

ESTADO NUTRICIONAL DO MILHO FERTIRRIGADO COM VINHAÇA CONCENTRADA E CLORETO DE POTÁSSIO

Fernando Rodrigues Cabral Filho¹, Frederico Antonio Loureiro Soares², Daniely Karen Matias Alves³, Fernando Nobre Cunha⁴, Gustavo da Silva Vieira⁵, Marconi Batista Teixeira⁶

RESUMO: O potássio é o segundo nutriente maior extraído pelo milho, essencial em diversas reações enzimáticas no tecido vegetal. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito comparativo entre a adubação potássica mineral com cloreto de potássio e a orgânica com vinhaça concentrada de cana-de-açúcar no balanço nutricional da planta de milho. O experimento foi conduzido na estação experimental do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, analisado em esquema fatorial 2 x 4, com três repetições. Os tratamentos consistiram em duas fontes de potássio (vinhaça concentrada e cloreto de potássio) e quatro doses de potássio referentes a 0, 50, 100 e 200% da recomendação para a cultura do milho. Foi analisado o estado nutricional de macronutrientes na planta de milho no momento do florescimento. Independentemente da fonte de potássio utilizada ocorre deficiência de potássio na planta de milho até a dose de 24% (21,6 kg ha⁻¹ de K₂O) e, redução nos teores de magnésio e cálcio no tecido vegetal do milho conforme o aumento da disponibilidade de potássio, na época de florescimento.

PALAVRAS-CHAVE: adubação potássica; absorção de nutrientes; potássio.

NUTRITIONAL STATE OF FERTIRRIGATED CORN WITH CONCENTRATED VINES AND POTASSIUM CHLORIDE

ABSTRACT: Potassium is the second major nutrient extracted from corn, essential in several enzymatic reactions in plant tissue. The objective of this work was to evaluate the comparative effect between the mineral potassium fertilization with potassium chloride and the organic one with concentrated sugarcane vinasse on the nutritional balance of the corn

¹ Estudante de Doutorado em Ciências Agrárias - Agronomia, IF Goiano – Campus Rio Verde, CEP 75901-970, Rio Verde, GO. Fone (64) 36205600. e-mail: fernandorefilho@hotmail.com.

² Prof. Doutor, Depto de Hidráulica e Irrigação, IF Goiano, Rio Verde, GO.

³ Estudante de Doutorado em Ciências Agrárias - Agronomia, IF Goiano, Rio Verde, GO.

⁴ Pesquisador (Pós-doutorado) em Ciências Agrárias – Agronomia, IF Goiano, IF Goiano, Rio Verde, GO.

⁵ Estudante de Mestrado em Ciências Agrárias – Agronomia, IF Goiano, Rio Verde, GO.

⁶ Prof. Doutor, Depto de Hidráulica e Irrigação, IF Goiano, Rio Verde, GO.

plant. The experiment was carried out at the experimental station of the Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde. The experimental design used was in randomized blocks, analyzed in a 2 x 4 factorial scheme, with three replications. The treatments consisted of two potassium sources (concentrated vinasse and potassium chloride) and four potassium doses referring to 0, 50, 100 and 200% of the recommendation for the cultivation of corn. The nutritional status of macronutrients in the corn plant at the time of flowering was analyzed. Regardless of the potassium source used, potassium deficiency occurs in the corn plant up to a 24% dose (21.6 kg ha⁻¹ of K₂O) and a reduction in the magnesium and calcium contents in the corn plant tissue as the availability increases potassium in the flowering season.

KEYWORDS: potassium fertilization; nutrient absorption; potassium.

