

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

**LURIAN GUIMARÃES CARDOSO**

**SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA DE MACRONUTRIENTES EM CRAMBE**

**VIÇOSA – MINAS GERAIS**

**2016**

**LURIAN GUIMARÃES CARDOSO**

**SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA DE MACRONUTRIENTES EM CRAMBE**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado à  
Universidade Federal de Viçosa como parte das  
exigências para a obtenção do título de  
Engenheiro Agrônomo. Modalidade: trabalho  
científico.**

**Orientador: Luiz Antônio dos Santos Dias**

**Coorientadores: Martha Freire da Silva**

**Aline de Almeida Vasconcelos**

**VIÇOSA – MINAS GERAIS**

**2016**

**LURIAN GUIMARÃES CARDOSO**

**SINTOMAS DE DEFICIÊNCIA DE MACRONUTRIENTES EM CRAMBE**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado à  
Universidade Federal de Viçosa como parte das  
exigências para a obtenção do título de  
Engenheiro Agrônomo. Modalidade: trabalho  
científico.**

APROVADO: \_\_\_\_\_

---

Prof. Luiz Antônio dos Santos Dias  
(Orientador)  
(UFV)

**“O trabalho científico é lento, na maioria das vezes monótono e, quase sempre, sujeito às adversidades. Somente a disposição, a perseverança e o amor ao estudo e à pesquisa científica de interesse podem manter o pesquisador ligado ao seu trabalho. Não se devem esperar compensações financeiras ou gratidões humanas. O trabalho científico honesto é acompanhado sempre pela recompensa espiritual e, eventualmente, por alguma homenagem que florescerá de suas verdades.”**

**PETROIANUA**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu orientador, Professor Luiz Antônio, por toda orientação, disponibilidade em ajudar e transmitir ensinamentos.

Agradeço também às minhas coorientadoras Aline e Martha, pela incansável ajuda e conselhos, também ao técnico Geovani por sempre ser solícito.

Agradeço ao Programa Agroenergia e a Equipe Jatropa por todo auxílio e conhecimento.

Fico grata pela oportunidade que tive por viver e aprender nesta instituição. Obrigado UFV; obrigado Departamento de Fitotecnia.

Ao Departamento de Solos por ter cedido sua estrutura para o desenvolvimento do trabalho, em nome do Professor Leonardus Vergütz.

Gostaria de agradecer especialmente aos meus pais, Cléver e Terezinha, que em momento algum mediram esforços em me auxiliar e me apoiar nessa empreitada. Obrigada pelo amor e dedicação incondicional a mim e as minhas escolhas.

## RESUMO

CARDOSO, LURIAN GUIMARÃES, Universidade Federal de Viçosa, Novembro 2016. **Sintomas de deficiência de macronutrientes em crambe.** Orientador: Luiz Antônio dos Santos Dias. Coorientadores: Martha Freire da Silva e Aline de Almeida Vasconcelos.

Biocombustíveis são alternativa complementar à matriz energética mundial. São produtos energéticos limpos e sustentáveis para a transição de um modelo baseado no petróleo, para outro apoiado em produtos renováveis de origem animal e vegetal. Crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) é uma oleaginosa que se destaca pela produção de grãos (2500 kg ha<sup>-1</sup>) e alto teor de óleo (36 a 38%). O desenvolvimento de programas de adubação deve ser precedido pelo conhecimento das consequências de deficiências minerais sobre o crescimento e o desenvolvimento das plantas. O conhecimento de sintomas visuais de deficiência é útil para se decidir sobre fertilizações. Para o crambe, esse conhecimento é ainda incipiente. O objetivo do estudo foi descrever esses sintomas e analisar as respostas fisiológicas do crambe cultivado em solução nutritiva completa e em solução com omissão dos macronutrientes. O experimento foi conduzido sob cultivo hidropônico em casa de vegetação do Departamento de Solos, da Universidade Federal de Viçosa. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em subparcelas, constituído por sete tratamentos (supressões isoladas de N, P, K, Ca, Mg e S) com 12 repetições, totalizando 84 parcelas. As plantas foram avaliadas em três estádios (pré-floração, floração e granação). As sementes de crambe, cedidas pela Fundação Mato Grosso do Sul, foram postas para germinar em tubetes contendo substrato comercial. Os sintomas foram observados e fotografados ao longo do ciclo, tendo sido observados em duas semanas após as plantas submetidas aos tratamentos. Pode-se observar para cálcio a morte da gema apical aos 14 dias após o início do experimento; o arroxamento do pecíolo e clorose completa nas folhas mais velhas seguido de necrose foi perceptível em plantas submetidas a supressão de nitrogênio; pontuações opacas nas folhas seguido de necrose nas folhas novas e velhas foi identificado em plantas com deficiência de fósforo; observou-se na ausência de potássio clorose internerval presente nas folhas, encurvamento das folhas e escurecimento do caule; clorose internerval nas folhas mais velhas poucos dias após o início do tratamento, seguido de esbranquiçamento internerval e necrose foi visível em plantas submetidas a supressão de magnésio; e em plantas com deficiência em enxofre, pode ser observado arroxamento do pecíolo e nervuras, seguido de necrose, bem como o encurvamento das bordas das folhas. A falta, individualizada, de N, P, K, Ca, Mg e S produziu alterações morfológicas, traduzidas como sintomas característicos de deficiência nutricional para cada nutriente. Todas as plantas submetidas a omissão de nutrientes apresentaram profundas modificações no desenvolvimento em sua fase inicial, o que prejudicou o desenvolvimento posterior.

Palavras-chave: *Crambe abyssinica*. Deficiência. Nutrição. Macronutrientes. Biocombustível. Óleo vegetal.

