

Efeitos do alumínio em plantas de crambe cultivadas em solução nutritiva

Lucas Barbosa de Castro Rosmaninho¹; Martha Freire da Silva²; Aline de Almeida Vasconcelos³; Lurian Guimarães Cardoso⁴; Luiz Antônio dos Santos Dias⁵

1 e 4 - Estudante não-vinculado da pós-graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n - Campus Universitário, Viçosa - MG, 36570-900.

2 - Mestre em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n - Campus Universitário, Viçosa - MG, 36570-900.

3 - Doutora em Solos, Universidade Federal de Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n - Campus Universitário, Viçosa - MG, 36570-900.

5 - Professor do Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n - Campus Universitário, Viçosa - MG, 36570-900.

RESUMO

Crambe (*Crambe abyssinica* Hochst), brássica originária do Mediterrâneo, apresenta-se como matéria-prima promissora para produção de biodiesel, em virtude do alto teor de óleo de suas sementes (34% a 38%), elevada produtividade (cerca de 2500 kg/ha), e outros atributos agrônômicos e tecnológicos favoráveis. Apesar de ser uma cultura exigente em fertilidade do solo, são escassos os trabalhos sobre fatores nutricionais que afetam o seu desempenho, alguns deles com informações contrastantes sobre sua sensibilidade ao alumínio tóxico. Sabe-se que o Al é um dos elementos mais abundantes nos solos tropicais ácidos, sendo nestas condições o principal fator limitante ao desenvolvimento das culturas. Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de diferentes doses desse elemento no desenvolvimento e produtividade de plantas de crambe cultivadas em solução nutritiva. Plantas cultivadas em substrato comercial, e posteriormente aclimatadas em solução nutritiva por 15 dias, foram alocadas em vasos de cinco litros com os tratamentos de alumínio nas concentrações 0,0; 0,1; 0,2; 0,3 e 0,4 mmol L⁻¹. O Al foi fornecido na forma de cloreto. A concentração de fósforo e o pH da solução foram mantidos baixos para minimizar as possíveis precipitações de alumínio. O delineamento estatístico utilizado foi inteiramente casualizado, constituído por cinco tratamentos em quatro repetições. Ao final do experimento, as amostras de plantas foram separadas em raiz e parte aérea, sendo avaliados o comprimento de parte aérea e de raiz, massa seca de raiz e de parte aérea e produtividade de grãos. Observou-se que o Al provocou efeito no desenvolvimento da espécie, evidenciado pela redução do crescimento da raiz e parte aérea e do acúmulo de matéria seca da planta, levando à queda na produtividade de grãos. As plantas se mostraram sensíveis ao estresse por Al, uma vez que houve acentuada queda dos parâmetros de desenvolvimento da cultura, não sendo, no entanto, detectado a morte de nenhuma planta.

Efeitos do alumínio em plantas de crambe cultivadas em solução nutritiva

I – INTRODUÇÃO

A produção de alimentos, fibras e madeira, já não é mais a única função da agricultura. Impulsionada pela necessidade de minimizar os efeitos das mudanças climáticas, o setor agrícola hoje, também é responsável pela produção de energia de biomassa, a chamada agroenergia (Dias, 2011). Dentro deste setor, o biodiesel, produzido a partir de óleos vegetais ou de gorduras animais, merece destaque. Apresentando crescimento considerável nas últimas décadas, em virtude principalmente do melhoramento genético, a cadeia deste biocombustível tem movimentado um importante mercado (Dias, 2011).

De acordo com a ABIOVE – Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais, a produção nacional de biodiesel alcançou 3,9 bilhões de litros em 2015. Deste total, 77%, o equivalente a 3,04 bilhões de litros, foi proveniente do óleo de soja. O óleo de soja destinado à produção de biodiesel, poderia, no entanto, ser consumido na alimentação humana. Sendo assim, a obtenção de novas fontes de biomassa renovável que apresentem atributos agrônômicos e tecnológicos favoráveis e que não faça competição com a produção de alimentos é uma necessidade.