INTRODUÇÃO

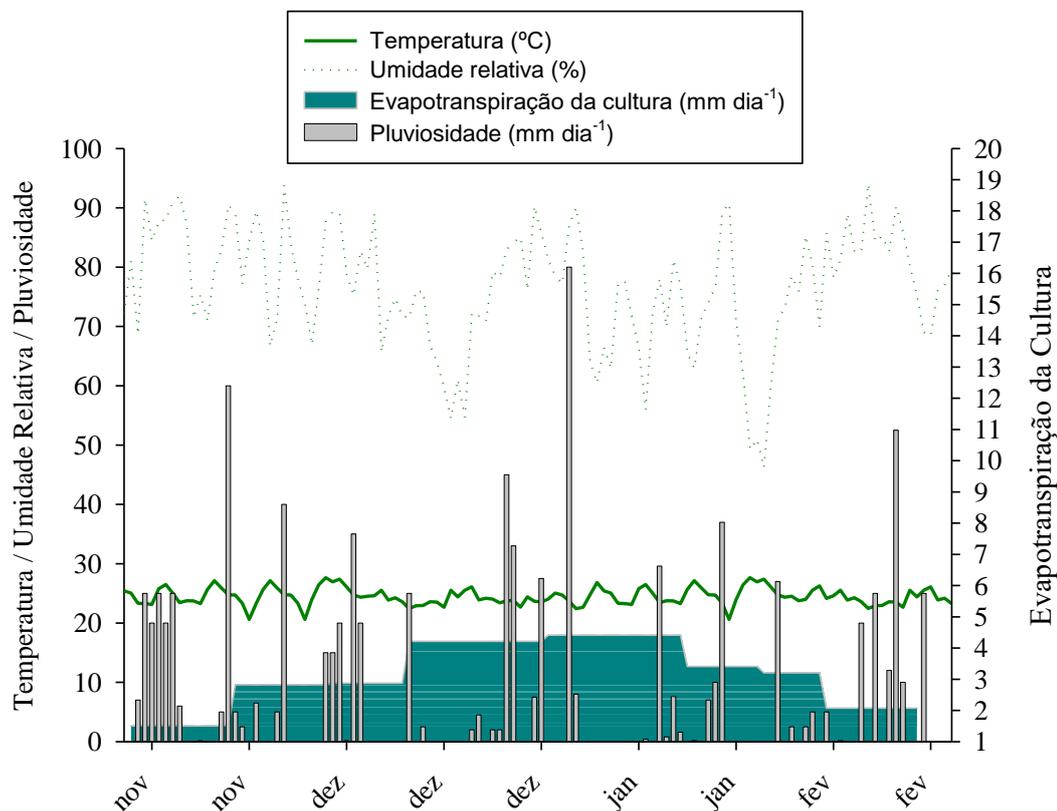
Os solos da região Centro-Oeste do Brasil geralmente são altamente intemperizados, com predominância de Latossolos com baixa fertilidade natural, e demanda a utilização de altas quantidades de fertilizantes, principalmente a adubação potássica, fazendo com que os mesmos sejam importantes componentes no custo de produção (SILVA et al., 2016). Segundo Costa et al. (2012) a cultura do milho é considerada de grande poder de extração de nutrientes do solo, em que, considerando o acúmulo total. Sendo assim, a avaliação do estado nutricional informará a quantidade de nutrientes exigidos pela planta durante seu ciclo, tendo-se como base o teor, acúmulo e particionamento dos nutrientes no material vegetal. Com base exposto acima, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito comparativo entre a adubação potássica mineral com cloreto de potássio e a orgânica com vinhaça concentrada de cana-de-açúcar no balanço nutricional da planta de milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em vasos plásticos, dispostos a céu aberto, no período de novembro de 2018 a fevereiro de 2019 (Milho safra), na estação experimental do Instituto Federal Goiano – *Campus* Rio Verde – GO. As coordenadas geográficas do local de instalação são 17°48'28" S e 50°53'57" O, com altitude média de 720 m ao nível do mar. O clima da região é classificado conforme Köppen & Geiger (1928), como Aw (tropical), com chuva nos meses de outubro a maio, e com seca nos meses de junho a setembro. A

temperatura média anual varia de 20 a 35°C e as precipitações variam de 1.500 a 1.800 mm anuais e o relevo é suave ondulado (6% de declividade).

A precipitação pluvial observada durante os meses de cultivo do milho na safra 2018/19: novembro (267,30 mm); dezembro (241,20 mm); janeiro (182,30 mm); fevereiro (186,70 mm), conforme Figura 1.



