experiments were conducted in a greenhouse with completely randomized blocks, with six doses of Si (0; 0.5; 1.0; 1.5; 2.0; 2.5kg Si ha⁻¹), with and without deficiency and four replicates. Flowering water deficit was imposed at up to 42.81 mm of accumulated evapotranspiration. The first harvest was from January to April 2017 and the second from august to november 2017. The seeds were harvested and stored until the germination test was carried out in June 2018. For the test, three leaves of paper towel, moistened with distilled water and held at 25 ° C. The percentages of normal seedlings were computed on the 5th and 9th days after the test installation. At day 5, the length of the radicle (CR) of 5 units per plots was measured. The plants in water deficiency condition produced seeds with lower percentage of germination and CR in the second harvest. The Si doses influenced the CR, with better results for the doses of 1.0 and 1.5 kg Si ha⁻¹ in the first harvest.

Keywords: Silicate fertilization.; water shortage; physiological quality of seeds.

Introdução

O feijão (*Phaseolus vulgaris*) é uma das graníferas mais importantes na agricultura brasileira, devido principalmente ao seu alto teor proteico, sendo fator de segurança alimentar e nutricional da população (ZUCARELI *et al.*, 2015). Também possui importância econômica, tendo apresentado acréscimo de 13,4% na área plantada na safra 2016/2017. Além disso, a

produtividade média aumentou 18,2% na última temporada, alcançando 1249 kg ha⁻¹ (CONAB, 2017).

Entre os fatores que limitam a expressão do potencial produtivo dos feijoeiros, destacam-se as cultivares pouco produtivas, os estresses bióticos tais como pragas e doenças, mas principalmente, a deficiência hídrica, pois essa condição afeta negativamente a cultura durante todo seu ciclo (LAGO *et al.*, 2009; GUIMARÃES *et al.*, 2011; MIORINI; SAAD; MENEGALE, 2011). O feijão é sensível ao déficit hídrico devido ao seu sistema radicular pouco desenvolvido e a baixa capacidade de recuperação da planta após o estresse hídrico (FRANCISCO *et al.*, 2016). A ocorrência da escassez hídrica pode comprometer a área foliar, acelerar a senescência e a abscisão das folhas, mudar a orientação foliar, aumentar a quantidade de tricomas ou influenciar na produção de cutícula espessa (TAIZ *et al.*, 2017). Devido ao aquecimento global, essa condição hídrica está aumentando no planeta (YANG *et al.*, 2010), sendo que no Rio Grande do Sul, de cada dez anos, sete apresentam deficiência hídrica (SEAPA, 2014).

O silício (Si) vem sendo utilizado por seus possíveis benefícios às culturas. A adubação silicatada pode melhorar a arquitetura das plantas (JÚNIOR *et al.*, 2011), amenizar os efeitos tóxicos causados por metais como zinco, cádmio (ACCIOLY, SOARES e SIQUEIRA, 2009), cádmio (FENG *et al.*, 2010) e cromo (TRIPATHI *et al.*, 2012) e proporcionar a resistência à patógenos (SANTOS *et al.*, 2010; SORATTO *et al.*, 2012; ANJOS *et al.*, 2014) e herbívoros (FREITAS, JUNQUEIRA e FILHO, 2012; PINTO *et al.*, 2014). Além disso, o Si é depositado abaixo da cutícula das folhas, formando uma dupla camada que diminui a transpiração, contribuindo na resistência à deficiência hídrica (MA *et al.*, 2001).

Além da resistência à deficiência hídrica, a obtenção de elevadas produtividades necessita de técnicas de manejo, seleção de cultivares mais produtivas e o uso de sementes de alta qualidade (BINOTTI *et al.*, 2008). A semente com boas características sanitárias, físicas, genéticas e fisiológicas, pode ser o insumo de maior significância na produtividade (FRANÇA NETO *et al.*, 2010). Dentre elas, a qualidade fisiológica da semente é dependente das condições em que foram geradas, em que a disponibilidade hídrica durante e antes da sua formação podem influenciar no vigor e na viabilidade das sementes (CARVALHO e NAKAGAWA, 2012). Em plantas de cebolas que sofreram deficiência hídrica, foi verificado que as sementes produzidas apresentaram decréscimo no vigor (LIMA e OLIVEIRA, 2018).