Nesse contexto, o crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) apresenta-se como matéria-prima promissora para produção de biodiesel, uma vez que apresenta alto teor de óleo (34 a 38%), elevada produtividade de grãos (2500 kg ha⁻¹) e óleo impróprio para consumo humano, de acordo com ensaios experimentais já realizados na Universidade Federal de Viçosa. É recomendado para o cultivo de outono/inverno, período de entressafra em que as fontes de biomassa alternativas são escassas, podendo-se, ainda, aproveitar o mesmo maquinário utilizado para as grandes culturas (Colodetti et al., 2012; Silva et al., 2013).

Crambe é originário do Mediterrâneo (Weiss, 1983), pertence à família Brassicaceae, e apresenta diversos usos além da produção de biodiesel. Destaca-se como matéria-prima na produção de fluídos isolantes utilizados em equipamentos de alta voltagem elétrica, plásticos biodegradáveis, tinturas, lubrificantes, cosméticos e seu farelo pode ser utilizado na alimentação animal (Lazzeri et al., 1997; Souza et al., 2009; Pitol et al., 2010; Mendonça et al., 2012). Estudos recentes apontam o extrato de crambe com potencial para atividade nematicida (Coltro-Roncato et al., 2016) e o subproduto das sementes como biossorvente na remoção de metais pesados na água (Rúbio et al., 2015).

A cultura apresenta notória adaptabilidade ao território brasileiro, em virtude de sua rusticidade, precocidade, elevado potencial produtivo, tolerância ao déficit hídrico e ciclo de produção reduzido, de aproximadamente 90 dias (Toebe et al., 2010; Falasca et al., 2010). O sistema radicular é ligeiramente profundo, sendo considerado eficiente reciclador de nutrientes, aproveitando bem a adubação residual dos cultivos de verão (Broch e Roscoe, 2010). Trabalhos sobre os fatores nutricionais que afetam o seu desempenho ainda são escassos.

Dentre os elementos que afetam o desenvolvimento das plantas, o alumínio (Al) é considerado o principal limitante para a produção de alimentos (Foy, 1998). Em solos levemente ácidos ou próximos do neutro, o Al está, essencialmente, na forma de Al(OH)₃,

$\text{Al}(\text{OH})_2^+$ e $\text{Al}(\text{OH})_4^-$, as quais não causam fitotoxidez. Entretanto, a forma iônica, Al^{3+} , fitotóxica, predomina em solos com pH abaixo de 5,5 (Kochian, 1995; Lindsay, 1996).

O estresse causado pela ação do Al^{3+} na planta provoca severas reduções na produtividade da cultura. O sintoma mais evidente da fitotoxidez é a redução do crescimento radicular, bem como alterações na morfologia e no processo de divisão celular (Custódio et al., 2002). Posteriormente se desenvolvem outros sintomas, como a diminuição do crescimento da parte aérea e a deficiência de água e nutrientes (Beutler et al., 2001; Panda et al., 2009). Os efeitos do Al^{3+} também podem ser observados alterando a atividade dos nutrientes, incluindo a redução na absorção e no transporte de alguns deles para a parte aérea das plantas (Akaya e Takenaka, 2001). Nas raízes é comum observar a diminuição da atividade respiratória (Machado e Pereira, 1990).

Informações sobre a sensibilidade do crambe ao Al ainda são escassas e conflitantes. Broch e Roscoe (2010) descreveram que o crambe exige solo bem corrigido, com pH próximos ao neutro, uma vez que a espécie não tolera solos ácidos ou com elevadas concentrações de alumínio tóxico. Colodetti et al. (2015) verificaram que o Al limitou o desenvolvimento inicial de plântulas da espécie em testes de germinação. No entanto, Vieira (2013), trabalhando com mapas temáticos, não observou relação entre os teores de Al e a produtividade da cultura.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de diferentes doses de Al no desenvolvimento e produtividade de plantas de crambe cultivadas em solução nutritiva.

II – MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na casa de vegetação do Departamento de Solos e no Laboratório de Melhoramento de Oleaginosas do Departamento de Fitotecnia, da Universidade Federal de Viçosa. Sementes de crambe da cultivar FMS Brilhante, cedidas pela Fundação Mato Grosso do Sul, foram colocadas para germinar em tubetes contendo substrato comercial.