Fonte: Estação Normal INMET – Rio Verde - GO. Pluviômetro instalado na área de cultivo.

Figura 1. Dados meteorológicos do município de Rio Verde e a evapotranspiração da cultura no período decorrente do experimento (Milho safra 2018/19).

Os vasos foram preenchidos com um solo coletado numa camada de 0,0-0,30 m de profundidade em uma área de Cerrado nativo pertencente ao IF Goiano – Campus Rio Verde, classificado como Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), fase Cerrado, de textura argilosa (SANTOS et al., 2018), cujas características físico-químicas desse solo se encontram na Tabela 1, analisadas conforme metodologias descritas por Teixeira et al. (2017).

Tabela 1. Características físico-químicas do Latossolo Vermelho distroférico utilizado para o preenchimento dos vasos, na camada de 0,00–0,30 m de profundidade.

Prof. (m)	Ca	Mg	Ca+Mg	Al	H+Al	K	K	S	P	CaCl ₂
	cmol _c dm ⁻³					mg dm ⁻³				pH
0,0-0,3	4,3	1,2	5,5	0,00	2,5	0,17	67	9,9	55,3	5,6
Prof. (m)	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B	CTC ^a	SB ^b	V% ^c	m% ^d
	Micronutrientes (mg dm ⁻³)						cmol _c dm ⁻³		Sat. Bases	Sat. Al
0,0-0,3	0,0	19,9	9,3	2,95	1,65	0,06	8,2	5,7	69,1	0,00
Prof. (m)	Textura (g kg ⁻¹)			M.O. ^e	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Ca/CTC	Mg/CTC	K/CTC
	Argila	Silte	Areia	g dm ⁻³			Relação entre bases			
0,0-0,3	502	49	449	27,6	3,6	25,3	7,1	0,5	0,2	0,02

P (Fósforo) = Mehlich 1, K (Potássio), Na (Sódio), Cu (Cobre), Fe (Ferro), Mn (Manganês) e Zn (Zinco) = Mehlich 1; Ca (Cálcio), Mg (magnésio), e Al (Alumínio) = KCl 1 mol.L⁻¹; S (Enxofre) = Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 mol.L⁻¹; M.O. = Método colorimétrico; B (Boro) = água quente.

^aCapacidade de troca catiônica; ^bsoma de bases; ^c saturação de bases; ^d saturação de alumínio; ^e Matéria orgânica.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, analisado em esquema fatorial 2 x 4, com três repetições. Os tratamentos consistiram em duas fontes de potássio (vinhaça concentrada e cloreto de potássio) e quatro doses de potássio referentes a 0, 50, 100 e 200% da recomendação para a cultura do milho (expectativa de rendimento de 12 t ha⁻¹) na região de Cerrado (SOUSA & LOBATO, 2004), totalizando 24 parcelas experimentais, sendo que, cada parcela foi constituída por cinco vasos com duas plantas, totalizando 120 unidades experimentais. O critério para o cálculo da dose por vaso foi o de número de plantas, em que, considerou-se a população de 75.000 plantas por hectare.

Foram coletadas por ocasião do florescimento do milho, o terço central de seis folhas da base da espiga principal (superior), segundo metodologia descrita em Raij et al. (1996). O material colhido foi levado ao laboratório, lavado em água destilada, seco a 65°C em estufa com circulação forçada de ar por 72 horas, passado em moinho tipo Wiley e realizadas as determinações dos teores (g kg⁻¹) de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), segundo metodologia descrita em Malavolta et al. (1997).

