



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS**  
**ESCOLA DE AGRONOMIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**RESPOSTA DO CRAMBE (*Crambe abyssinica*) A CALAGEM E ADUBAÇÃO  
MINERAL EM SOLOS DE CERRADO**

**JOSÉ MILTON ALVES**

Orientador:  
**Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro**

Março-2013



**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

**1. Identificação do material bibliográfico:**      **Dissertação**      **Tese**

**2. Identificação da Tese ou Dissertação:**

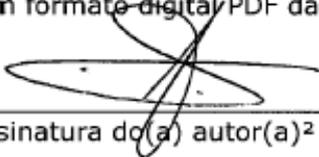
Nome completo do autor: José Milton Alves

Título do trabalho: Resposta do crambe (*Crambe abyssinica*) a calagem e adubação mineral em solos de Cerrado.

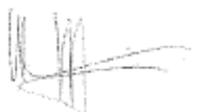
**3. Informações de acesso ao documento:**

Concorda com a liberação total do documento  SIM      NÃO<sup>1</sup>

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.

  
Assinatura do(a) autor(a)<sup>2</sup>

Ciente e de acordo:



Assinatura do orientador<sup>2</sup>

Data: 02 / 06 / 2017

<sup>1</sup> Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados durante o período de embargo.

**JOSÉ MILTON ALVES**

**RESPOSTA DO CRAMBE (*Crambe abyssinica*) A CALAGEM E ADUBAÇÃO  
MINERAL EM SOLOS DE CERRADO**

Tese apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás, como exigência para obtenção do título de Doutor em Agronomia, área de concentração: Solo e Água.

Orientador:

**Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro**

Goiânia, GO - Brasil

2013

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
GPT/BC/UFG**

**Alves, José Milton.**  
A474r      **Resposta do crambe (*Crambe abyssinica*) a calagem e adubação mineral em solos de cerrado [manuscrito] / José Milton Alves. - 2013.  
100 f. : il.**

**Orientador: Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro.**  
**Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Goiás,**  
**Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, 2013.**

**Bibliografia.**

**Inclui lista de tabelas e figuras.**

**1. Biodiesel. 2. Calagem dos solos – Cerrado. 3. Crambe (*Crambe abyssinica*) – Efeito do boro. 4. Crambe (*Crambe abyssinica*) – Efeito do zinco. I. Título.**

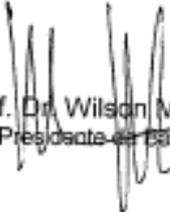
**CDU: 633.9:662.756.3**

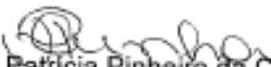


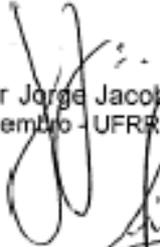
SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
 MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS**  
 ESCOLA DE AGRONOMIA  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**



**ATA DA REUNIÃO DA BANCA EXAMINADORA DA DEFESA DE TESE DE JOSÉ MILTON ALVES** - Aos vinte e dois dias do mês de março do ano de dois mil e treze (22.03.2013), às 14h00min, reuniram-se os componentes da Banca Examinadora: Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro - Orientador/Presidente, Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Patrícia Pinheiro da Cunha, Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Virginia Damin, Prof. Dr. Edson Luiz Souchie e Prof. Dr. Jorge Jacob Neto, para, em sessão pública realizada na sala de estudos do PPGA, da Escola de Agronomia, procederem à avaliação da defesa de Tese intitulada: "**Saturação por bases e adubação mineral em crambe nas condições de cerrado**", de autoria de **José Milton Alves**, discente do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, na área de concentração em **Solo e Água**, em nível de **Doutorado**, da Universidade Federal de Goiás. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida ao autor da Tese que, em 40 minutos, apresentou o seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da Banca arguiu o examinando, tendo-se adotado o sistema de diálogo seqüencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se à avaliação da defesa. A Banca Examinadora alterou o título original da Tese para: "**Resposta do crambe (*Crambe abyssinica*) a calagem e adubação mineral em solos de cerrado**". De acordo com a Resolução nº 1051, de 09.09.2011 do CEPEC - Conselho de Ensino, Pesquisa, Extensão e Cultura, que regulamenta o Programa de Pós-Graduação em Agronomia, e desde que procedidas às correções recomendadas, a Tese será considerada **APROVADA** pela Banca Examinadora, estando integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **DOUTOR EM AGRONOMIA**, na área de concentração em **SOLO E ÁGUA**, pela Universidade Federal de Goiás. O doutorando deverá efetuar as modificações sugeridas pela Banca Examinadora e encaminhar a versão definitiva da Tese à Secretaria do PPGA, no prazo máximo de trinta dias após a data da defesa. A conclusão do curso e a emissão do diploma dar-se-ão após o cumprimento do Artigo 69 da Resolução CEPEC nº 1051, de 09.09.2011. A Banca Examinadora recomenda a publicação de artigo(s) científico(s), oriundo(s) dessa Tese, em periódicos de circulação nacional e, ou, internacional, depois de efetuadas as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades de pauta, às 18h45min a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Tese e, para constar eu, Welinton Barbosa Mota, Secretário do PPGA, lavrei a presente Ata que depois de lida e aprovada, segue assinada pelos membros da Banca Examinadora, em quatro vias de igual teor.

  
 Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro  
 Presidente da Banca - EA/UFV

  
 Prof.ª Dr.ª Patrícia Pinheiro da Cunha  
 Membro - EA/UFV

  
 Prof. Dr. Jorge Jacob Neto  
 Membro - UFRJ

  
 Prof.ª Dr.ª Virginia Damin  
 Membro - EA/UFV

  
 Prof. Dr. Edson Luiz Souchie  
 Membro - FGoiano - Rio Verde, GO

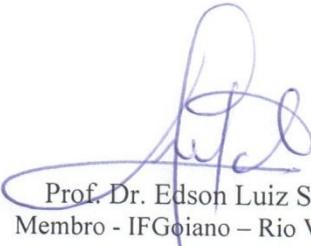
**JOSÉ MILTON ALVES**

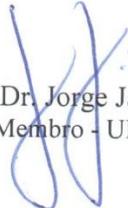
**TÍTULO: “RESPOSTA DO CRAMBE (*Crambe abyssinica*) A CALAGEM E ADUBAÇÃO MINERAL EM SOLOS DE CERRADO”**

Tese DEFENDIDA e APROVADA em 22 de março de 2013, pela Banca Examinadora constituída pelos membros:

  
Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Virginia Damin  
Membro - EA/UFG

  
Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Patricia Pinheiro da Cunha  
Membro - EA/UFG

  
Prof. Dr. Edson Luiz Souchie  
Membro - IFGoiano – Rio Verde, GO

  
Prof. Dr. Jorge Jacob Neto  
Membro - UFRRJ

  
Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro  
Orientador/Presidente – EA/UFG

Goiânia – Goiás  
Brasil

## DEDICATÓRIA

A Deus, por nos permitir conhecer mais.

A Cassia pela força e encorajamento nos momentos difíceis.

Aos meus filhos Daniel e Lucas, minha maior força pra vencer os obstáculos.

A toda família, em especial os meus pais Catarina e Osvaldo pelo apoio sempre.

A todos os amigos, sem os quais tudo seria mais difícil.