Quando a primeira folha verdadeira surgiu, após 14 dias da data de semeadura, as plantas foram transplantadas para meio hidropônico, em bandejas sob aeração forçada. Nesta etapa, as plantas foram aclimatadas durante 15 dias, em solução nutritiva completa de Hoogland e Arnon (1950), pH 6, meia força.

Após período de aclimação, as plantas foram alocadas em vasos de 5 litros, mantendo a aeração, pH 4,0, sendo utilizada meia força da solução nutritiva de Hoogland e Arnon (1950), com adaptação da quantidade de fósforo para 1/10 da dose. A concentração de P e o pH da solução foram mantidos baixos para minimizar as possíveis precipitações do alumínio (Braccini et al., 1998).

Os tratamentos consistiram de cinco concentrações de Al: 0,0; 0,1; 0,2; 0,3 e 0,4 mmol L^{-1} (pH 4,0), fornecido na forma de cloreto de alumínio (AlCl_3), sendo a concentração 0 de Al considerada controle.

A troca da solução nutritiva ocorreu quando verificada a depleção de 30%, de acordo com a condutividade elétrica, e o pH da solução foi corrigido diariamente com NaOH e HCl $0,5 \text{ mol L}^{-1}$.

Ao final do experimento as plantas foram separadas em raiz e parte aérea, sendo avaliados o comprimento de parte aérea e raiz, massa seca de raiz e parte aérea e produtividade de grãos. Para determinação da matéria seca, as partes das plantas foram colocadas para secar em estufa de circulação forçada de ar a 60 °C até peso constante.

O delineamento estatístico utilizado foi inteiramente casualizado, constituído por cinco tratamentos (concentrações de Al), dispostos em quatro repetições.

III – RESULTADOS E DISCUSSÃO

As plantas se mostraram sensíveis ao estresse causado pelo Al^{3+} , evidenciado pela acentuada queda dos parâmetros de desenvolvimento da cultura (Tabela 1). No entanto, não foi observada a morte de nenhuma planta.

Tabela 1. Parâmetros médios de desenvolvimento da cultura de crambe

$[\text{Al}^{3+}]$ (mmol L^{-1})	CPA ¹ (cm)	CR ² (cm)	MSR ³ (cm)	MSPA ⁴ (cm)	PG ⁵ (g/planta)
0	93,75	41,50	1,34	10,01	7,69
0,1	91,00	39,00	1,28	5,22	2,55
0,2	78,00	34,50	1,11	3,97	2,11
0,3	72,25	28,50	1,06	3,62	1,02
0,4	63,25	27,00	0,51	1,77	0,55

¹ Comprimento de parte aérea (CPA); ² Comprimento de raiz (CR); ³ Massa seca de raiz (MSR); ⁴ Massa seca de parte aérea (MSPA); ⁵ Produtividade de grãos (PG).

Foi observada redução linear do comprimento das partes aérea e radicular, com o aumento das doses de Al em solução (Figura 1).