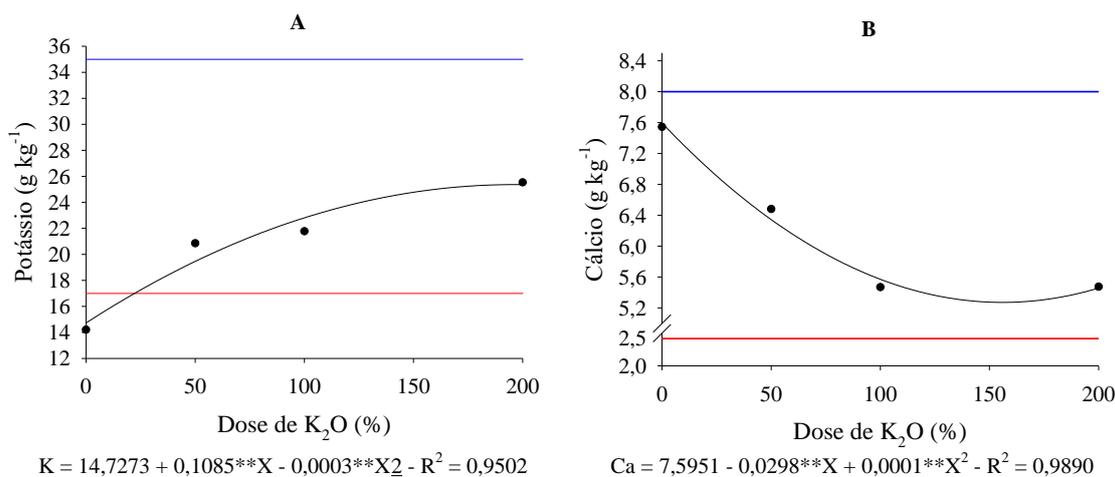
Os dados foram submetidos à análise da variância pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade e, em casos de significância, foi realizada a análise de regressão polinomial linear e quadrática para os níveis doses (D). Para o fator fontes (F), as médias foram comparadas entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico SISVAR[®].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os teores dos macronutrientes determinados no momento do florescimento do milho, não houve efeito significativo das doses e fontes de potássio para o nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S). Os valores médios para os teores foram iguais a 21,06, 1,48 e 1,22 g kg⁻¹, respectivamente. Valores este que ficaram abaixo da faixa considerada adequada, proposta por Raij et al. (1996): 27-35 g kg⁻¹ para o N; 2,0-4,0 g kg⁻¹ para o P e 1,5-3,0 g kg⁻¹ para o S.

De maneira geral, não foi observado sintomas de toxidez e nem de deficiência nutricional na avaliação visual, para os nutrientes anteriormente citados, indicando que as doses aplicadas e as fontes de potássio utilizadas, pouco influenciaram nos teores desses nutrientes na folha.

Os teores no tecido vegetal de potássio (K) e cálcio (Ca) foram influenciados significativamente pelas doses (Figura 2). Para o K, a dose estimada de 180,83% proporciona o maior teor no tecido vegetal, igual a 24,54 g kg⁻¹, sendo, 39,98, 20,92, 7,98 e 0,45% superior aos estimados nas doses de 0, 50, 100 e 200%, respectivamente. A dose estimada de 149% foi a que proporcionou o menor teor de Ca, igual a 5,38 g kg⁻¹, sendo, 29,23, 15,42, 4,28 e 4,62% inferior aos teores estimados nas doses de 0, 50, 100 e 200% (Figura 2B), respectivamente.



*Faixas de teores consideradas adequadas, conforme Raij et al. (1996) - Linha azul: 35 g kg⁻¹ para o K e 8 g kg⁻¹ para o Ca; Linha vermelha: 17 g kg⁻¹ para o K e 2,5 g kg⁻¹ para o Ca.