Aos meus sobrinhos, que este trabalho lhes seja uma inspiração.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me acompanhar nesta jornada, e me permitir atingir meus objetivos.

Ao Prof. Wilson Mozena Leandro pela orientação e pela amizade durante todo este tempo.

A todos os professores, que de uma forma ou de outra contribuíram na minha formação pessoal e profissional.

A UFG, pela oportunidade na minha formação.

Ao casal Valteir Borges Costa e sua esposa Corina pelo apoio no início da jornada, e por me mostrar que era possível.

Aos colegas Larissa, Samuel, Gleina, Lurdineide, Glaucia, Ildelfonso, Tuana, Letícia, Márcia, Jô, Alexandre, Muller, Lorena e a todos que ajudaram na realização deste trabalho e pela presença no dia a dia.

Ao IFGoiano e aos discentes Severino, Leonan, Aimee, Anne, Marina, Wallan, Dayane e Rubens pela colaboração na condução dos experimentos.

A família pelo apoio e compreensão do tempo dedicado.

Aos pilotos de parapente Altair, Marcelo, Alexandre, Hugo, Junei, Milton por compartilharem a arte de voar.

A todos os técnicos administrativos da UFG, especialmente ao Wellington Motta pela colaboração na secretaria e amizade no dia-a-dia.

A FAPEG pelo auxílio que contribuiu para que eu chegasse até aqui.

A minha esposa Cassia pelas contribuições neste trabalho e no dia-a-dia, sempre.

Aos meus filhos Lucas e Daniel, minha maior inspiração.

A todos que de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>9</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>10</b>
<b>RESUMO GERAL.....</b>	<b>14</b>
<b>GENERAL ABSTRACT.....</b>	<b>15</b>
<b>1 INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>16</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>18</b>
2.1 REFERÊNCIAS.....	23
<b>3 ADUBAÇÃO MINERAL NA CULTURA DO CRAMBE EM CONDIÇÕES DE CASA DE VEGETAÇÃO.....</b>	<b>28</b>
RESUMO.....	28
ABSTRACT.....	28
3.1 INTRODUÇÃO.....	29
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
<b>3.3.1 Efeito das doses de nitrogênio.....</b>	<b>33</b>
<b>3.3.2 Efeito das doses de fósforo.....</b>	<b>38</b>
<b>3.3.3 Efeito das doses de zinco.....</b>	<b>43</b>
<b>3.3.4 Efeito das doses boro.....</b>	<b>46</b>
3.4 CONCLUSÕES.....	51
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
<b>4 SATURAÇÃO POR BASES E ADUBAÇÃO MINERAL NA CULTURA DO CRAMBE EM CONDIÇÕES DE CAMPO.....</b>	<b>57</b>
RESUMO.....	57
ABSTRACT.....	57
4.1 INTRODUÇÃO.....	58
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	60
<b>4.2.1 Localização e caracterização da área experimental.....</b>	<b>60</b>
<b>4.2.2 Tratamentos e delineamento experimental.....</b>	<b>62</b>
<b>4.2.3 Implantação e condução do experimento.....</b>	<b>63</b>
<b>4.2.4 Variáveis avaliadas.....</b>	<b>65</b>
4.2.4.1 Massa seca de raiz e da parte aérea.....	65
4.2.4.2 Produtividade de grãos.....	66
4.2.4.3 Teor de óleo dos grãos.....	66

4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
4.3.1	Efeito da saturação por bases e doses de nitrogênio.....	66
4.3.2	Efeito da saturação por bases e doses de fósforo.....	76
4.3.3	Efeito da saturação por bases e doses de potássio.....	84
4.4	CONCLUSÕES.....	89
4.5	REFERÊNCIAS.....	90
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	96
6	ANEXOS.....	98

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 4.1.</b> Massa seca de raiz de crambe ( $\text{g planta}^{-1}$ ) em função de doses de nitrogênio e colhidas em diferentes épocas. Médias de dezesseis observações.....	67
<b>Tabela 4.2.</b> Massa seca da parte aérea de crambe ( $\text{g planta}^{-1}$ ), em função de doses de nitrogênio e colhidas em diferentes épocas. Médias de quatro observações.....	70
<b>Tabela 4.3.</b> Produtividade de grão de crambe ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e relativizada em relação a testemunha, dentro do parêntese, em função da elevação da saturação por bases do solo (V%) e doses de nitrogênio. Médias de quatro observações. CV(%)=9,65.....	73
<b>Tabela 4.4.</b> Massa seca de raiz de crambe ( $\text{g planta}^{-1}$ ) em função de doses de fósforo e colhidas em diferentes épocas. Médias de dezesseis observações.....	76
<b>Tabela 4.5.</b> Massa seca de raiz de crambe ( $\text{g planta}^{-1}$ ) em função de doses de potássio e colhidas em diferentes épocas. Médias de dezesseis observações.....	84
<b>Tabela 4.6.</b> Produtividade de grãos de crambe ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) em função da elevação da saturação por bases do solo (V%) e doses de potássio. Médias de quatro observações. CV(%)=16,06.....	88
<b>Tabela 4.7.</b> Teor de óleo dos grãos de crambe (%) em função da elevação da saturação por bases do solo (V%) e doses de potássio. Médias de quatro observações. CV(%)=1,73.....	89

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 3.1.** Massa seca de raiz de crambe ( $\text{g planta}^{-1}$ ) submetida a doses crescentes de nitrogênio e coletadas aos 38 dias após a emergência (DAE). (Médias de 8 plantas). CV= 14,09. \*\*Significativo ( $P \leq 0,01$ )..... 34
- Figura 3.2.** Massa seca da parte aérea ( $\text{g planta}^{-1}$ ) de crambe submetidas a doses crescentes de nitrogênio e coletadas aos 38 dias após a emergência (DAE). (Médias de 8 plantas). CV= 6,16. \*\*Significativo ( $P \leq 0,01$ )..... 35
- Figura 3.3.** Produção de grãos de crambe ( $\text{g planta}^{-1}$ ), submetidas a doses crescentes de nitrogênio. (Média de 8 plantas). CV= 13,04. \*\*Significativo ( $P \leq 0,01$ )..... 36
- Figura 3.4.** Teor de óleo dos grãos de plantas crambe (%) submetidas a doses crescentes de nitrogênio. (Médias de 4 repetições). CV= 9,11. \*Significativo ( $P \leq 0,05$ )..... 37
- Figura 3.5.** Massa seca de raiz de crambe ( $\text{g planta}^{-1}$ ) em função das doses crescentes de fósforo e coletadas aos 38 dias após a emergência (DAE). (Média de 8 plantas). CV= 65,61. \*\*Significativo ( $P \leq 0,01$ )..... 38
- Figura 3.6.** Massa seca da parte aérea ( $\text{g planta}^{-1}$ ) de crambe em função de doses crescentes de fósforo e coletadas aos 38 dias após a emergência (DAE). (Médias de 8 plantas). CV= 16,20. \*\*Significativo ( $P \leq 0,01$ )... 39
- Figura 3.7.** Produção de grãos de crambe ( $\text{g planta}^{-1}$ ), submetidas a doses crescentes de fósforo. (Médias de 8 plantas). CV= 8,19. \*\*Significativo ( $P \leq 0,01$ )..... 40
- Figura 3.8.** Teor de óleo dos grãos de plantas crambe (%) submetidas a doses crescentes de fósforo. (Médias de 4 repetições). CV= 9,11..... 42
- Figura 3.9.** Massa seca de raiz ( $\text{g planta}^{-1}$ ) de crambe submetidas a doses crescentes de zinco e coletadas aos (36 DAE). (Média de 8 plantas). CV= 14,79..... 43