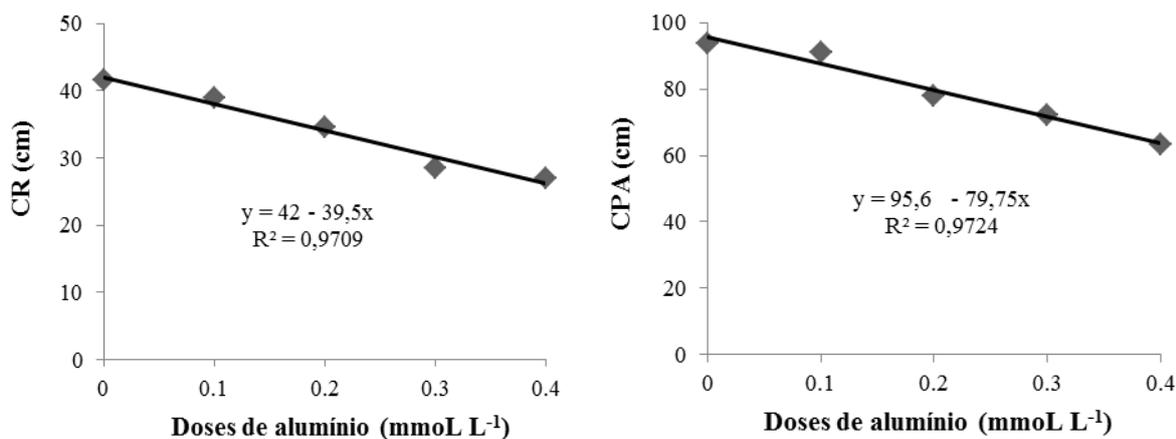


Figura 1. Comprimento de parte aérea (CPA) e de raiz (CR) de plantas de crambe, em função de doses crescentes de alumínio. Cada ponto do gráfico corresponde a média de 4 repetições; $P \leq 0.05$.

Beutler et al. (2001) citam que a presença de Al em concentrações tóxicas dificulta a absorção de nutrientes e prejudica o crescimento da planta por dificultar o crescimento das raízes. A redução do comprimento da planta é um dos fatores mais evidentes da toxidez. Foy et al. (1978) relataram que o Al^{3+} acumula-se preferencialmente nas raízes das plantas, causando injúrias que são caracterizadas por efeitos na estrutura morfológica do órgão e que culminam com a diminuição do seu crescimento. A toxicidade do Al pode, ainda, resultar em lesões apoplásticas, interações na parede celular e na membrana plasmática da raiz (Dipierro et al., 2005), afetando o crescimento das raízes e, conseqüentemente, da parte aérea, uma vez que absorção de água e nutrientes é comprometida.

Observou-se que na dose de $0,4 \text{ mmol L}^{-1}$ ocorreu redução de 32,5 e 35% da parte aérea e na raiz, respectivamente, em relação ao controle. Resultados semelhantes foram observados por Colodetti et al. (2015). Estes autores verificaram a estagnação do crescimento inicial de plantas de crambe submetidas a altas concentrações de Al. Sintomas de redução do crescimento da planta foram identificados também em trigo (Bertan et al., 2006) e aveia (Benin et al., 2004), quando submetidas ao alumínio tóxico. Santos et al. (2010) observaram limitação no crescimento de raízes de rúcula, espécie pertencente à mesma família do crambe, a medida que se aumentava as doses de Al em solução. A absorção do Al^{3+} pelas plantas afeta as células e organelas em nível morfológico e citogenético, prejudicando o desenvolvimento e o estabelecimento das culturas (Macedo et al., 2008; Crestani et al., 2009).

As doses crescentes de Al^{3+} afetaram negativamente o acúmulo de matéria seca da raiz (MSR) e parte aérea (MSPA) (Figura 2).

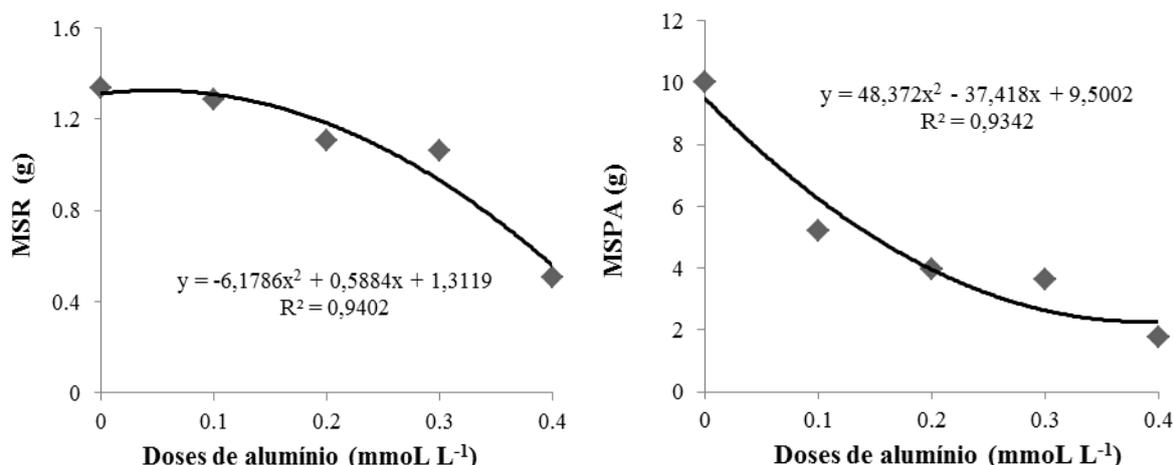


Figura 2. Produção de matéria seca de raiz (MSR) e massa seca de parte aérea (MSPA) de plantas de crambe, em função de doses crescentes de alumínio. Cada ponto do gráfico corresponde a média de 4 repetições; $P \leq 0.05$.