Considerando a deficiência hídrica e a sensibilidade do feijão a esta condição, aliado à escassez de informações sobre a qualidade fisiológica de sementes produzidas sob déficit

hídrico, o objetivo desse estudo foi avaliar a germinação de sementes produzidas por plantas conduzidas com diferentes doses de Si e condições hídricas.

Material e Métodos

As sementes utilizadas para o teste de germinação foram provenientes de experimentos prévios realizados em casa de vegetação, em duas safras de produção, em Cachoeira do Sul/RS. A primeira safra foi conduzida durante o período de janeiro a abril de 2017 com a cultivar de feijão Minuano e na segunda safra de agosto a novembro de 2017 com a cultivar de feijão BRS Expedito. Ambas cultivares pertencem à Embrapa e ao grupo comercial de grãos pretos, amplamente cultivados pelos agricultores da região. O delineamento experimental utilizado em ambos experimentos foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 6x2, sendo 6 doses de silício (Si), com e sem deficiência hídrica na floração, equatro repetições. As doses de silício (Si) foram: 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5kg Si ha⁻¹.

As parcelas foram conduzidas com aplicação foliar única na primeira safra, e parcelada em três vezes na segunda safra. Como fonte de Si, utilizou-se um produto comercial com 68,1% de silício, 6% de cálcio, 5,7% de fósforo, 5,2% de potássio, 4,4% de magnésio, 4% de ferro, 2% de molibdênio, 2% de zinco e 1% de cobalto. As concentrações dos demais nutrientes presentes no produto, aplicados nos tratamentos foram corrigidas em cada parcela.

O substrato utilizado foi o Argissolo Vermelho distrófico, cujas características foram determinadas por análise química e corrigidas seguindo a recomendação do Manual de Adubação e Calagem (COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 2016). O solo foi retirado na camada 0-25 cm, seco ao ar, peneirado em malha de 5cm e colocado em vasos do tipo garrafa pet com 2 L de capacidade, revestidos com tinta preta, o qual constituiu a parcela.

A irrigação foi automática, comandada por arduino com sensores de umidade do solo. A tensão de comando foi definida a partir da curva de tensão da água no solo, utilizada por Knies (2010). Considerando a profundidade média de 25 cm, a capacidade de campo (CC) foi de 81,13 mm, a fração de esgotamento da umidade do solo (p) de 0,45 (ALLEN *et al.*, 2006) foi de 57,61 mm, o déficit hídrico para o feijão de 42,61 mm e o ponto de murcha permanente (PMP) de 28,88 mm. A quantidade de água corresponde a CC foi de 308,28 mL, o p de 218,92 mL e do déficit hídrico de 161,92 mL. O solo não alcançou a umidade do PMP. O funcionamento do sistema consiste no sensor de umidade interpretar a condição hídrica do solo e transmitir ao arduino um sinal que varia entre 0 a 5 V, que corresponde aos números de 0 a

1023 no arduino. Nas plantas com déficit hídrico, ao valor de 475 lido pelo arduino, irrigou-se 146,36mL para o solo atingir à CC. Nas plantas sem déficit hídrico, ao valor de 625 no arduino irrigou-se 89,36 mL até alcançar à CC.

As parcelas correspondentes à ausência da deficiência hídrica foram irrigadas conforme a necessidade da cultura durante todo o ciclo. As parcelas correspondentes à deficiência hídrica foram irrigadas até a CC até o florescimento (R6), quando foi imposto o déficit hídrico até 42,61mm de evapotranspiração de referência (ET₀) acumulada, sendo este valor definido por 15mm subtraído de 57,61, representando um déficit hídrico de intensidade de 26%. Após esse período, a irrigação foi retomada conforme a necessidade da cultura até o final do ciclo. A primeira safra foi conduzida sem a aplicação de agrotóxicos, e na segunda, foram realizadas 4 aplicações quinzenais de fungicidas, cujos princípios ativos foram trifloxistrobina com protioconazole, manganês etilenebis com complexo de sal de zinco e uma aplicação de inseticida com princípio ativo deltametrina.

As sementes foram colhidas após as plantas entrarem em completa maturação (R9) e secas até umidade de 13%. Após, foram acondicionadas em sacos de papel pardo em sala sob condições ambiente até a realização do experimento de germinação.