<b>Figura 3.10.</b> Massa seca da parte aérea (g planta <sup>-1</sup> ) de crambe submetidas a doses crescentes de zinco e coletadas aos 36 dias após a emergência (DAE). (Médias de 8 plantas). CV= 2,77. **Significativo (P ≤ 0,01).....	44
<b>Figura 3.11.</b> Produção de grãos de crambe (g planta <sup>-1</sup> ), submetidas a doses crescentes de zinco. (Médias de 8 plantas). CV= 7,08. **Significativo (P ≤ 0,01).....	45
<b>Figura 3.12.</b> Teor de óleo dos grãos de plantas crambe (%) submetidas a doses crescentes de zinco. (Médias de 4 repetições). CV= 9,94.....	46
<b>Figura 3.13.</b> Massa seca de raiz (g planta <sup>-1</sup> ) de crambe submetidas a doses crescentes de boro e coletadas aos 36 dias após a emergência (DAE). (Médias de 8 plantas). CV= 24,13. *Significativo (P ≤ 0,05).....	47
<b>Figura 3.14.</b> Massa seca da parte aérea (g planta <sup>-1</sup> ) de crambe submetidas a doses crescentes de boro e coletadas aos 36 dias após a emergência (DAE). (Médias de 8 plantas). CV= 9,54.....	48
<b>Figura 3.15.</b> Produção de grãos de crambe (g planta <sup>-1</sup> ), submetidas a doses crescentes de boro. (Médias de 8 plantas). CV= 10,36.....	49
<b>Figura 3.16.</b> Teor de óleo dos grãos de plantas crambe (%) submetidas a doses crescentes de boro. (Médias de 4 repetições). CV= 9,55.....	50
<b>Figura 4.1.</b> Precipitação acumulada (mm mês <sup>-1</sup> ) durante o desenvolvimento da cultura do crambe no município de Rio Verde – GO no ano de 2011...	61
<b>Figura 4.2.</b> Temperatura média mensal (°C) durante o desenvolvimento da cultura do crambe no município de Rio Verde – GO no ano de 2011.....	61
<b>Figura 4.3.</b> Vista do experimento para avaliação do efeito da elevação da saturação por bases e doses de adubação mineral (NPK) na cultura do crambe aos 22 dias após a emergência durante a fase de crescimento vegetativo.....	64

<b>Figura 4.4.</b> Vista do experimento para avaliação do efeito da elevação da saturação por bases e doses de adubação mineral (NPK) na cultura do crambe aos 44 dias após a emergência durante a fase de florescimento pleno.....	64
<b>Figura 4.5.</b> Vista do experimento para avaliação do efeito da elevação da saturação por bases e doses de adubação mineral (NPK) na cultura do crambe aos 63 dias após a emergência durante a fase de granação.....	65
<b>Figura 4.6.</b> Massa seca de raiz de crambe ( $\text{g planta}^{-1}$ ) em função da elevação da saturação por bases do solo (V%) e coletadas aos 35 e aos 55 dias após a emergência (DAE). Médias de doze observações.....	68
<b>Figura 4.7.</b> Massa seca de raiz de crambe ( $\text{g planta}^{-1}$ ) em função da elevação da saturação por bases do solo (V%) e coletadas aos 45 dias após a emergência (DAE). Médias de doze observações. ns=não significativo..	69
<b>Figura 4.8.</b> Teor de óleo de grãos de crambe (%) em função da elevação da saturação por bases do solo (V%). Médias de 12 repetições. CV(%)= 1,83.....	75
<b>Figura 4.9.</b> Massa seca de raiz de crambe ( $\text{g planta}^{-1}$ ) em função da elevação da saturação por bases do solo (V%) e coletadas em diferentes épocas. *: significativo ( $p \leq 0,05$ ). Médias de 12 observações.....	77
<b>Figura 4.10.</b> Massa seca da parte aérea de crambe ( $\text{g planta}^{-1}$ ) em função de doses de fósforo e colhida aos 35 dias após a emergência (DAE). Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Médias de dezesseis observações. CV(%)= 29,16.....	78
<b>Figura 4.11.</b> Massa seca da parte aérea de crambe ( $\text{g planta}^{-1}$ ) em função da elevação da saturação por bases do solo (V%) e colhida aos 45 dias após a emergência (DAE). Médias de doze observações. CV(%)= 34,12.....	79

<b>Figura 4.12.</b> Produtividade de grãos de crambe ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) em função de doses de fósforo. Médias de dezesseis observações. $\text{CV}(\%)= 14,12$ . Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).....	80
<b>Figura 4.13.</b> Produtividade de grãos de crambe ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) em função da elevação da saturação por bases do solo (V%). Médias de doze observações. $\text{CV}(\%)= 14,12$ .....	81
<b>Figura 4.14.</b> Teor de óleo de grãos de crambe (%) em função das doses de fósforo. Médias de dezesseis repetições. $\text{CV}(\%)= 1,82$ . Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).....	82
<b>Figura 4.15.</b> Teor de óleo dos grãos de crambe (%) em função da elevação da saturação por bases do solo (V%). Médias de doze observações. $\text{CV}(\%)= 1,82$ . *: Significativo ( $P \leq 0,05$ ).....	83
<b>Figura 4.16.</b> Massa seca de raiz de crambe ( $\text{g planta}^{-1}$ ) em função da elevação da saturação por bases do solo (V%) e coletadas aos 35 e aos 45 dias após a emergência (DAE). *: significativo ( $p \leq 0,05$ ). **: Significativo ( $P \leq 0,01$ ). Médias de 12 observações.....	85
<b>Figura 4.17.</b> Massa seca da parte aérea de crambe ( $\text{g planta}^{-1}$ ) em função das doses de potássio e colhidas aos 35 dias após a emergência (DAE). Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Médias de dezesseis observações. $\text{CV}(\%)= 37,66$ .....	86
<b>Figura 4.18.</b> Massa seca da parte aérea de crambe ( $\text{g planta}^{-1}$ ) em função da elevação da saturação por bases do solo (V%) e colhida aos 35 e aos 45 dias após a emergência (DAE). Médias de doze observações. *: Significativo ( $P \leq 0,05$ ). **: Significativo ( $P \leq 0,01$ ).....	87

## RESUMO GERAL

ALVES, J. M. **Resposta do crambe (*Crambe abyssinica*) a calagem e adubação mineral em solos de cerrado**. 2013. 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Solo e Água) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.<sup>1</sup>