## ABSTRACT

CARDOSO, LURIAN GUIMARÃES, Federal University of Viçosa, November 2016. **Symptoms of macronutrient deficiency in crambe.** Advisor: Luiz Antônio dos Santos Dias. Co-mentors: Martha Freire da Silva and Aline de Almeida Vasconcelos.

Biofuels are complementary alternatives to the global energy matrix. They are clean and sustainable energy products for the transition from one oil-based model to another based on renewable plant and animal products. Crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) is an oilseed that stands out for the production of grains (2500 kg.ha<sup>-1</sup>) and high oil content (36 to 38%). The development of fertilization programs should be preceded by knowledge of the consequences of mineral deficiencies on plant growth and development. Knowledge of visual deficiency symptoms is helpful in deciding on fertilizations. For the crambe, this knowledge is still incipient. The objective of the study was to describe these symptoms and to analyze the physiological responses of crambe cultivated in complete nutrient solution and in solution with omission of macronutrients. The experiment was conducted under hydroponic cultivation in a greenhouse of the Department of Soils, Federal University of Viçosa. The experimental design was completely randomized in subplots, consisting of seven treatments (isolated deletions of N, P, K, Ca, Mg and S) with 12 replicates, totaling 84 plots. The plants were evaluated in three stages (pre-flowering, flowering and granulation). The crambe seeds, yielded by the Mato Grosso do Sul Foundation, were put to germinate in tubes containing commercial substrate. The symptoms were observed and photographed throughout the cycle, and were observed in two weeks after the plants submitted to the treatments. It is possible to observe for calcium the death of the apical yolk at 14 days after the beginning of the experiment; The purplish purplishness and complete chlorosis in the older leaves followed by necrosis was perceptible in plants submitted to nitrogen suppression; Opaque scores on the leaves followed by necrosis on the new and old leaves was identified in plants with phosphorus deficiency; It was observed in the absence of potassium internerval chlorosis present in the leaves, curving of the leaves and darkening of the stem; Chloroform internerval in the older leaves a few days after the beginning of the treatment, followed by whitening internerval and necrosis was visible in plants submitted to magnesium suppression; And in sulfur-deficient plants, petiole purpura and veins may be observed, followed by necrosis, as well as bending of leaf edges. The individual lack of N, P, K, Ca, Mg and S produced morphological changes, translated as characteristic symptoms of nutritional deficiency for each nutrient. All the plants submitted to omission of nutrients presented deep modifications in the development in its initial phase, which hampered the later development.

Keywords: *Crambe abyssinica*. Deficiency. Nutrition. Macronutrients. Biofuel. Vegetable oil.

## SUMÁRIO

	Página
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	13
<b>3.1. Caracterização sintomatológica</b> .....	19
<b>3.1.1. Nitrogênio</b> .....	19
<b>3.1.2. Fósforo</b> .....	20
<b>3.1.3. Potássio</b> .....	21
<b>3.1.4. Cálcio</b> .....	22
<b>3.1.5. Magnésio</b> .....	23
<b>3.1.6. Enxofre</b> .....	24
<b>4. CONCLUSÕES</b> .....	26
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	27



## 1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas estão sendo colocadas como um dos principais desafios para a humanidade no século XXI. A preocupação específica com relação ao clima diz respeito ao aquecimento global (“efeito estufa”), que é gerado pelo excesso de emissão de gases do efeito estufa (em especial o CO<sub>2</sub>) na atmosfera. Grande parte deste excesso procede do modelo energético global, cuja matriz tem como fonte principal de matéria-prima os recursos naturais não renováveis, especialmente o petróleo.

Atualmente o sistema de transporte é um dos setores responsáveis pela maior emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera, sendo quase todo esse sistema subordinado a combustíveis derivados do petróleo (Dias et al., 2009). Como se acredita que o número de veículos praticamente triplicará até meados do século XXI, é provável que se tenha continuidade com problemas relativos ao aquecimento do planeta (Mattei, 2008). Aliado a isso, tem-se uma crescente volatilidade dos preços do petróleo (assim como em todos os segmentos dessa cadeia), bem como impasses nesse modelo energético em várias regiões do mundo.

Segundo Dias et al. (2009), a importância da discussão do papel dos biocombustíveis ganha força enquanto alternativa à atual matriz energética mundial. O termo biocombustível remete à ideia do uso de produtos energéticos limpos e sustentáveis, podendo significar a transição de um modelo aportado, fundamentalmente, no petróleo para um modelo assentado no uso de produtos renováveis e sustentáveis de origem animal e/ou vegetal.

De acordo com Santos et al. (2012), apesar de grande parte da energia utilizada no mundo ser advinda de fontes não renováveis, a busca crescente por outras fontes de energia, tem tido como consequência o desenvolvimento da pesquisa de inúmeras culturas agrícolas que possam ser utilizadas como alternativa de geração de energia por meio da síntese de biodiesel. Ainda que o Brasil possua grande potencial para o desenvolvimento e produção de várias oleaginosas, a maior parte da produção de biodiesel ainda é gerada pelo óleo de soja (Silva et al., 2009).

A soja se mostra como cultura exemplar para base nacional de produção de biodiesel, pois é uma cultura anual e de ciclo primavera/verão. Sendo assim, alternativas de culturas

outono/inverno são escassas, dificultando a contínua produção de biodiesel, além da rotação de culturas (Jasper et al., 2010). Como propósito de desenvolver novas fontes oleaginosas de inverno para produção de biodiesel, iniciou-se estudo com o crambe (*Crambe abyssinica*).

Originário da Etiópia, país africano de clima quente e seco, e domesticado na Europa, na região do Mediterrâneo, o crambe é uma oleaginosa pertence à família das brassicáceas. Como possui ciclo médio de 90 dias, é indicado como alternativa para safrinha, no sistema de rotação de culturas, em especial para produtores de soja e de milho (Concenço et al., 2015).