O experimento de germinação foi conduzido no Laboratório de Sementes da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS) em Cachoeira do Sul, no mês de junho de 2018. O número de sementes de cada tratamento variou de acordo com a produtividade das safras, visto que as plantas sob deficiência hídrica apresentaram baixa produção. Foram utilizadas 4 repetições, com 20 sementes por parcela na primeira safra e 30 sementes por parcela na segunda safra, seguindo o mesmo delineamento experimental conduzido em casa de vegetação.

As sementes foram distribuídas equidistantes entre três folhas de papel toalha, sendo duas destas utilizadas como base e uma para cobrir, organizadas em rolos, umedecidas com água destilada na proporção de 3 vezes a massa seca do papel toalha e colocadas para germinar em câmara de crescimento com temperatura constante de 25°C. A condução dos testes seguiu as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). Foram computadas as porcentagens de plântulas normais para cada repetição, com contagens aos 5° e 9° dia após a instalação do teste. Ao 5° dia foi medido o comprimento da radícula com auxílio de paquímetro, em 5 unidades por parcelas, determinando-se sua média.

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Os efeitos das doses foram submetidos a análise de regressão testando os modelos lineares e quadráticos e os efeitos

do déficit hídrico e das safras foram submetidos ao teste Scott-Knott a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011).

Resultados e Discussão

A condição hídrica refletiu em diferença significativa na segunda safra para a primeira contagem de germinação e comprimento da radícula (Tabela 1). Na segunda safra, as sementes que foram produzidas sem deficiência hídrica apresentaram maior porcentagem de germinação na primeira contagem e também maior comprimento da radícula. Plantas bem nutridas, conduzidas sem estresses, possuem recursos para produzir sementes de maior qualidade e vigor (KIKUTI *et al.*, 2007). Entretanto, Tavares *et al.* (2013) constataram que não ocorreu diferença significativa no vigor de sementes de soja produzidas por plantas com déficit hídrico do primeiro ao décimo dia de crescimento.

Tabela 1 - Porcentagem de germinação (PG) ao 5º dia e ao 9º dia e comprimento da radícula (CR) nas primeiras (1ª) e segundas (2ª) safras de feijão comum.

Condição Hídrica	Dose kgha ⁻¹	PG		CR			
		Safra					
		1ª	2ª	1ª	2ª		
		5º dia				9º dia	
		-----%-----				-----cm-----	
Sem Déficit Hídrico	0,0	95,0	100,0	95,0	100,0	10,9	
	0,5	91,2	99,2	95,0	100,0	10,7	
	1,0	95,0	98,3	95,0	100,0	12,5	
	1,5	97,5	99,2	98,7	100,0	11,4	
	2,0	93,7	99,2	96,2	100,0	12,0	
	2,5	93,7	99,17	96,2	100,0	8,0	
Média		94,4	99,2 A	96,0	100,0	10,9	
Com Déficit Hídrico	0	98,7	95,8	98,7	96,7	11,4	
	0,5	95,0	95,8	96,2	100,0	11,3	
	1	93,7	98,3	97,5	100,0	11,5	
	1,5	100,0	99,2	100,0	99,2	12,6	
	2	93,7	95,0	95,0	100,0	11,2	
	2,5	98,7	92,5	100,0	96,7	10,6	
Média		96,7	96,1 B	97,9	98,7	11,4	
CH		ns	*	ns	ns	*	
D		ns	ns	ns	*	ns	
S		ns	ns	*	*	ns	
CV (%)		7,1	4,1	4,6	2,4	13,1	
						19,8	

Teste F para condição hídrica (CH); Teste F para doses (D); Teste F para safra (S). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott. Letras maiúsculas nas médias significam diferença significativa