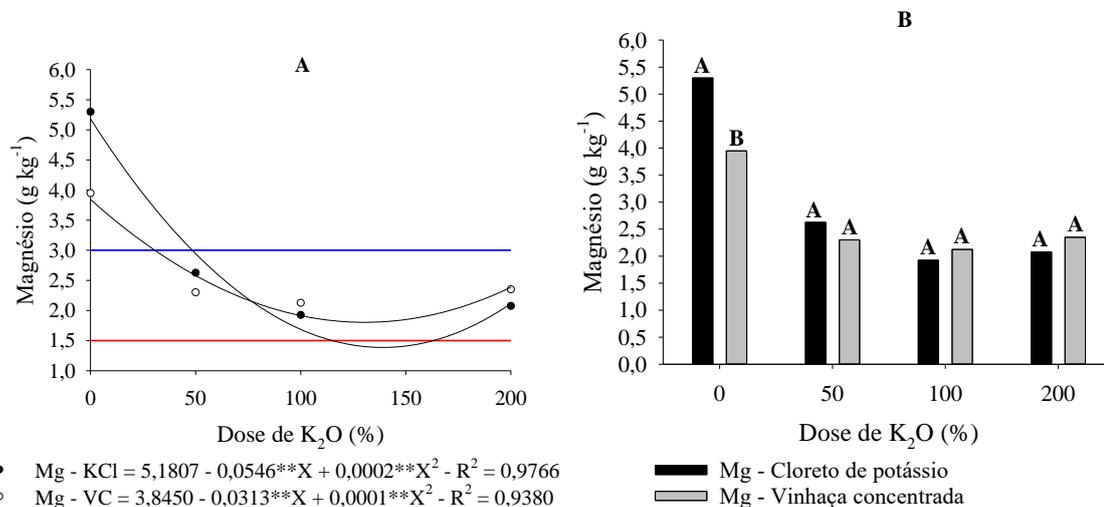
Figura 2. Teor de potássio (K) (A) e cálcio (Ca) (B) na parte aérea do milho no florescimento em função das doses de potássio, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.

Para o K, que os teores estimados não ultrapassam o limite superior da faixa considerada adequada, contudo, entre o tratamento sem aplicação (0%) e a dose de 24%, os teores de K foram inferiores ao adequado (Figura 2A). Já os teores de Ca (Figura 2B), independente da dose utilizada, em nenhum momento se encontram fora da faixa adequada (RAIJ et al., 1996).

O aumento do teor de K em função do aumento da dose era esperado, principalmente pela textura argilosa e a capacidade de troca catiônica (CTC) adequada do solo em que foi cultivado o milho, ficando o nutriente disponível para absorção pelas raízes da planta de milho. A estagnação do teor a partir da dose de 180% também é explicada pelas características do nutriente no solo, em que, a certo ponto, sua elevada concentração pode exceder a CTC do solo, estando os íons facilmente lixiviados pela frente de molhamento. A lei dos elementos decrescentes também pode explicar esse comportamento, em que, a absorção do nutriente pela planta é reduzida conforme o aumento da dose, pela própria limitação fisiológica da planta.

Segundo Melo et al. (2006), devido ao seu caráter catiônico, o potássio é tanto mais facilmente adsorvido à matriz do solo quanto maior for a capacidade de troca de cátions desse solo. Ribeiro et al. (2014) trabalharam com dois tipos de solo (Latosolo Vermelho arenoso e Nitossolo argiloso) e observaram carregamento do potássio até a profundidade de 0,7 m no solo arenoso, comprovando que solos arenosos possuem baixa adsorção e capacidade de troca catiônica. Segundo os autores, esta situação é explicada pelo fato de o potássio ser um cátion, que se caracteriza por ficar adsorvido em solos com alta capacidade de troca catiônica.

Os teores de magnésio (Mg) no tecido vegetal sofreram influência significativa da interação doses x fontes de potássio (Figura 3). Para o teor de Mg. quando utilizada a fonte cloreto de potássio (KCl) (Figura 3A), a dose estimada de 136,5% promoveu o menor teor no tecido vegetal, igual a 1,45 g kg⁻¹, sendo, 71,93, 50,72, 15,48 e 35,67% inferior aos estimados nas doses de 0, 50, 100 e 200%, respectivamente. A dose estimada de 156,6% foi a que proporcionou o menor teor de Mg na fonte vinhaça concentrada (VC), igual a 1,4 g kg⁻¹, sendo, 63,69, 44,83, 18,61 e 11,93% inferior aos teores estimados nas doses de 0, 50, 100 e 200% (Figura 3B), respectivamente. Vale salientar, que estes valores para as fontes VC e KCl são inferiores aos adequados para cultura, conforme Malavolta et al. (1997) (Figura 3A).



*Faixa de teor considerada adequada para o magnésio, conforme Raij et al. (1996) - Linha azul: 3,0 g kg⁻¹; Linha vermelha: 3,0 g kg⁻¹.