Verificou-se comportamento quadrático para MSR e MSPA. No entanto, observou-se efeito mais pronunciado de redução na massa seca da parte aérea que da raiz. Na concentração de $0,1 \text{ mmol L}^{-1}$, houve redução de 47,8% da parte aérea e de 4% na massa seca de raiz. Na dose mais elevada, $0,4 \text{ mmol L}^{-1}$ de Al, houve redução de 62 e 82,3% de matéria seca de raiz e de parte aérea, respectivamente, quando comparadas ao controle (Figura 2). Costa et al. (2014), trabalhando com plantas de crambe sob estresse por Al^{3+} , também observaram efeito mais pronunciado na massa de matéria seca de parte aérea (MSPA) que na da raiz (MSR). Os resultados encontrados por estes autores indicaram redução na MSPA de 77, 78 e 74% e na MSR de 46, 61 e 70%, respectivamente, nos níveis 0,1; 0,15; 0,2 mM de Al. A diminuição na produção de biomassa está relacionada a redução no crescimento das raízes e ao transporte e uso de alguns nutrientes quando expostos a toxidez do Al^{3+} (Tabaldi et al., 2007).

As doses crescentes de Al^{3+} afetaram negativamente a produtividade de grãos (Figura 3). A produtividade de grãos foi reduzida abruptamente com o aumento das doses de Al^{3+} , sendo observada queda expressiva já na menor concentração aplicada. Verificou-se redução de 67; 72,5; 86,7 e 93% do peso dos grãos quando comparados ao tratamento controle.

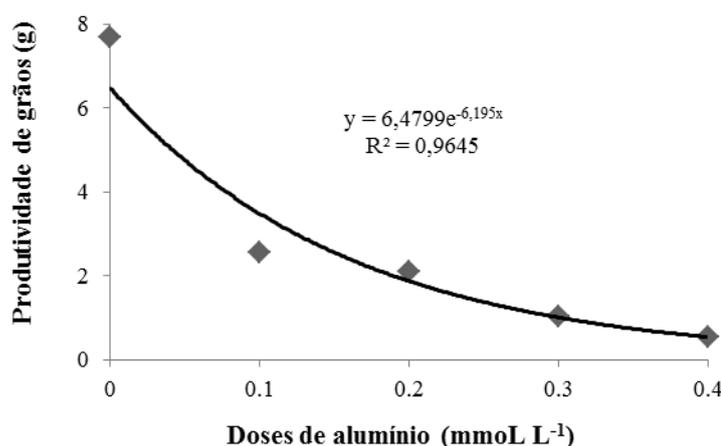


Figura 3. Produtividade de grãos (g/planta) de plantas de crambe, em função de doses crescentes de alumínio. Cada ponto do gráfico corresponde a média de 4 repetições; $P \leq 0.05$.

IV – CONCLUSÃO

O crambe se mostrou sensível ao alumínio tóxico, uma vez que foram verificados redução do crescimento da raiz e parte aérea e do acúmulo de matéria seca da planta, tendo como reflexo a queda na produtividade. No entanto, mesmo na maior dose de Al^{3+} , o crambe conseguiu completar seu ciclo, não sendo constatada morte de nenhuma planta.

V – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIOVE – Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (2016) – Disponível em <http://www.abiove.org.br/>. Acessado em 12/11/2016.

AKAYA, M.; TAKENAKA, C. Effects of aluminum stress on photosynthesis of *Quercus glauca* Thunb. **Plant and Soil**, London, v.237, p.137-146, 2001.