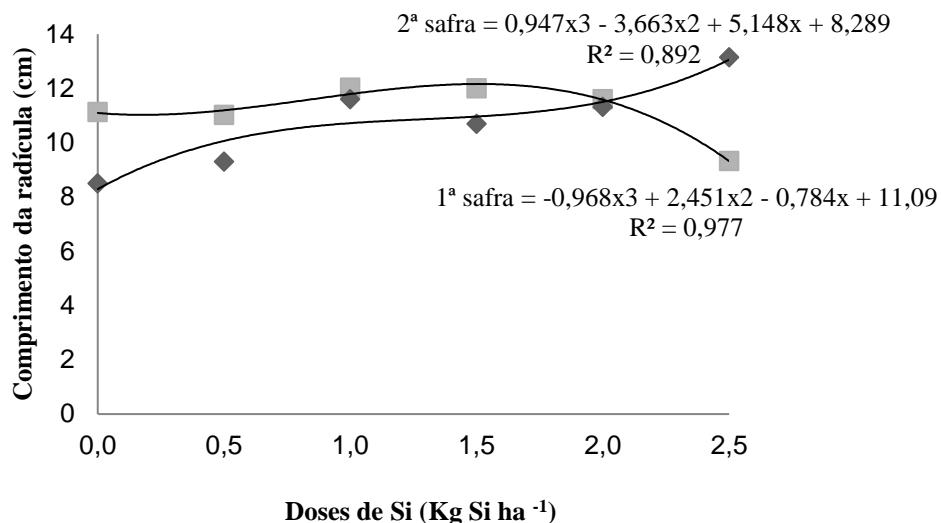
entre as condições hídricas NS: não significativo ao nível de 5% de probabilidade. * significativo a 5% de probabilidade.

Para a primeira safra, o comprimento das radículas apresentou diferença significativa em sementes produzidas por plantas com as diferentes doses de Si, com comportamento cúbico (Figura 1). Na segunda safra a condição hídrica refletiu em menor comprimento da radícula para as plantas estressadas. Pode-se inferir que na primeira safra os maiores comprimentos ocorrem para as doses de 1,0 e 1,5kg de Si ha^{-1} . Em contrapartida, na segunda safra, o comprimento das radículas aumentou até a dose de 1,5kg Si ha^{-1} , a qual resultou em 10,70 cm. A partir da dose de 2,0kg Si ha^{-1} o comprimento da radícula voltou a aumentar até 13,16cm na dose de 2,5 kg Si ha^{-1} .

Nas duas safras, as menores doses de Si, de 0 e 0,5 kg Si ha^{-1} refletiram em menor comprimento da radícula, com exceção da dose de 2,5 kg Si ha^{-1} na primeira safra. Possivelmente o não parcelamento das doses de Si na primeira safra pode ter resultado em acúmulo excessivo de Si nas sementes e ter causado fitotoxidez. Na fase inicial do desenvolvimento da cultura do milho, da germinação até a emergência (VE), Filho *et al.* (2007) observaram o crescimento das raízes, até a dose de 200 kg ha^{-1} de Agrosilícico, sugerindo que altos valores podem ser tóxicos ao desenvolvimento das raízes. A toxidez pode ser ocasionada pela maior salinidade do fertilizante, que irá afetar o potencial osmótico do meio (KLUTHCOUSKI e STONE, 2003).

A porcentagem de germinação média das sementes produzidas com e sem déficit hídrico, ao 9º dia, apresentou maior valor, de 99,37% para a segunda safra, e menor valor, de 96,98% para a primeira safra. O tempo de armazenamento pode explicar essa diferença, pois as sementes provenientes da primeira safra permaneceram armazenadas durante 1 ano e 4 meses, enquanto as sementes da segunda safra, permaneceram por apenas 7 meses. Essa observação é corroborada por Skowronski *et al.* (2004), que identificaram perdas de vigor de feijão após seis meses de armazenamento, também por Silva *et al.* (2014) que observaram perda na qualidade fisiológica das sementes de algumas cultivares de feijão, com doze meses de armazenamento e por Santos *et al.* (2005), que constataram reduções de 5 a 15%, na porcentagem de germinação das sementes de feijão de quatro cultivares, após serem armazenadas por oito meses em condições de ambiente não controlado. Para Menezes e Villela (2005), a diminuição de vigor das sementes de feijão ao longo do armazenamento foi demonstrada pela redução na velocidade de germinação e tamanho das plântulas.

Figura 1 - Comprimento da radícula (cm) das sementes de feijão germinadas ao 5º dia de avaliação.



As informações quanto a qualidade das sementes de feijão geradas por plantas que sofreram déficit hídrico são escassas. O estudo apontou que mesmo que o tempo de armazenamento e as condições hídricas tenham ocasionado redução na porcentagem de germinação, os valores obtidos para as cultivares Minuano e Expedito estão acima do padrão exigido para produção e comercialização de sementes de feijão, cuja porcentagem mínima deve ser de 70% para sementes básicas e 80% para as sementes certificadas (C1 e C2) ou não certificadas (S1 e S2) (BRASIL, 2005).