Figura 3. Desdobramento da interação doses x fontes de potássio (cloreto de potássio – KCl e vinhaça concentrada – VC) para o teor de magnésio (Mg) na parte aérea do milho no florescimento, Rio Verde, Goiás, safra 2018/2019.

Ocorreu diferença entre as fontes apenas na dose de 0% (Figura 3B), sendo, a fonte KCl apresentou teor de Mg 25,47% maior que a fonte VC, com valores iguais a 5,3 e 3,95 g kg⁻¹, respectivamente. A redução nos teores foliares de Ca (Figura 2B) e Mg (Figura 2A) pode ser explicada pela competição dos cátions K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ pelo sítio de troca catiônica no solo, em que, a elevada concentração de K no solo nas dosagens mais altas acarretou no

deslocamento dos cátions bivalentes Ca^{2+} e Mg^{2+} (MATOS et al., 2013), favorecendo sua indisponibilidade para as plantas e até mesmo sua lixiviação para camadas mais profundas.

Segundo Malavolta et al. (1997) dependendo das proporções presentes no solo, a interação entre esses cátions (K, Ca e Mg) pode resultar em inibição competitiva daquele mais abundante sobre a absorção dos outros pelas plantas. Nakao et al. (2016) também constaram teores de Mg no feijão, quando aplicado composto orgânico e mineral, superiores nos tratamentos sem aplicação, havendo redução nos seus teores a partir deste tratamento, corroborando com os resultados encontrados neste estudo. Portanto, é importante salientar que altos teores de Mg, como os encontrados no presente estudo até as dosagens de 50 e 25% para as fontes KCl e VC, podem afetar o pleno desenvolvimento da cultura pelo desbalanço nutricional (RAIJ et al., 1997).

CONCLUSÕES

Independentemente da fonte de potássio utilizada ocorre deficiência de potássio na planta de milho até a dose de 24% (21,6 kg ha⁻¹ de K₂O) e, redução nos teores de magnésio e cálcio no tecido vegetal do milho conforme o aumento da disponibilidade de potássio, na época de florescimento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e ao Instituto Federal Goiano (IF Goiano) pelo auxílio financeiro ao presente projeto de pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COSTA, M. S.; COSTA, Z. V. B.; ALVES, S. M. C.; FERREIRA NETO, M.; MARINHO, M. J. C. Avaliação nutricional do milho cultivado com diferentes doses de efluente doméstico tratado. **Irriga**, Edição Especial, p. 12-26, 2012.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MATOS, A. T. de; GARIGLIO, H. A. de A.; LO MONACO, P. A. V. Deslocamento miscível de cátions provenientes da vinhaça em colunas de solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 7, p. 743-749, 2013.

MELO, R. F.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; RUIZ, H. A.; OLIVEIRA, L. B. Deslocamento miscível de cátions básicos provenientes da água residuária de mandioca em colunas de solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 456-465, 2006.

NAKAO, A. H.; RODRIGUES, R. A. F.; SOUZA, M. F. P.; CATALANI, G. C.; CENTENO, D. C. Aplicação de composto orgânico e adubo químico no feijoeiro e seu efeito residual sobre a cultura do milho. **Cultura Agrônômica**, v. 25, n. 4, p. 387-400, 2016.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1996. 285 p. (Boletim Técnico, 100).

RIBEIRO, P. H. P.; LELIS NETO, J. A.; TEIXEIRA, M. B.; GUERRA, H. O. C.; SILVA, N. F.; CUNHA, F. N. Distribuição de potássio aplicado via vinhaça em Latossolo vermelho amarelo e Nitossolo vermelho. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 8, n. 5, p. 403-410, 2014.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE P. K. T; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBREAS, J. F; COELHO, M. R; ALMEIDA, J. A de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, 5 ed. ver. amp., 2018.

SILVA, C. G. M. **Absorção e exportação de macronutrientes em milho transgênico sob dois níveis de investimento em adubação**. Dissertação de mestrado: Mestrado em Ciências Agrárias, Universidade Federal de São João del-Rei, Sete Lagoas. 52p., 2016.