Em condições experimentais em Viçosa, sua produtividade de grãos atingiu 2500 kg ha<sup>-1</sup> e seu teor de óleo, presente no grão, variou de 34 a 38%. O crambe é uma cultura exigente quanto a adubação e requer solos bem corrigidos em relação a acidez. Segundo Pitol et al. (2010), essa planta demonstra tolerância quanto a geadas leves em seus estádios mais sensíveis, baixo custo de produção, rusticidade, resistência à seca, não exige novas máquinas e equipamentos para o seu cultivo e apresenta facilidade de extração do óleo através de prensa/extrusora.

O óleo de crambe possui elevado teor de ácidos graxos de alto peso molecular, especialmente erúcido (50 a 60%), ácido tóxico, seguido do ácido oleico, sendo então um óleo impróprio para consumo humano. Por isso demonstra ser uma interessante alternativa para a síntese de biodiesel (Laggetti, 1995; Lazzeri et al., 1997).

Além da alta qualidade para a produção de biodiesel, o óleo extraído dos grãos de crambe pode ter também como finalidade a fabricação de lubrificante industrial, e como parte na composição de borrachas sintéticas, pelo seu alto teor de ácido erúcido. A utilização deste óleo ainda se dá na fabricação de plásticos, adesivos e isolamento elétrica (Santos et al., 2012).

O processamento do crambe é sustentável com a utilização do subproduto da extração de seu óleo, o farelo, que pode ser adicionado em até 15% ao farelo de soja para alimentação de ruminantes (Mendonça, 2012). Artus (2006) e Gonçalves Jr. et al. (2013) citam a planta como fitorremediadora, por conseguir acumular metais pesados como cromo e arsênio em seus tecidos. Portanto, trata-se de uma alternativa não só para a produção de energia como

também para a descontaminação de áreas em que esses metais pesados se encontram presentes.

A análise química do solo é usada há mais de um século e meio, com a finalidade de auxiliar nas recomendações de calagem e adubação, além de permitir o controle da fertilidade do solo (Magalhaes, 1997). No entanto, de acordo com Valarini et al. (2011) o solo é um sistema heterogêneo, descontínuo, formado por microhabitats com diferentes características químicas, físicas e biológicas altamente interdependentes que influenciam a disponibilidade e o aproveitamento dos nutrientes.

Faquin (2002) diz que os tecidos das plantas, por sua vez, mostram o seu estado nutricional num dado momento, de modo que a análise dos tecidos, aliada à análise do solo, permite um diagnóstico mais eficiente do estado nutricional da cultura e das necessidades de alterações no programa de adubação.

A diagnose visual de deficiências minerais, juntamente com o conhecimento dos teores de nutrientes, pode constituir uma técnica auxiliar na avaliação da necessidade de fertilizantes e corretivos. A técnica de cultivo de plantas em solução nutritiva tem permitido avanços no conhecimento da nutrição das plantas, por controlar mais adequadamente a composição do meio e eliminar a heterogeneidade e complexidade do solo (Veloso et al. 1998). Na maior parte dos casos, compara-se o aspecto da folha. Se houver falta ou excesso de um elemento, isto será traduzido em anormalidades visíveis, as quais são típicas para o elemento em questão (Silva et al., 2002).

A diagnose foliar é um método em que se analisam os teores dos nutrientes em determinadas folhas, em períodos definidos da vida da planta, e os compara com padrões nutricionais da literatura (Silva et al., 2002). Santos (1997) concluiu que as folhas apresentam as melhores correlações entre a concentração de nutrientes no tecido e de massa seca da parte aérea, devendo ser o componente utilizado para avaliação do estado nutricional da planta visto que nas folhas ocorrem os principais processos metabólicos.

No entanto, mesmo a diagnose visual sendo um método bastante usado e o seu conhecimento sendo muito importante, Faquin (2002) afirma que o método apresenta algumas limitações, tais como: seu uso é possível apenas quando os sintomas de deficiência

ou toxidez se manifestam visualmente; nesse estágio, em geral, é inevitável a perda de produção; o método é qualitativo - permite o diagnóstico do nutriente limitante, mas não estabelece doses para sua correção; exige bastante experiência do técnico com a cultura em questão; não permite o diagnóstico da “fome ou toxidez oculta”; não permite o diagnóstico de deficiências múltiplas, devido ao mascaramento dos sintomas típicos; e confusão de sintomas de origem nutricional e não nutricional.

A cultura do crambe é considerada exigente nutricionalmente de acordo com Pitol et al. (2010) Entretanto são ainda incipientes os estudos que descrevem o comportamento e os sintomas de deficiência na planta, quando os principais nutrientes são suprimidos.

O objetivo do presente estudo é descrever os sintomas visuais de deficiência de nutrientes e analisar as respostas fisiológicas do crambe quando cultivado em solução nutritiva completa e em solução com supressão dos macronutrientes.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de hidroponia em casa de vegetação, do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado em subparcelas, constituído por sete tratamentos, sendo eles omissões de N, P, K, Mg, Ca e S e o tratamento controle, com 12 repetições, totalizando 84 parcelas.

Sementes de *Crambe abyssinica* Hochst, cedidas pela Fundação Mato Grosso do Sul, foram postas para germinar em tubetes contendo o substrato comercial Tropstrato HT Hortaliças (Figura 1).



**Figura 1.** Sementes de crambe semeadas em substrato em bandejas com tubetes.

Após dez dias, assim que a primeira folha verdadeira surgiu, as plantas foram transplantadas para um meio hidropônico, em vasos de 5 dm<sup>3</sup>, sob aeração forçada para aclimatação em solução completa por um período de 14 d (Figura 2) e em seguida, foram submetidas aos tratamentos em vasos individuais (Figura 3). As soluções foram preparadas

com reagentes P. A. (Figura 4) e a composição química da solução nutritiva completa de Hoagland & Arnon (1950) foi de 210,1 mg de N, 31 mg de P, 234,6 mg de K, 200,4 mg de Ca, 48,6 mg de Mg, 64,2 mg de S, 500 µg de B, 20 µg de Cu, 648 µg de Cl, 5.022 µg de Fe, 502 µg de Mn, 11 µg de Mo e 50 µg de Zn por litro de solução. Nas soluções relativas aos tratamentos, as concentrações dos nutrientes foram idênticas às da solução completa, exceto quanto ao nutriente omitido.