Conclusão

As plantas em condição de deficiência hídrica produziram sementes com menor porcentagem de germinação e comprimento da radícula na segunda safra. As doses de Si influenciaram no comprimento da radícula, com melhores resultados para as doses de 1,0 e 1,5 kg Si ha⁻¹ na primeira safra.

Referências

ACCIOLY, A.M.A.; SOARES, C.R.F.S.; SIQUEIRA, J.O. Silicato de cálcio como amenizante da toxidez de metais pesados em mudas de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 2, p. 180-188, 2009.

ALLEN, R.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiración del cultivo, guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Itália: FAO, 2006. 231 p.

ANJOS, T.V.; TEBALDI, N.D.; MOTA, L.C.B.M.; COELHO, L. Fontes de silício no controle da mancha bacteriana (*Xanthomonas* spp.) do tomateiro. **Summa Phytopathol**, v. 40, n. 4, p. 365-367, 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa 25/2005. **Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento** (Anexo V - Padrões para produção e comercialização de sementes de feijão). Brasília, DF, 20 dez. 2005. Seção 1, p. 18.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Secretaria de Defesa Agropecuária. 2009. 395p.

BRAY, E. Genes commonly regulated by water-deficit stress in *Arabidopsis thaliana*. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 407, p. 2331-2341, 2004.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: Ciência e Tecnologia de Produção**. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 590 p.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Rio Grande do Sul e Santa Catarina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016. 376p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2016/17**: Nono Levantamento-Junho/2017. Dados de safra. 2017. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 18 jun. 2017.

FENG, J.; SHI, W.; WANG, X.; WEI, M.; YANG, F.; XU, H. Silicon supplementation ameliorated the inhibition of photosynthesis and nitrate metabolism by cadmium (Cd) toxicity in *Cucumis sativus* L. **Scientia Horticulturae**, v. 123, n. 4, p. 521-530, 2010.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistic analalysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n. 6, p.1039-1042, 2011.

FILHO, A.C.; PEREIRA, L.J.; CORTEZ, J.W.; CARVALHO, L.C.C.; DRUMOND, L.C.D. Agressividade da adubação com silicato sobre a germinação do milho. **Scientia Agraria**, v.8, n.2, p.199-203, 2007.

FRANÇA NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; HENNING, A.A. **A importância do uso de sementes de soja de alta qualidade**.2010. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/661047/1/ID30537.pdf>>. Acesso em: 30 jul. 2018.

FRANCISCO, P. R. M.; BANDEIRA, M. M.; SANTOS, D.; PEREIRA, F. C.; GONÇALVES, J. L. G. Aptidão climática da cultura do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) para o estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 19, n. 1, p. 366-378, 2016.

FREITAS, L. M.; JUNQUEIRA, A.M.R.; FILHO, M.M. Potencial de uso do silício no manejo integrado da traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella*, em plantas de repolho. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 1, p. 8-13, 2012.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L.F.; DEL PELOSO, M.J.; OLIVEIRA, J.P. Genótipos de feijoeiro comum sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 7, p. 649-656, 2011.

JÚNIOR, E.E.D.; CHAVES, L.H.G.; COSTA, F.A.M.; KORNDORFER, G.H. Desenvolvimento de milho irrigado e adubado com silicato de cálcio e magnésio. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 5, n. 4, p. 337-350, 2011.

KLUTHCOUSKI, J; STONE, L.F. **Efeitos nocivos do manejo inadequado da adubação no crescimento radicular das culturas anuais, com ênfase no potássio**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 20p.

KIKUTE, H.; KIKUTI, A.L.P.; ANDRADE, M.J.B.; PEREIRA, C.E.; PINHO, E.V.R.V. Potencial fisiológico de sementes de feijoeiro em função de nitrogênio e de fósforo. **Revista de Agricultura**, v. 82, n. 2, p. 2015-222, 2007.

KNIES, A. E. **Temperatura e umidade de um solo franco arenoso cultivado com milho**. 2010. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

LAGO, F.J.; NETO, A.E.F.; FURTINI, I.V.; RAMALHO, M.A.P.; HORTA, I.M.F. Frações nitrogenadas e eficiência nutricional em linhagens de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 2, p. 440-447, 2009.