Ainda não há recomendações específicas para a cultura do crambe em relação a adubação com macro e micronutrientes. Este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito da saturação por bases e adubação mineral na cultura do crambe. Foram instalados experimentos em dois anos de cultivo. No primeiro ano foram instalados experimentos em vasos e em casa de vegetação no ano de 2010 avaliando, de forma independente, o efeito de doses de (N, P, Zn e B). As doses avaliadas em  $\text{mg kg}^{-1}$  de solo, foram: N (testemunha, 20, 40 e 80), P (testemunha, 20, 40 e 80), Zn (testemunha, 1, 2, e 4), B (testemunha, 0,5, 1, e 2). Foram avaliados os seguintes parâmetros: massa seca de raiz por planta, massa seca da parte aérea por planta, produção de grãos por planta e teor de óleo dos grãos. No ano de 2011, que foi o segundo ano de cultivo, foram instalados três experimentos em condição de campo para avaliar, de forma isolada, em um esquema fatorial o efeito da elevação da saturação por bases e doses de nitrogênio, saturação por bases e doses de fósforo e saturação por bases e doses de potássio na cultura do crambe. Cada um desses experimentos foi formado por um fatorial (4x3) com 4 repetições totalizando 48 parcelas, sendo a testemunha comum para todos os nutrientes. Em cada experimento foram avaliados quatro níveis de saturação por bases e três níveis de cada uma das adubações minerais. Os níveis de saturação por bases foram: (34 - natural do solo, 40, 50 e 60 %). As adubações minerais avaliadas foram: a) Nitrogênio - 1=testemunha; 2= 40  $\text{kg ha}^{-1}$  de nitrogênio; 3 = 80  $\text{kg ha}^{-1}$  de nitrogênio, b) Fósforo - 1= testemunha; 2= 40  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ; 3= 80  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ , c) potássio - 1=testemunha; 2= 40  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ ; 3= 80  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ . As parcelas experimentais foram formadas por um retângulo de 9  $\text{m}^2$  com 5 linhas de plantio com espaçamento entre elas de 0,45m. O plantio foi realizado no dia 08/03/2011 utilizando a cultivar “FMS Brillhante”. Os resultados obtidos nos experimentos de casa de vegetação mostraram que a adição das doses de nitrogênio elevou de forma linear todos os parâmetros avaliados. A adição das doses de fósforo elevou de forma linear o desenvolvimento do sistema radicular, da parte aérea e a produção de grãos. A adição das doses de zinco elevou de forma linear desenvolvimento da parte aérea e a produção de grãos. A adição das doses de boro influenciou de forma quadrática o desenvolvimento do sistema radicular. Os experimentos em condições de campo mostraram que a adição das doses de nitrogênio aumentou a massa seca do sistema radicular e da parte aérea, a produtividade e não influenciou no teor de óleo. As doses de fósforo elevaram significativamente todos os parâmetros avaliados. O potássio elevou significativamente todos os parâmetros avaliados com exceção do teor de óleo. A saturação por bases influenciou todos os parâmetros avaliados de forma linear ou quadrática.

*Palavras-chave:* biodiesel, calagem, boro, zinco, NPK.

---

<sup>1</sup>Orientador: Prof. Dr. Wilson Mozena Leandro. EA – UFG.

## GENERAL ABSTRACT

ALVES, J. M. **Response crambe (*Crambe abyssinica*) liming and mineral fertilization in cerrado soils.** 2013. 100 f. Thesis (Ph.D. in Agronomy: Soil and Water) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.<sup>1</sup>

There are no specific recommendations for the culture of crambe over fertilization with macro and micronutrients. This study aims to evaluate the effect of base saturation and mineral fertilization on crop crambe. Experiments were set in two growing seasons. In the first year were montados experiments in pots in the greenhouse and in the year 2010 which evaluated independently, the effect of doses of (N, P, Zn and B). The doses evaluated in mg kg<sup>-1</sup> of soil were: N (control, 20, 40 and 80), P (control, 20, 40 and 80), Zn (control, 1, 2, and 4), B (control, 0.5, 1, and 2.) We evaluated the following parameters: root dry weight per plant, shoot dry mass per plant, grain yield per plant and oil content of the grain. In the year 2011, which was the second year of cultivation, were assembled in three experiments to evaluate field conditions, in isolation, in a factorial design the effect of raising the base saturation and nitrogen levels, base saturation and doses Phosphorus and base saturation and potassium levels in the culture of crambe. Each of these experiments was formed by a factorial design (4x3) with 4 replicates totaling 48 installments, the common witness to all nutrients. In each experiment, four levels of saturation and three levels of each mineral fertilizers. The base saturation levels were: (34 - natural soil, 40, 50 and 60%). The mineral fertilizers were evaluated: a) Nitrogen - 1 = control, 2 = 40 kg ha<sup>-1</sup> nitrogen, 3 = 80 kg ha<sup>-1</sup> nitrogen, b) Phosphorus - 1 = control, 2 = 40 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 3 = 80 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, c) potassium - 1 = control, 2 = 40 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O, 3 = 80 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O. The experimental plots were formed by a rectangle of 9 m<sup>2</sup> with 5 lines of planting spacing of 0.45 m between them. The planting was held using the cultivar 'Bright FMS ". The results obtained in greenhouse experiments showed that the addition of nitrogen increased linearly all measured parameters. The addition of phosphorus levels increased linearly the development of root, shoot and grain production. Addition of zinc doses increased linearly shoot growth and grain yield. The addition of boron doses quadratically influenced the development of the root system. The experiments in the field showed that the addition of nitrogen increased the dry weight of roots and shoots, productivity and no influence on oil content. The phosphorus levels significantly increased all parameters evaluated. Potassium significantly increased all parameters except the oil content. The base saturation influenced all parameters in a linear or quadratic.

*Key words:* biodiesel, lime, boron, zinc, NPK.

---

<sup>1</sup>Advisor: Prof. Dr Wilson Mozena Leandro. EA – UFG.

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Tendo em vista a crescente demanda de alternativas aos combustíveis fósseis, diversas plantas vêm sendo estudadas com objetivo de fornecimento de óleo para produção de biodiesel. Entre estas plantas podemos destacar a mamona (*Ricinus communis*), a soja (*Glycine max*), o girassol (*Helianthus annuus*), o pinhão manso (*Jatropha curcas*), o nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e o crambe (*Crambe abyssinica*). O crambe é uma cultura de inverno e pode ser cultivado tardiamente, em épocas que os riscos para as demais culturas de safrinha seriam muito elevados na região Centro-Oeste. Por estes motivos esta planta tem despertado interesse, como sendo mais uma alternativa para a safrinha e rotação de culturas (Panno & Prior, 2009). Dentre as principais características da cultura está sua precocidade, com grãos maduros aos 90-100 dias e maturação uniforme, facilitando a colheita mecanizada (Lazzeri et al., 1995; Falasca et al., 2010). Jasper et al. (2010) relata que a cultura do crambe apresentou menor custo de produção que outras fontes oleaginosas, como, canola, girassol e soja. Segundo Heinz et al. (2011) a palhada do crambe apresenta maior persistência do que a de outras culturas utilizadas como cobertura de solo e que o K, P e Mg são os nutrientes liberados mais rapidamente para a cultura subsequente. A maior taxa de liberação de macronutrientes pelas culturas ocorre ao redor de 15 dias após o manejo da fitomassa.