**Figura 2.** Plantas de crambe submetidas a aclimação em solução nutritiva completa com aeração forçada e pH 6, por 14 d.



**Figura 3.** Plantas de crambe sendo transplantadas em vasos individuais e submetidas aos tratamentos com aeração forçada.



**Figura 4.** Preparo das soluções nutritivas experimentais.

As soluções foram mantidas a pH 6 (sendo este verificado e corrigido com HCl ou NaOH), um quarto de força (um quarto da concentração). Após este período, aumentou-se a concentração da solução para meia força (metade da concentração original), mantendo-se a aeração e o pH em  $6 \pm 0,5$ , até o final do experimento. No início do processo, a condutividade

elétrica de cada solução foi aferida, tomando-a como base para reposição quando necessário em subsequentes aferições. A reposição dos nutrientes foi feita sempre que a depleção da solução alcançava cerca de 30%, ou seja, quando aproximadamente 30% dos nutrientes haviam sido absorvidos pela planta. Essa quantificação foi feita por meio da condutividade elétrica (Tabela 1).

**Tabela 1.** Condutividade elétrica dos tratamentos (soluções nutritivas) utilizados no cultivo hidropônico de crambe

<b>Tratamentos</b>	<b>Condutividade (<math>\mu\text{s/cm}</math>)</b>
Completo	1214.00
Supressão K	860.90
Supressão S	1229.00
Supressão N	1205.80
Supressão P	1148.70
Supressão Ca	780.10
Supressão Mg	1231.80
Água	3.271

Os tratamentos foram constituídos pela solução nutritiva completa (controle) e pelas soluções com supressões dos macronutrientes: N, P, K, Ca, Mg e S. Durante o ciclo da cultura foram retiradas amostras dos tecidos da planta antes da supressão e após a supressão nas fases de pré-floração, floração e grãos maduros (nos casos em que o tratamento chegou ao final do ciclo). Os sintomas foram observados e fotografados ao longo do ciclo, podendo ser identificados em duas semanas após a submissão das plantas ao tratamento. A distribuição das atividades no decorrer do experimento foi a seguinte (Tabela 2):



**Tabela 2.** Distribuição das atividades no experimento de cultivo hidropônico de crambe

<b>Época</b>	<b>Data</b>
Semeadura	07/07/2016
Emergência	11/07/2016
Aclimação	21/07/2016
Transplante	03/08/2016
Retirada 1	23/08/2016
Retirada 2	24/09/2016
Retirada 3	29/10/2016

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os sintomas de deficiência são típicos para um determinado elemento e as folhas, de modo geral, são os órgãos que refletem melhor o estado nutricional da planta (Santos, 1997) (Tabela 3). A Tabela 4 mostra uma chave geral de sintomas de deficiência e de toxidez que as plantas manifestam proposto por Malavolta et al. (1997). É importante destacar que os sintomas podem apresentar variações entre espécies e, em algumas, podem se manifestar em outro órgão que não as folhas. Com isso, o intuito deste trabalho é identificar os exatos sintomas da carência nutricional dos macronutrientes em crambe e em quais pontos se assemelham ou divergem da chave padrão.

**Tabela 3.** Redistribuição dos nutrientes e os órgãos onde os sintomas de deficiência ocorrem primeiro

<b>Nutrientes</b>	<b>Redistribuição</b>	<b>Surgimento de sintomas visuais de deficiência</b>
N, P, K e Mg	móveis	folhas velhas
S, Cu, Fe, Mn, Zn e Mo	pouco móveis	folhas novas
B e Ca	imóveis	folhas novas e meristemas

**Tabela 4.** Chave geral para identificação dos sintomas de deficiências (-) e excessos (+)

<b>Sintomas</b>	<b>Causa mais provável</b>
<b>Folhas ou órgãos mais velhos</b>	
1. Clorose em geral uniforme (dicotiledôneas)	- N
2. Cor verde azulada, com ou sem amarelecimento das margens	- P
3. Clorose e depois necrose das pontas e margens; clorose internerval nas folhas novas (monocotiledôneas)	- K
4. Clorose internerval seguida ou não da cor vermelho-roxa	- Mg
5. Murchamento (ou não), clorose e bronzeamento	- Cl
6. Clorose uniforme, com ou sem estrangulamento do limbo e manchas pardas internervais; encurvamento (ou não) do limbo	- Mo

7. Cor verde azulada com ou sem amarelecimento das margens	+ Al
8. Pontuações pequenas e pardas perto das nervuras; coalescência, encarquilhamento e clorose; internódios curtos	+ Mn
9. Clorose mosqueada perto da margem, manchas secas perto das margens e na ponta	+ B
10. Manchas aquosas e depois negras no limbo entre as nervuras.	+ Cu
11. Ver nitrogênio	- Co

---

### **Folhas ou órgãos mais novos**

---

1. Murchamento das folhas, colapso do pecíolo; clorose marginal; manchas nos frutos, morte das gemas	- Ca
2. Clorose geralmente uniforme	- S
3. Folhas menores e deformadas; morte da gema; encurtamento de internódios; superbrotamento de ramos; suberização de nervuras; fendas na casca	- B
4. Murchamento, cor verde azulada, deformação do limbo; encurvamento dos ramos; deformação das folhas; exsudação de goma (ramos e frutos)	- Cu
5. Clorose, nervuras em reticulado verde e fino	- Fe
6. Clorose, nervuras em reticulado verde e grosso, tamanho normal	- Mn
7. Lanceoladas (dicotiledôneas), clorose internerval, internódio curto; morte de gemas ou região de crescimento	- Zn
8. Necrose nas pontas	- Ni