BENIN, G.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; SILVA, J.A.G.; LORENCETTI, C.; MAIA, M.B.; MARCHIORO, V.S.; FREITAS, F.; HARTWIG, I. Uma proposta de seleção para caracteres quantitativos e qualitativos em aveia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.3, p. 701-706, 2004.

BEUTLER, A.N.; FERNANDES, L.A.; FAQUIN, V. Efeito do alumínio sobre o crescimento de duas espécies florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p.923-928, 2001.

BRACCINI, M. C. L., MARTINEZ, H. E. P., PEREIRA, P. R. G., SAMPAIO, N. F., e PEREIRA, A. A.. (1998). Tolerância de genótipos de cafeeiro ao alumínio em solução nutritiva. II. Teores de P, Ca e Al e eficiência ao P e Ca. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22,n.3, p.443-450.

BERTAN I.; CARVALHO F.I.F.; OLIVEIRA A.C.; SILVA J.A.G.; BENIN G.; VIEIRA E.A.; SILVA G.O.; HARTWIG I.; VALERIO I.P. & FINATTO T. (2006) Dissimilaridade genética entre genótipos de trigo avaliados em cultivo hidropônico sob estresse por alumínio. **Bragantia**, v. 65, p.55-63.

BROCH, D. L.; ROSCOE, R. Fertilidade do solo, adubação e nutrição do crambe. In: FUNDAÇÃO MS. **Tecnologia e produção: crambe 2010**. Maracajú: FUNDAÇÃO MS, v. 1, p. 22-36, 2010.

COLODETTI T.V.; MARTINS L.D.; RODRIGUES W.N.; BRINATE S.V.B.; M.A. (2012). Crambe: Aspectos Gerais da Produção Agrícola. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia v. 8, n.14, p.258-269.

COLODETTI, T.V.; RODRIGUES W.N.; DELEON M., TOMAZ M.A.. Aluminum stress in Crambe abyssinica Hochst. **Idesia**[online]. 2015, vol.33, n.2.

COLTRO-RONCATO, S.; STANGARLIN, J.R. ; GONÇALVES JR, A.C. ; KUHN, O.J.; GONÇALVES, E.D.V.; DILDEY, O.D.F.; FLORES, E.L.M. Atividade nematicida de extratos de crambe sobre *Meloidogyne* spp. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 37, n. 4, p. 1857-1870, jul./ago. 2016.

COSTA, D.P.; COSTA-JÚNIOR, D.S.; HORA, V.M.; ABREU, C.B.; AZEVEDO NETO, A.D. O estresse por alumínio afeta o crescimento e acúmulo de NPK em plantas de crambe? **Enciclopédia Biosfera**, v.10, p.1359-1366, 2014.

CRESTANI, M.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; SILVA, J.A.G.; SOUZA, V.Q.; PARACHU, E.A.M.; SILVEIRA, G.; RIBEIRO, G.; LUCHE, H.S. Estresse por alumínio em genótipos de aveia preta em condição hidropônica. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.3, p.639-649, 2009.

CUSTÓDIO, C.C.; BOMFIM, D.C.; SATURNINO, S.M.; MACHADO NETO, N.B. Estresse por alumínio e por acidez em cultivares de soja. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, n.1, p.145-153, 2002.

DIAS, L.A.S. Biofuel plant species and the contribution of genetic improvement. **Crop breeding and applied biotechnology**, Viçosa , v. 11, n. S, p. 16-26, June 2011.

DIPIERRO, N.; MONDELLI, D.; PACIOLLA, C.; BRUNETTI, G.; DIPIERRO, S. Changes in the ascorbate system in the response of pumpkin (Cucurbita pepo L.) roots to aluminum stress. **Journal of Plant Physiology**, v.162, p.529-536, 2005.

FERREIRA, R.P.; MOREIRA, A.; RASSINI, J.B. **Toxidez de alumínio em culturas**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2006.

FALASCA, S.L.; LAMAS, M.C.; CARBALLO, S.M.; ANSCHAU, A. Crambe abyssinica: An almost unknown crop with a promissory future to produce biodiesel in Argentina. **International Journal of Hydrogen Energy**, v.35, p.5808-5812, 2010.