Os principais motivos que impedem que a cultura do crambe seja cultivada em larga escala é a carência de informações técnicas a respeito do manejo adequado para maximizar a produtividade de grãos e óleo. Entre os fatores de manejo, um dos mais importantes está relacionado com a fertilidade do solo. Sendo o solo o meio principal para o crescimento das plantas é fundamental o entendimento do comportamento do crambe em diferentes condições de disponibilidade de nutrientes (macro e micronutrientes) para a correta tomada de decisões sobre a implantação desta cultura em condições comerciais. Nutrientes como o zinco e o boro são classificados como essenciais para o desenvolvimento das plantas quando em níveis adequados, desempenhando importante papel na nutrição mineral, bioquímica e fisiologia das plantas, uma vez que são grupos

prostéticos de enzimas ou fazem parte da estrutura de moléculas importantes (Marschner, 1995). O crambe é uma cultura destinada principalmente para a produção de óleo, que é uma forma de armazenamento de energia da planta, esperam-se respostas significativas da adição de micronutrientes, principalmente em condições de escassez desses elementos no solo. De acordo com os resultados obtidos por Souza et al. (2009) o teor de proteína bruta obtida na torta de crambe 31,7 (%) indica que em condições de produtividades elevadas esta cultura seja exigente em nitrogênio. Já há relatos na literatura mostrando que a maior disponibilidade de nitrogênio no solo pode gerar respostas significativas na produção de grãos dessa cultura (Broch & Roscoe, 2010). Quanto ao fósforo, é relatado na literatura que o fornecido em quantidades adequadas estimula o desenvolvimento radicular, garante uma arrancada vigorosa, apressa a maturação fisiológica, estimula o florescimento, ajuda a formação das sementes, aumenta a resistência ao frio dos cereais e também aumenta a produtividade (Malavolta, 1989). Segundo Severino et al. (2006) o fósforo é o nutriente de maior importância para o aumento de produtividade e teor de óleo da mamoneira e portanto é de se esperar que também contribua de forma decisiva na produção de óleo do crambe. Dessa forma os estudos para compreensão da resposta das culturas aos micronutrientes nas diversas situações de solo e ambiente devem ser estimulados.

Este trabalho tem por objetivo avaliar, de forma preliminar, o efeito de doses de nutrientes (N, P, Zn e B) na cultura do crambe em condições de casa de vegetação e o efeito da elevação da saturação por bases e adubação (NPK) em condições de campo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Cerca de 40% de toda a energia consumida no mundo provém do petróleo, do carvão e do gás natural (Ferrari et al., 2005). Essas fontes são limitadas e com previsão de esgotamento no futuro, portanto, a busca por fontes alternativas de energia é de suma importância. Neste contexto, os óleos vegetais aparecem como uma alternativa para substituição ao óleo diesel em motores de ignição por compressão, sendo o seu uso testado já em fins do século XIX, produzindo resultados satisfatórios no próprio motor diesel. Esta possibilidade de emprego de combustíveis de origem agrícola em motores do ciclo diesel é bastante atrativa tendo em vista o aspecto ambiental, por ser uma fonte renovável de energia e pelo fato do seu desenvolvimento permitir a redução da dependência de importação de petróleo (Ferrari et al., 2005).

Quatro métodos têm sido investigados para reduzir a alta viscosidade de óleos vegetais e, assim, permitir o seu uso em motores diesel sem problemas operacionais, com a formação de incrustações e depósitos; a) uso de misturas binárias com petrodiesel. b) pirólise. c) microemulsificação (ou mistura co-solvente) e d) transesterificação (Schwab et al., 1987). A opção dominante em todo o mundo é o uso dos ésteres de ácidos graxos, aos quais se denomina genericamente de biodiesel. A forma mais comum de obtenção deste combustível é por meio da reação dos óleos vegetais com metanol ou etanol, na presença de um catalizador, em processo químico conhecido como transesterificação. Os produtos desta reação são a mistura de ésteres etílicos ou metílicos de ácidos graxos, que compõe o próprio biodiesel e glicerina, cujo maior constituinte é o glicerol. Walton (1938) recomendava que “para se obter o maior valor combustível de óleos vegetais, será academicamente necessário quebrar as suas ligações éster-glicerídicas e utilizar diretamente os ácidos graxos remanescentes. Esta afirmação foi indicativa do que hoje denominamos “biodiesel”, dada a sua recomendação de que o glicerol deveria ser eliminado do combustível, muito embora nenhuma menção tenha sido dada aos ésteres.

Quando comparado aos combustíveis tradicionais (derivados de petróleo), o biodiesel é 100% renovável. Entretanto, quando se utiliza álcool metílico no processo de transesterificação, esta proporção cai para 90% (para o balanço em massa), ou 95% (para o

balanço em massa de carbono), em virtude de esse tipo de álcool ter origem fóssil (Buyukkaya, 2010). A grande maioria dos gases poluentes (exceção para os NO<sub>x</sub>) e potencialmente prejudiciais à saúde humana tem suas emissões reduzidas quando da combustão deste produto energético. Merece destaque a comparação entre o CO<sub>2</sub> produzido pela queima do diesel e pelo biodiesel. O CO<sub>2</sub> liberado pela combustão do diesel foi fixado a partir da atmosfera há milhões de anos. No entanto, o CO<sub>2</sub> liberado na combustão do biodiesel tem fixação contínua pelas plantas e pode ser reciclado na próxima colheita. Assim, o tempo do ciclo de carbono para a fixação do CO<sub>2</sub> e sua liberação a partir da combustão diesel é muito menor (poucos anos), comparativamente ao tempo do ciclo do diesel (Schirmer & Gauer, 2012). O biodiesel pode ser obtido a partir de óleos vegetais, mas nem todo óleo vegetal pode (ou deve) ser utilizado como matéria prima para a produção de biodiesel. Isso porque alguns óleos vegetais apresentam propriedades não ideais, como alta viscosidade ou alto número de iodo, que são transferidas para o biocombustível e que o tornam inadequado para uso direto em motores. Portanto, a viabilidade de cada matéria prima dependerá de sua respectiva competitividade técnica, econômica ou socioambiental (Domingos, 2005).

O óleo produzido pela cultura do crambe tem sido frequentemente relatado na literatura como de ótima qualidade para produção de biodiesel (Laghetti et al., 1995; Lalas et al., 2012). O crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) é uma planta encontrada em maior escala no México e Estados Unidos além disso é cultivada em algumas regiões tropicais e subtropicais com finalidade de extração de óleo (Carneiro et al., 2009). De acordo com Knights, (2002), a planta é originária da Etiópia, e com provável domesticação no Mediterrâneo, sendo adaptada a regiões secas e frias. A semente é do tipo cariopse, possuem forma esférica e são envolvidas por estrutura tegumentar denominada pericarpo. De modo geral, a função básica do pericarpo é proteger as sementes contra abrasões e choques, funcionando como barreira para a entrada de microorganismos, permitindo que as sementes possam ser armazenadas por longos períodos, sem perda significativa do poder germinativo (Perez, 1998).