Fonte: Malavolta et al. (1997)

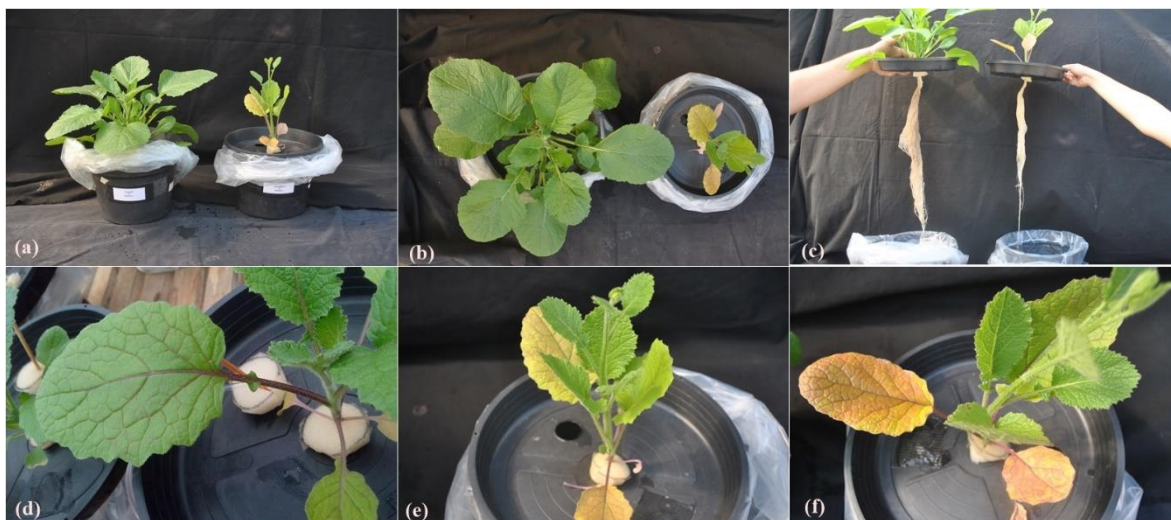
### **3.1. Caracterização sintomatológica observada para as supressões isoladas de macronutrientes em crambe**

#### **3.1.1. Nitrogênio**

As plantas cultivadas em solução nutritiva com omissão de N apresentaram-se pouco desenvolvidas, apresentando folhas de pequeno tamanho e raízes de menor volume e comprimento quando comparado ao controle. Após 20 d de uso da solução sem N, observou-

se clorose, inicialmente nas folhas mais velhas, seguida de necrose nas margens das folhas, tons vermelho-rosado no pecíolo e nervuras (Figura 5). Com o tempo, esta clorose tornou-se generalizada. Os sintomas descritos concordam parcialmente com La Torraca et al. (1984) e com Malavolta et al. (1997) como proposto em sua chave geral, não se observando a manutenção da coloração verde característica nas folhas mais velhas.

Por se tratar de um elemento móvel na planta, a redistribuição do N foi bastante evidente, uma vez que as folhas velhas foram as primeiras a apresentar o sintoma. Esta coloração amarelada das folhas está associada com a menor produção de clorofila e com modificações na forma de cloroplastos (Epstein, 1975; Malavolta, 1980; Raij, 1991).



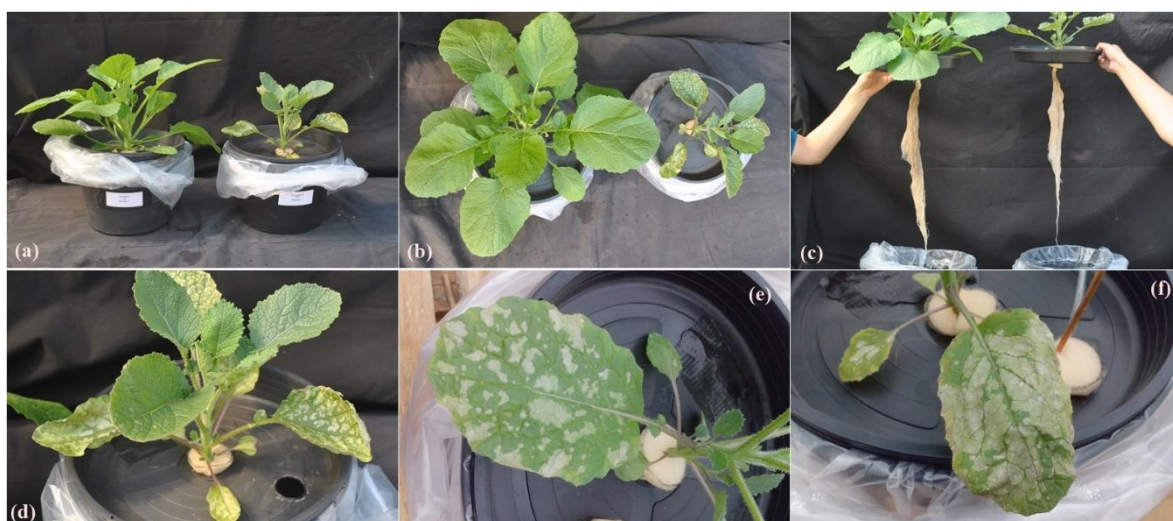
**Figura 5.** Plantas de *Crambe abyssinica* Hoscht submetidas a solução nutritiva com supressão de N. Sendo à esquerda: planta controle e à direita: planta sem N, tem-se: (a) Vista frontal. (b) Vista superior. (c) Comparativo de raízes. (d) Arroxamento do pecíolo. (e) e (f) Detalhamento da planta de crambe submetida a omissão de N.