LIMA, C.E.P.; OLIVEIRA, V.R. **Árvore do conhecimento: cebola**. 2018. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cebola/arvore/CONT000gn0j7gdw02wx5ok0liq1mqinl7xu5.html>>. Acesso em: 29 jul. 2018.

MA, J.F.; MITAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for cropplant. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. **Silicon in Agriculture**. Elsevier Science, 2001, p. 17-39.

MIORINI, T. J. J.; SAAD, J. C. C.; MENEGALE, M. L. Supressão de água em diferentes fases fenológicas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Irriga**, v. 16, n. 4, p. 360-368, 2011.

PINTO, D.G.; AGUILAR, M.A.G.; SOUZA, C.A.S.; SILVA, D.M.; SIQUEIRA, P.R.; CAP, J.R. Fotossíntese, crescimento e incidência de insetos-praga em genótipos de cacau pulverizados com silício. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 3, p. 715-724, 2014.

SANTOS, G.R.; CASTRO NETO, M.D.; CARVALHO, A.R.S.; FIDELIS, R.R.; AFFÉRRI, F.S. Fontes e doses de silício na severidade do crestando gomoso e produtividade da melancia. **Biosciencie Journal**, v. 26, n. 2, p. 266-272, 2010.

SANTOS, C.M.R.; MENEZES, N.L.; VILLELA, F.A. Modificações fisiológicas e bioquímicas em sementes de feijão no armazenamento. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, n. 1, p. 104-114, 2005.

SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E AGRONEGÓCIO. **Mais água, mais renda.** 2014. Disponível em: <http://www.agricultura.rs.gov.br/conteudo/1032/?Mais_%C3%81GUA%2CMaisRenda>. Acesso em: 30 jul. 2018.

SILVA, M.M.; SOUZA, H.R.T.; DAVID, A.M.S.S.; SANTOS, L.M.; SILVA, R.F.; AMARO, H.T.R. Qualidade fisiológica e armazenamento de sementes de feijão-comum produzidas no norte de Minas Gerais. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 8, n. 1, p. 97-103, 2014.

SKOWRONSKI, L.; GIÚDICE, M. P. del; BORÉM, A.; CARNEIRO, G.E.S.; DIAS, D.C.F. dos S.; CECON, P.R. Qualidade fisiológica de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris*) colhidas em diferentes estádios de maturação. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v. 29, n. 1, p. 45-50, 2004.

SORATTO, R.P.; FERNANDES, A.N.; CRUSCIOL, C.A.C.; SOUZA-SCHLICK, G.D. Produtividade, qualidade de tubérculos e incidência de doenças em batata, influenciados pela aplicação foliar de silício. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 7, p. 1000-1006, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

TAVARES, L.C.; RUFINO, C.A.; BRUNES, A.P.; TUNES, L.M.; BARROS, A.C.S.A.; PESKE, S.T. Desempenho de sementes de soja sob deficiência hídrica: rendimento e qualidade fisiológica da geração F1. **Ciência Rural**, v.43, n.8, p.1357-1363, 2013.

TRIPATHI, D.K.; SINGH, V.P.; KUMAR, D.; CHAUHAN, D.K. Impact of exogenous silicon addition on chromium uptake, growth, mineral elements, oxidative stress, antioxidant capacity, and leaf and root structures in rice seedlings exposed to hexavalent chromium. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 34, n. 1, p. 279-289, 2012.

VIEIRA, R.F.; VIEIRA, C.; RAMOS, J.A.O. **Produção de sementes de feijão**. Viçosa: EPAMIG/EMBRAPA, 1993. 131p.

YANG, S.; VANDERBELD, B.; WAN, J.; HUANG, Y. Narrowing down the targets: towards successful genetic engineering of drought tolerant crops. **Molecular Plant**, v. 3, n. 3, p. 469–490, 2010.

ZUCARELI, C.; BRZEZINSKI, C.R.; ABATI, J.; WERNER, F.; JÚNIOR, E.U.R.; NAKAGAWA, J. Qualidade fisiológica de sementes de feijão carioca armazenadas em diferentes ambientes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.8, p.803-809, 2015.