É uma cultura de inverno e pode ser cultivada tardiamente, em épocas que os riscos para as demais culturas de safrinha seriam muito elevados na região Centro-Oeste (Pitol et al., 2010). Kmec et al. (1998) definiram, por meio de vários experimentos nos Estados Unidos, as necessidades térmicas da cultura, considerando uma temperatura base mínima de 2,5 °C e para completar o seu ciclo e atingir a maturação fisiológica, são

necessários em média 1.350 graus-dia. Por estes motivos esta planta tem despertado interesse, como sendo mais uma alternativa para a safrinha e rotação de culturas (Panno & Prior, 2009). Apresenta forte característica de tolerância à seca, principalmente a partir do seu desenvolvimento vegetativo, quando não tolera períodos chuvosos ou de alta umidade relativa do ar (Pitol et al., 2010). Apresenta o sistema radicular profundo e não tolera solos com teores elevados de  $Al^{+++}$ , preferindo aqueles de boa fertilidade, bem drenados e com pH variando de 6,0 a 7,5 (Broch & Roscoe, 2010). É uma planta de ciclo anual e apresenta altura entre 70 e 90 cm, florescimento aos 35 dias após a semeadura. É uma cultura que tem um baixo investimento de implantação. Dentre as principais características da cultura está sua precocidade, com grãos maduros aos 90/100 dias e maturação uniforme, facilitando a colheita mecanizada (Lazzeri et al., 1995; Falasca et al., 2010). Jasper et al. (2010) relatam que a cultura do crambe apresentou menor custo de produção que outras fontes oleaginosas, como a canola o girassol e a soja. Segundo Heinz et al. (2011) o nabo forrageiro apresenta maior produção de massa seca em comparação ao crambe, porém, a palhada do crambe apresenta maior persistência. O K, P e Mg são os nutrientes liberados mais rapidamente para a cultura subsequente. Ainda segundo estes autores a maior taxa de liberação de macronutrientes pelas culturas ocorre ao redor de 15 dias após o manejo da fitomassa.

A literatura mostra que a cultura do crambe é sensível aos resíduos de herbicidas empregados nas culturas de verão. Segundo Oliveira Neto et al. (2011), a cultura do crambe mostrou-se extremamente sensível aos herbicidas pré-emergentes avaliados em seu ensaio e às misturas desses. Pitol et al. (2010) relatam a lista de alguns herbicidas que podem prejudicar o desenvolvimento do crambe. Segundo Barroso et al. (2008) Para evitar que haja a fitointoxicação das plantas de interesse agrícola, é necessário estudar a seletividade destes produtos isolados e em associações com outros herbicidas. Desta forma, fica evidente a necessidade de estudos mais abrangentes que visem avaliar a seletividade de herbicidas à cultura do crambe.

O potencial produtivo do crambe observado na literatura pode variar de 1000 a 1500 kg ha<sup>-1</sup> (Pitol et al., 2010; Rogério et al., 2012; Santos et al., 2012). Quanto a qualidade do óleo, os dados obtidos indicam produção média de 38% de teor total de óleo, podendo variar este índice, de acordo com as condições de clima e solo (Silva et al., 2011). O óleo é constituído de aproximadamente 57% de ácido erúico que pode causar danos ao fígado e rins e perda de apetite em animais monogástricos (Eskin et al., 1996; West et al.,

2002, citados por Carlsson et al., 2007). O óleo extraído dos grãos de crambe pode ser utilizado como lubrificante industrial, inibidor de corrosão e também na fabricação de borracha sintética (Lalas et al., 2012). Pode ser utilizado também na fabricação de plásticos, nylon, adesivos e isolamento elétrica (Oplinger et al., 1991). A torta desengordurada do crambe pode ser usada como suplemento proteico para criação de gado. Ela contém cerca de 25-35% de proteína quando a semente está inclusa no pericarpo e de 46-58%, quando o pericarpo é retirado. Devido à sua composição equilibrada em aminoácidos, a ingestão, na proporção de até 5%, para os animais produtores de leite foi aprovada para ração do gado nos EUA (Falasca et al., 2010). Apesar do óleo de crambe apresentar uma viscosidade um pouco mais elevada do que a de óleo de colza a estabilidade à oxidação de óleo é cerca de três vezes maior e cerca de metade do óleo de palma (Muuse et al., 1992).

Quanto a fertilidade do solo, ainda não há recomendações específicas para esta cultura e a quantidade de trabalhos publicadas é muito pequena, principalmente avaliando a resposta dessa cultura a micronutrientes. Nutrientes como o zinco e o boro são classificados como essenciais para o desenvolvimento das plantas quando em níveis adequados, desempenhando importante papel na nutrição mineral, bioquímica e fisiologia das plantas, uma vez que são grupos prostéticos de enzimas ou fazem parte da estrutura de moléculas importantes (Marschner, 1995). Em relação a ocorrência de deficiência de micronutrientes em culturas é possível observar na literatura que existe grande variação de resultados, como pode ser observado no trabalho de Malavolta et al. (1991). Este trabalho nos permite ter uma visão geral da frequência do aparecimento dessas deficiências por culturas no Brasil e mostra que há necessidade de avaliação de cada caso particular, para validação das recomendações envolvendo micronutrientes. Estes estudos também devem ser realizados com a cultura do crambe com vistas a reduzir os riscos de perda do investimento realizado na adubação e também para evitar a ocorrência de problemas de deficiência e toxidez.

Nas plantas, o nitrogênio mineral é absorvido nas formas de nitrato ou amônio, e entra em contato com as raízes preferencialmente pelo fluxo de massa (Malavolta et al., 1997). O nitrogênio é constituinte de aminoácidos e nucleotídeos, e o principal nutriente para obtenção de produtividades elevadas em culturas anuais (Castro et al., 1999). De acordo com Coedeiro et al. (1999) a canola é uma planta muito exigente em nutrientes. De maneira geral, requer mais nitrogênio que a maioria das culturas. Por serem plantas da

mesma família (Brassicaceae), é possível que o crambe também seja, o que precisa ser confirmado.

Quanto a adubação fosfatada, é relatado na literatura que em quantidades adequadas para a planta, o fósforo estimula o desenvolvimento radicular, garante uma arrancada vigorosa, apressa a maturação fisiológica, estimula o florescimento, ajuda a formação das sementes, e também aumenta a produtividade (Malavolta, 1989). Segundo Severino et al. (2006) o fósforo é o nutriente de maior importância para o aumento de produtividade e teor de óleo da mamoneira. A aplicação de doses de  $P_2O_5$  em um Latossolo Vermelho distrófico com teor baixo de fósforo ( $5,2 \text{ mg dm}^{-3}$ ) na semeadura influenciou positivamente no desenvolvimento da cultura do crambe, sendo que as maiores doses de fósforo proporcionaram incremento significativo na produtividade (Rogério et al., 2012). Knights (2002) afirma que a resposta do crambe à fertilidade do solo é semelhante a obtida com culturas de grãos pequenos como a colza e a canola (*Brassica napus* L.), e a mostarda (*Brassica juncea* L.), o que ainda carece de confirmação em diferentes condições de cultivo, levando em consideração principalmente o tipo de solo e clima de cada local.

## 2.1 REFERÊNCIAS

BARROSO, A. L. L.; SHIMOHIRO, A. K.; DAN, H. A.; DAN, L. G. M.; ALMEIDA JUNIOR, J. J.; PROCÓPIO, S. O.; BRAZ, G. B. P. Seletividade de associações herbicidas pós-emergentes em variedade de soja precoce. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Maringá, v. 7, n. 2, p.36-42, 2008.

BROCH, D. L.; ROSCOE, R. Fertilidade do solo, adubação e nutrição do crambe. In: PITOL, C.; BROCH, D. L.; ROSCOE, R. (Ed.). **Tecnologias e produção: crambe 2010**. 1. Ed. Maracaju: FUNDAÇÃO MS, 2010. v. 1, cap. 4, p. 22-36.

BUYUKKAYA, E. Effects of biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics. **Fuel**, Nottingham, v. 89, n.10, p. 3099-3105, 2010.