### 3.1.2. Fósforo

Constatou-se que a omissão do P limitou o crescimento da planta, reduzindo o tamanho das folhas novas, levando as folhas mais velhas a apresentarem pontuações opacas, seguida de necrose e encurvamento das bordas. Tanto as folhas mais novas, quanto as mais velhas, apresentaram coloração verde opaco e ficaram levemente murchas. Outro sintoma observado cinco dias após a imposição do tratamento foi a coloração acobreada das raízes,

quando comparada ao tratamento controle que apresentava coloração esbranquiçada (Figura 6). Sintomatologia divergente da proposta por Malavolta et al. (1997) que descreve os sintomas de P para a maioria das culturas como ocorrência de cor verde azulada, com ou sem amarelecimento das margens.

De acordo com Malavolta (1980) e Marschner (1999), a rápida redistribuição do P dos órgãos mais velhos para os mais novos, quando ocorre a carência do elemento, faz com que as folhas mais velhas sejam as primeiras a mostrar os sintomas. A carência deste elemento no substrato induz a planta a utilizar o P não metabolizado, localizado no vacúolo das folhas mais velhas, sendo redistribuído para os órgãos mais novos cujo crescimento cessa quando acaba tal reserva.



**Figura 6.** Plantas de *Crambe abyssinica* Hoscht submetidas a solução nutritiva com supressão de P. Sendo à esquerda: planta controle e à direita: planta sem P, tem-se: (a) Vista frontal. (b) Vista superior. (c) Comparativo de raízes. (d) Folhas mais velhas apresentaram os sintomas inicialmente. (e) Pontuações opacas nas folhas. (f) Avanço no tamanho das pontuações opacas.

### 3.1.3. Potássio

Plantas vegetando em solução nutritiva na qual o K foi omitido apresentaram inicialmente clorose internerval, seguida de encurvamento e necrose das pontas e margens das folhas mais velhas. Esta sintomatologia progrediu com o decorrer da deficiência, até

atingir as folhas intermediárias, com as mais velhas secando a partir das pontas, no sentido do caule. Outros sintomas observados foram o escurecimento do caule próximo a inserção da raiz e superbrotações de ramos e folhas (Figura 7). O quadro sintomatológico descrito concorda com o observado por La Torraca et al. (1984) e com Malavolta et al. (1997).

Os sintomas de carência de K se manifestam, em primeiro lugar, nas folhas mais velhas (indicação da rapidez na redistribuição), como clorose seguida de necrose das pontas e margens, resultando em encurvamento das mesmas. Nas regiões lesadas (clorose e necrose) acumula-se o tetrametileno diamina ou putrescina,  $\text{NH}_2(\text{CH}_2)_4$  (Malavolta, 1980; Raij, 1991).



**Figura 7.** Plantas de *Crambe abyssinica* Hoscht submetidas a solução nutritiva com supressão de K. Sendo à esquerda: planta controle e à direita: planta sem K, tem-se: (a) Vista frontal. (b) Vista. (c) Comparativo de raízes. (d) Clorose internerval presente nas folhas. (e) Encurvamento das folhas. (f) Escurecimento do caule.

### 3.1.4. Cálcio

Mudas de crambe cultivadas em solução nutritiva com omissão de Ca apresentaram limitação em seu crescimento, ocasionando redução do tamanho das folhas. Nos primeiros dias com omissão de Ca, observou-se morte da gema apical e clorose nas bordas das folhas mais velhas, seguido de necrose, e assim consequentemente o não desenvolvimento da planta

e sua morte após 20 d sem esse nutriente (Figura 8). A sintomatologia está de acordo com a observada por Malavolta et al. (1997), como apontado na chave geral.

Admite-se que o Ca seja indispensável para a manutenção da estrutura e o funcionamento normal das membranas celulares. O Ca é absorvido pelas raízes como  $\text{Ca}^{+2}$  e o seu movimento ascendente se dá através de reações de troca em vasos condutores, mais do que por fluxo de massa. Depois de localizado nas folhas, o Ca se torna imóvel. A falta dele afeta particularmente os pontos crescimento da raiz; aparecem núcleos poliplóides, células binucleadas, núcleos constrictos, divisões amitóticas; cessa o desenvolvimento, há escurecimento e morte (Epstein, 1975; Malavolta, 1980).



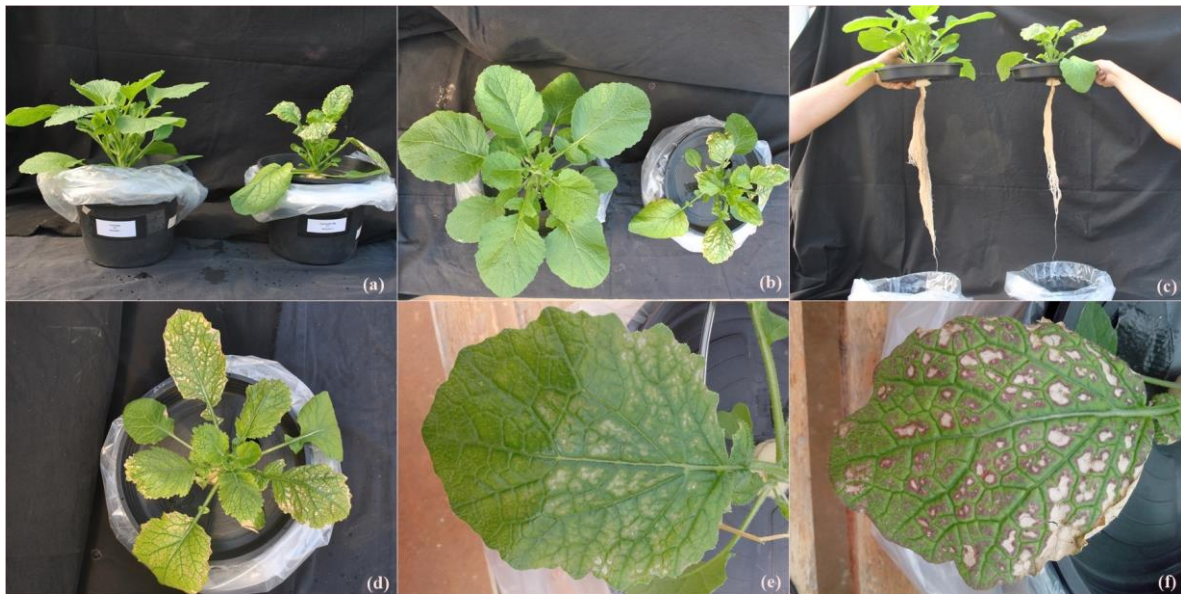
**Figura 8.** Plantas de *Crambe abyssinica* Hoscht submetidas a solução nutritiva com supressão de Ca. Sendo à esquerda: planta controle e à direita: planta sem Ca, tem-se: (a) Vista frontal. (b) Vista superior. (c) Comparativo de raízes. (d) Morte da gema apical. (e) Clorose na borda das folhas. (f) Todas as plantas não completaram o ciclo em 20 d de tratamento.