FOY, C.D. Plant adaptation to acid, aluminum-toxic soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 19, p. 959-987, 1998.

FOY, C. D.; CHANEY, R.L.; WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Boca Raton, v.29, p.511-566, 1978.

HOAGLAND, D. R., ARNON, D. I., . The water culture method for growing plants without soil. **California Agricultural Experimental Station**, v.347, n.1, p.1-39, 1950.

KOCHIAN, L.V. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.46, p.237-260, 1995.

LAZZERI L., DE MATTEI F., BUCELLI F., PALMIERI S. Crambe oil – a potencial new hydraulic oil and quenchant. **Ind. Lubrication Tribol**, v.49, p.71-77, 1997.

LINDSAY, W. L.; WALTHALL, P. M. The solubility of Aluminum in Soils. In: SPOSITO, G. (Ed.) **The Environmental Chemistry of Aluminum**. Boca Raton: CRC Press, 1996. p. 333-361.

MACEDO, C.M.P.; LOPES, J.C.; AMARAL, J.A.T.; FONSECA A.F.A. Germinação e vigor de sementes de café submetidas ao estresse com alumínio. **Scientia Agraria**, v.9, n.2, p.235-239, 2008.

MACHADO, E.C.; PEREIRA, A.R. Eficiência de conversão e coeficiente de manutenção da planta inteira, das raízes e da parte aérea em milho e arroz submetidos ao estresse de Al. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, p.845-855, 1990.

MENDONÇA, B.P.C. **Coproduto do crambe na alimentação de bovinos**. 2012. 58f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2012.

PANDA, S.K. et al. Aluminum stress signaling in plants. **Plant Signaling & Behavior**, Georgetown, v. 4, p. 592-597, 2009.

PITOL, C.; BROCH, D. L.; ROSCOE, R. **Tecnologia e Produção: Crambe 2010**. Maracaju: Fundação MS, 60p. 2010.

RUBIO F.; GONÇALVES JR., A. C.; DRANGUNSKI, D. C.; TARLEY, C. R. T.; MENEGHEL, A. P.; SCHWANTES, D. A *Crambe abyssinica* seed by-product as biosorbent for lead(II) removal from water. **Desalination And Water Treatment**, Vol. 53 , Iss. 1,2015.

SILVA M.A.P.; BIAGGIONI M.A.M.; SPEROTTO F.C.S.; BEZERRA P.H.S.; BRANDÃO F.J.B. Qualidade do óleo bruto de grãos de crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) sob diferentes métodos de secagem. **Energia na Agricultura**, Botucatu. v.28, n.3, p.193-199, 2013.

SANTOS, C. A. C. dos; ALMEIDA, J. de; SANTOS, A. R. dos; VIEIRA, E. L.; PEIXOTO C. P.; Rúcula em Cultivo Hidropônico Submetida a Diferentes Concentrações de Alumínio. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 6, p. 905- 912, 2010.

SOUZA, A. D. V.; FÁVARO, S. P.; ÍTAVO, L. C.; ROSCOE, R. Caracterização química de sementes e tortas de pinhão manso, nabo-forrageiro e crambe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.1328-1335, 2009.

TABALDI, L.A.; NICOLOSO, F.T.; CASTRO, G.Y.; CARNEGLUTTI, D.GONÇALVES, J. F.; RAUBER, R.; SKREBSKY, E.C.; SCHETINGER, M.R.C.; MORSCH, V.M.; BISOGNIN, D.A. Physiological and oxidative stress responses of four potato clones to aluminum in nutrient solution. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.19, p.211-222, 2007.

TOEBE, M.; BRUM, B.; LOPES, S. J.; et al. Estimativa da área foliar de Crambe abyssinica por discos foliares e por fotos digitais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.2, p.475-478. 2010.

VIEIRA, M. D. MAPAS TEMÁTICOS DE TEORES DE ALUMÍNIO E RENDIMENTO DE GRÃOS NA CULTURA DO CRAMBE (*Crambe abyssinica*) EM LATOSSOLO ARGILOSO. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**, v.02, n.08 , 2013.

WEISS, E. A. **Oilseed Crops**, Tropical Agriculture Series. Longman, New York, 1983. 660p.