CARLSSON, A. S.; CLAYTON, D.; SALENTIJN, E.; TOONEN, M. **Oil Crop Platforms For Industrial Uses**. New York. Cplpress. 2007. 158 p.

CARNEIRO, S. M. T. P. G.; ROMANO, E.; MARIANOWSKI, T.; OLIVEIRA, J. P.; GARBIN, T. H. S.; ARAÚJO, P. M. Ocorrência de *Alternaria brassicicola* em crambe (*Crambe abyssinica*) no estado do Paraná. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 35, n. 2, p. 154, 2009.

CASTRO, C.; BALLA, A.; CASTIGLIONI, V. B. R.; SFREDO, G. Levels and methods of nitrogen supply for sunflower. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 827-833, 1999.

COEDEIRO, L. A. M.; REIS, M. S.; ALVARENGA, E. M. A cultura da canola. (Cadernos Didáticos, 60). Viçosa: UFV, 1999.

DOMINGOS, A. K. **Otimização da etanolise do óleo de *Raphanus sativus* L. e Avaliação de sua estabilidade à oxidação**. 2005. 110 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Paraná, Londrina, 2005.

FALASCA, S. L.; FLORES, N.; 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**, Miami, v. 35, n. 11, p. 5808–5812, 2010.

FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. S.; SCABIO, A. Biodiesel de soja — Taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 104 - 112, 2005.

HEINZ, R.; GARBIATE, M. V.; NETO, A. L. V.; MOTA, L. H. S.; CORREIA, A. M. P.; VITORINO, A. C. T. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de crambe e nabo forrageiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 9, 2011.

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, v. 25, n. 4, p. 141-153, 2010.

KMEC, P.; WEISS, M. J.; MILBRATH, L. R.; SCHATZ, B. G.; HANZEL, J.; HANSON, B. K.; ERIKSMOEN, E. D. Growth analysis of crambe. **Crop Science**, Madison, v. 38, n. 1, p. 108-112, 1998.

KNIGHTS, E. G. **Crambe**: A North Dakota case study. *Dakota*, v. 02/005, p. 25, 2002.

LAGHETTI, G.; PIERGIOVANNI, A. R.; PERRINO, P. Yield and oil quality in selected lines of *Crambe abyssinica* Hochst. ex R. E. Fries and *C. hispanica* L. grown in Italy. **Industrial Crops and Products**, Fargo, v. 4, n. 3, p. 203-210, 1995.

LALAS, S.; GORTZI, O. ATHANASIADIS, V.; DOURTOGLOU, E. DOURTOGLOU, V. Full Characterisation of *Crambe abyssinica* Hochst. Seed Oil. **Journal Am. Oil Chem. Soc.** New York, v. 89, n. 12, p. 2253–2258, 2012.

LAZZERI, L.; LAPENTA, E.; SANTANGELO, E.; MALAGUTI, L.; VENTRELLA, D.; PINHEIRO, M. *Crambe abyssinica* Hochst ex R.E. Fries: agronomic performance and oil quality in three locations in Italy. **Agricultura Mediterranea**, Thessaloniki, v. 125, n. 6, p. 251-266, 1995.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres 1989. 304p.

MALAVOLTA, E.; BOARETO, A. E.; PAULINO, V. T. Micronutrientes – Uma visão geral. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P., eds. SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 1988, Jaboticabal. **Anais**. Piracicaba, POTAFOS/CNPq, 1991. p. 1-33.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas**: Princípios e aplicações. Piracicaba, Potafos, 1997. 308p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. San Diego: Academic, 1995. 902p.

MUUSE, B. G.; CUPERUS, F. P.; DERKSEN, J. T. P. Composition and physical properties of oils from new oilseed crops. **Industrial Crops and Products**, Fargo, v. 1, n. 1, p. 57-65, 1992.

OLIVEIRA NETO, A. M.; GUERRA, N.; MACIE, C. D. G.; SILVA, T. R. B.; LIMA, G. G. R. Seletividade de herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura do crambe. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Maringá, v. 10, n. 1, p. 49-56, 2011.

OPLINGER, E. S.; OELKE E. A.; KAMINSKI, A. R.; PUTNAM D. H.; TEYNOR, T. M.; DOLL, J. D.; KELLING, K.A.; DURGAN, B.R.; NOETZEL, D.M. **Crambe**. Department of Agronomy and Soil Science, College of Biological Sciences and cooperative agricultural extension. University of Wisconsin - Madison, 1991.

PANNO. G.; PRIOR. M. Avaliação de substratos para a germinação de crambe (*Crambe abyssinica*). **Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 2, n. 2, p.151-157, 2009.

PEREZ, S. C. J. A. Limites de temperatura e estresse térmico na germinação de sementes de *Peltophorum dudium*. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 20, n. 1, p. 134-142, 1998.

PITOL, C.; BROCH, D. L.; ROSCOE, R. Época, espaçamento e densidade de plantio. In: PITOL, C.; BROCH, D. L.; ROSCOE, R. (Ed.). **Tecnologias e produção: crambe 2010**. 1. Ed. Maracaju: FUNDAÇÃO MS, 2010. v. 1, cap. 3, p. 10-21.

ROGÉRIO, F.; SANTOS, J. I.; SILVA, T. R. B.; MIGLIAVACCA, R. A.; GOUVEIA, B.; BARBOSA, M. C. Efeito de doses de fósforo no desenvolvimento da cultura do crambe. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, Supplement. 1, p. 251-255, 2012.

SANTOS, J. I.; ROGERIO, F.; MIGLIAVACCA, R. A.; GOUVEIA, B.; BARBOSA, M. C. Efeito da adubação potássica na cultura do crambe. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 346-350, 2012.

SCHIRMER, W, N; GAUER, M. A. Os biocombustíveis no Brasil: panorama atual, emissões gasosas e os métodos analíticos de monitoramento da qualidade do ar referente a gases de natureza orgânica. **Ambiência**, Guarapuava, v. 8, n. 1, p. 157-175, 2012 .

SCHWAB, A.W; BAGBY, M. O; FREEDMAN, B. Preparation and properties of diesel fuels from vegetable oils. **Fuel**, Nottingham, v. 66, n. 5, p. 1372-1378, 1987.

SEVERINO, L.S.; FERREIRA, G.B.; MORAES, C.R.A.; GONDIM, T.M.S.; BELTRÃO, N.E.M. Produtividade e crescimento da mamoneira em resposta à adubação orgânica e mineral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p.879-882, 2006.

SILVA, T. R. B.; LAVAGNOLLI, R. R.; NOLLA, A. Zinc and phosphorus fertilization of crambe (*Crambe abssynica* Hochst). **Journal of Food Agriculture & Environment**, Helsinki, v. 9, n. 1, p. 132-135, 2011.

SOUZA, A. V.; FAVARO, S. P.; ITAVO, L. C. V.; ROSCOE, R. Caracterização química de sementes e tortas de pinhão-manso, nabo-forageiro e crambe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 10, p.1328-1335, 2009.

WALTON, J. The fuel possibilities of vegetable oils, Gas Oil Power. **Chemical Abstracts**, Columbus, v. 33, n. 1, p. 167-168, 1938.