### 3.1.5. Magnésio

Plantas submetidas a tratamento com omissão de Mg apresentaram, inicialmente, clorose internerval nas folhas mais velhas. Esta sintomatologia, com o decorrer do tempo, ocorreram também nas folhas intermediárias, e as mais velhas tornaram-se roxas a esbranquiçadas (Figura 9). Esta coloração das folhas está associada com a menor produção

de clorofila. A sintomatologia descrita concorda com a observada por La Torraca et al. (1984) e com Malavolta et al. (1997).

Malavolta (1980) e Marschner (1999) relatam que a absorção do Mg pelas plantas se faz na forma de  $Mg^{+2}$ . O  $Mg^{+2}$ , como o  $Ca^{+2}$  e o  $K^{+}$ , se move para parte aérea na corrente transpiratória. De modo semelhante ao que ocorre com o potássio, o  $Mg^{+2}$  é móvel no floema e, portanto, os sintomas de carência, incluindo a clorose internerval, começam nas folhas mais velhas.



**Figura 10.** Plantas de *Crambe abyssinica* Hoscht submetidas a solução nutritiva com supressão de Mg. Sendo à esquerda: planta controle e à direita: planta sem Mg, temos: (a) Vista frontal. (b) Vista superior. (c). (d) Clorose internerval nas folhas mais velhas. (e) Clorose internerval no início do tratamento. (f) Esbranquiçamento internerval.

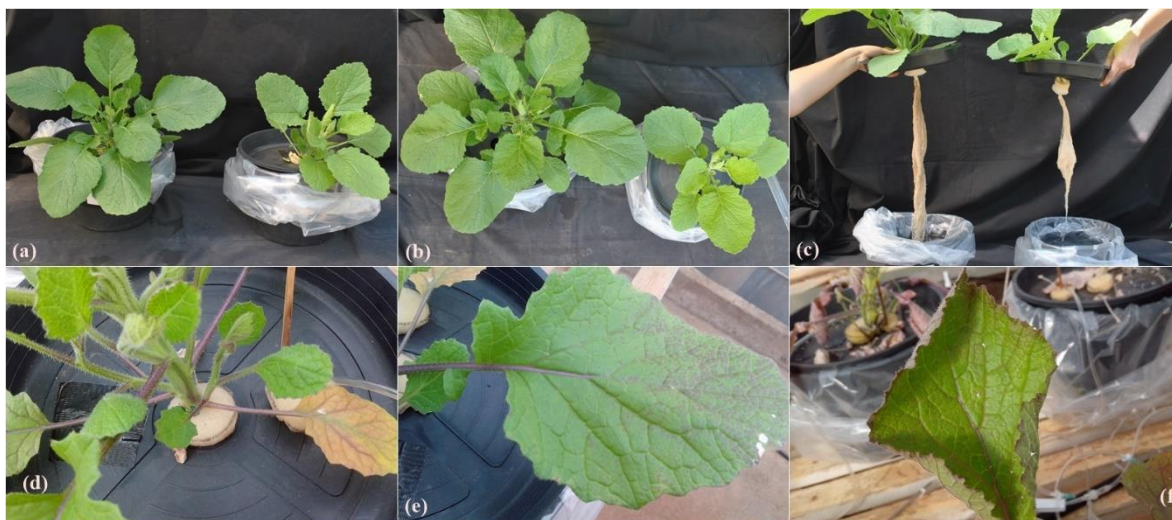
### 3.1.6. Enxofre

Os sintomas de deficiência de S nas mudas manifestaram-se primeiro com arroxamento (tons de vermelho-roxo) dos pecíolos e das nervuras das folhas mais novas, juntamente com o enrolamento das margens de todas as folhas, seguido de necrose a partir das bordas (Figura 10). A sintomatologia descrita diverge da descrita por La Torraca et al. (1984), que observaram a perda da coloração verde característica na ponta das folhas mais



novas e substituição da coloração verde das folhas mais novas por uma coloração verde claro, assim como também proposto por Malavolta et al (1997).

De acordo com Malavolta (1980) e Raij (1991), a forma de S predominantemente absorvida da solução do solo pelas raízes é a altamente oxidada – o sulfato. O sulfato é transportado predominantemente na direção acrópeta, da base da planta para cima; a capacidade da planta para mover o S na direção basípeta é muito pequena; em caso de carência de S, os sintomas aparecem em primeiro lugar nos órgãos mais novos, como as folhas mais novas. Os sintomas assemelham-se um pouco com os da deficiência de N, mas o S não se transloca das folhas velhas para as novas.



**Figura 10.** Plantas de *Crambe abyssinica* Hoscht submetidas a solução nutritiva com supressão de S. Sendo à esquerda: planta controle e à direita: planta sem S, temos: (a) Vista frontal. (b) Vista superior. (c) Comparativo de raízes. (d) Arroxamento do pecíolo. (e) Arroxamento das nervuras. (f) Encurvamento das bordas das folhas.

#### 4. CONCLUSÕES

A falta, individualizada, de N, P, K, Ca, Mg e S na solução nutritiva produziu alterações morfológicas, traduzidas como sintomas característicos de deficiência nutricional para cada elemento. Todas plantas de *Crambe abyssinica* submetidas a cada deficiência apresentaram profundas modificações no desenvolvimento em sua fase inicial, o que prejudicou o desenvolvimento posterior. Destaca-se o efeito letal da ausência de cálcio, evidenciando a importância da calagem como fonte deste nutriente para as plantas em solos de baixa fertilidade.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARTUS, N.N. Arsenic and cadmium phytoextraction potential of crambe compared with Indian mustard. **Journal of Plant Nutrition**, v.29, p.667-679, 2006.
- CONCENÇO, G.; STAUT, L.A.; CORREIA, I.V.T.; VIEIRA, L.C.Y.; SILVA, C.J. Crescimento de crambe na presença ou ausência de competição interespecífica. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 62, n.5, p. 460-468, set-out, 2015.
- DIAS, L.A.S.; MISSIO, R. F.; RIBEIRO, R.M.; FREITAS, R.G.; DIAS, P.F.S. Agrocombustíveis: perspectivas futuras. **BAHIA ANÁLISE & DADOS**, Salvador, v.18, n.4, p.539-547, jan./mar. 2009.
- EPSTEIN, F. **Nutrição mineral das plantas**: princípios e perspectivas. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo. 341p. 1975.
- FAQUIN, V. Diagnose do estado nutricional das plantas. Lavras: **UFLA/FAEPE**, 2002.
- GONÇALVES JR., C.G.; RUBIO, F.; MENEGHEL, A.P.; COELHO, G.F.; DRAGUNSKI, D.C.; STREY, L. The use of Crambe abyssinica seeds as adsorbent in the removal of metals from waters. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.17, p.306-311, 2013.
- JASPER, S.P.; BIAGGIONI, M.A.M.; SILVA, P.R.A. Comparação do Custo de Produção do Crambe (Crambe abyssinica Hochst) com Outras Culturas Oleaginosas em Sistema de Plantio Direto. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, vol. 25, n.4, p.141- 153. 2010.
- LAGHETTI G.; et al. Yield and oil quality in selected lines of Crambe abyssinica grow in Italy. **Industrial crops and products**, Itália. 1995.
- LA TORRACA, S.M.; HAAG, H.P.; DECHEN, A.R. Nutrição mineral de frutíferas tropicais I. Sintomas de carências nutricionais em pupunha. **O Solo**, 76(1): 53-56. 1984
- LAZZERI, L.; MATTEI, F.; BUCELLI, F.; PALMIERI, S. Crambe oil - a potential new hydraulic oil and quenchant. **Industrial Lubrication and Tribology**, Amsterdam, v.49, n.2, p.71-77, 1997.

- MAGALHAES, A.F. de J. Análise química de solo. Cruz das Almas: **EMBRAPA-CNPMPF**, 1997. 6p.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. **Edição Ceres**, São Paulo. 251p. 1980.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. **Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo**, Piracicaba. 1997.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. **Academic Press**, London. 889p. 1999.
- MATTEI, L.F. Programa Nacional para Produção e uso do Biodiesel no Brasil (PNPB): trajetória, situação atual e desafios. **Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**. Florianópolis, 2008.
- MENDONÇA, B.P.C. Coprodutos do crambe (*Crambe abyssinica*) na alimentação de bovinos nelore em confinamento. Diss. Tese (Doutorado em Zootecnia). **Universidade Federal de Viçosa. Brasil**, 2012.
- PITOL, C.; BROCH, L.D.; ROSCOE, R. Tecnologia e produção: Crambe 2010. **Fundação MS**, 2010.
- RAIJ, B. Fertilidade do solo e adubação. **Agrônômica Ceres**, São Paulo. 343p. 1991
- SANTOS, A.R. Diagnose nutricional e respostas do capim-braquiária submetido a doses de nitrogênio e enxofre. **Piracicaba**: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, p. 115, 1997.
- SANTOS, J.I.; ROGÉRIO, F.; MIGLIAVACCA, R.A. Efeito da Adubação Potássica na Cultura do Crambe. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 346-350. 2012.
- SILVA, J.R.A.; FALCÃO, N.P.S. Caracterização de sintomas de carências nutricionais em mudas de pupunheira cultivadas em solução nutritiva. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, INPA/CPCA, Manaus, AM, Brasil. **Acta Amazônica** p. 529-539. 2002

SILVA, P.R.; MONTANHER, A.F.; ADÃO, D.C.; ZAGONEL, G.F.; et al. Caracterização físico-química de óleo e biodiesel metílico de crambe. 3º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia de Biodiesel - **RBTB**. Brasília – DF. 2009.

SILVA, E.B.; TANURE, L.P.P.; SANTOS, S.R.; JUNIOR, P.S.R. Sintomas visuais de deficiências nutricionais em pinhão-mansão. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília, v.44, n.4, p.392-397, 2009.

VALARINI, P.J.; OLIVEIRA, F.R.A.; SCHILICKMANN, S.F.; POPPI, R.J. Qualidade do solo em sistemas de produção de hortaliças orgânico e convencional. **Horticultura Brasileira** 29: 485-491. 2011.

VELOSO, C.A.C.; MURAOKA, T.; MALAVOLTA, E.; CARVALHO, J.G. Diagnose de deficiências de macronutrientes em pimenteira-do-reino. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.33, n.1 1. p.I 889-1896. nov. 1998