### 3 ADUBAÇÃO MINERAL NA CULTURA DO CRAMBE EM CONDIÇÕES DE CASA DE VEGETAÇÃO

#### RESUMO

O óleo produzido pela cultura do crambe tem sido frequentemente relatado na literatura como de ótima qualidade para produção de biodiesel. Quanto à fertilidade do solo a quantidade de trabalhos é muito pequena e ainda não há recomendações específicas para esta cultura. Este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito de doses de (N, P, Zn e B) no desenvolvimento vegetativo e na produtividade do crambe. Foram instalados quatro experimentos, para avaliar de forma independente em casa de vegetação, o efeito da adição de nitrogênio, fósforo, boro e zinco. As doses avaliadas em  $\text{mg kg}^{-1}$  de solo, foram: N (testemunha, 20, 40 e 80), P (testemunha, 20, 40 e 80), Zn (testemunha, 1, 2, e 4), B (testemunha, 0,5, 1, e 2). Os experimentos foram conduzidos em vasos com capacidade para 8 kg de solo (Latososo Vermelho) em um delineamento inteiramente casualizado. Todos os experimentos constaram de quatro repetições, sendo que quatro destas foram coletadas no florescimento pleno para avaliação do desenvolvimento das raízes e parte aérea e as demais repetições foram colhidas no final do ciclo da cultura para determinação da produção de grãos e do teor de óleo. Foram avaliados os seguintes parâmetros: massa seca de raiz por planta, massa seca da parte aérea por planta, produção de grãos por planta e teor de óleo dos grãos. Na análise estatística foi realizada a análise de regressão polinomial para as doses dos nutrientes avaliados. A adição das doses de nitrogênio elevou de forma linear todos os parâmetros avaliados. A adição das doses de fósforo elevou de forma linear o desenvolvimento do sistema radicular, da parte aérea e a produção de grãos. A adição das doses de zinco elevou de forma linear desenvolvimento da parte aérea e a produção de grãos. A adição das doses de boro influenciou de forma quadrática o desenvolvimento do sistema radicular.

*Palavras-chave:* biodiesel, boro, zinco, nitrogênio, fósforo.

#### ABSTRACT

#### MINERAL FERTILIZATION ON THE CULTURE OF CRAMBE IN TERMS OF GREENHOUSE

The oil produced by the culture of crambe has often been reported in the literature as a great quality for biodiesel production. As for soil fertility amount of work is very small and there are no specific recommendations for this crop. This study aims to evaluate the effect of dose (N, P, Zn and B) on vegetative growth and yield of crambe. Four experiments were fitted to assess independently in a greenhouse, the effect of the addition of nitrogen, phosphorus, boron and zinc. The doses evaluated in  $\text{mg kg}^{-1}$  of soil

were: N (control, 20, 40 and 80), P (control, 20, 40 and 80), Zn (control, 1, 2, and 4), B (control, 0.5, 1, and 2.) The experiments were conducted in vessels with a capacity of 8 kg of soil (Oxisol) in a completely randomized design. All experiments consisted of eight repetitions, and four of these were collected in full flowering to evaluate development of roots and shoots and the remaining repetitions were harvested at the end of the cycle to determine grain yield and oil content. We evaluated the following parameters: root dry weight per plant, shoot dry mass per plant, grain yield per plant and oil content of the grain. Statistical analysis was performed polynomial regression analysis for the doses of nutrients. The addition of nitrogen increased linearly all measured parameters. The addition of phosphorus levels increased linearly the development of root, shoot and grain production. Addition of zinc doses increased linearly shoot growth and grain yield. The addition of boron doses quadratically influenced the development of the root system.

*Key words:* biodiesel, boron, zinc, nitrogen, phosphorus.

### 3.1 INTRODUÇÃO

Biodiesel pode ser obtido a partir de óleos vegetais, mas nem todo óleo vegetal pode (ou deve) ser utilizado como matéria prima para a produção de biodiesel. Isso porque alguns óleos vegetais apresentam propriedades não ideais, como alta viscosidade ou alto número de iodo, que são transferidas para o biocombustível e que o tornam inadequado para uso direto em motores. Portanto, a viabilidade de cada matéria prima dependerá de sua respectiva competitividade técnica, econômica ou socioambiental (Domingos, 2005).

O crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) é uma planta encontrada em maior escala no México e Estados Unidos além disso é cultivada em algumas regiões tropicais e subtropicais com finalidade de extração de óleo (Carneiro et al., 2009). O óleo produzido pela cultura do crambe tem sido frequentemente relatado na literatura como de ótima qualidade para produção de biodiesel (Laghetti et al., 1995; Lalas et al., 2012). A literatura indica que o teor médio de óleo dos grãos é de 38%, podendo variar este índice, de acordo com as condições de clima e solo (Silva et al., 2011). De acordo com Knights, (2002), a planta é originária da Etiópia, e com provável domesticação no Mediterrâneo, sendo adaptada a regiões secas e frias. O potencial de produção de grãos do crambe observado na literatura pode variar de 1000 a 1500 kg ha<sup>-1</sup> (Pitol et al., 2010; Rogério et al., 2012; Santos et al., 2012). Considerando um teor de óleo médio de 38% como o observado por Silva et al. (2011), isso representa uma produtividade de óleo de 380 a 570 kg h<sup>-1</sup> de óleo e considerando que a população média de plantas ideal para o crambe é de 1.000 mil plantas,

como descrito por Pitol et al. (2010) podemos inferir que estes valores correspondem a uma produtividade aproximada de 1 a 1,5 g de grãos por planta.

Quanto à fertilidade do solo, ainda não há recomendações específicas para esta cultura e a quantidade de trabalhos publicada é muito pequena, principalmente avaliando a resposta dessa cultura a micronutrientes. Nutrientes como o zinco e o boro são classificados como essenciais para o desenvolvimento das plantas quando em níveis adequados, desempenhando importante papel na nutrição mineral, bioquímica e fisiologia das plantas, uma vez que são grupos prostéticos de enzimas ou fazem parte da estrutura de moléculas importantes (Marschner, 1995). Há carência de estudos sobre o potencial de resposta desta cultura aos micronutrientes.

De forma geral, nas plantas, o nitrogênio mineral é absorvido nas formas de nitrato ou amônio, e entra em contato com as raízes preferencialmente pelo fluxo de massa (Malavolta et al., 1997). O nitrogênio é constituinte de aminoácidos e nucleotídeos, e o principal nutriente para obtenção de produtividades elevadas em culturas anuais (Castro et al., 1999). A canola é uma planta da mesma família que o crambe. Coedeiro et al. (1999) relatam que ela é muito exigente em nutrientes. De maneira geral, requer mais nitrogênio que a maioria das culturas. Por serem plantas da mesma família (Brassicaceae), é possível que o crambe também seja, o que precisa ser confirmado.

Nas condições de cultivo encontradas no Cerrado brasileiro, além do fósforo se encontrar em baixas concentrações, sua disponibilidade para as plantas depende das reações de adsorção pelos óxidos e de precipitação com ferro e alumínio (Bedin et al., 2003; Novais & Smyth, 1999; Silva et al., 2007b). Nestes solos, a maior parte do fósforo se encontra na forma de fósforo não lábil, necessitando aumentar a fração do fósforo disponível para as plantas. Além disso, é relatado na literatura que em quantidades adequadas para as plantas, o fósforo estimula o desenvolvimento radicular, garante uma arrancada vigorosa, apressa a maturação fisiológica, estimula o florescimento, ajuda a formação das sementes, e também aumenta a produtividade (Malavolta, 1989). Sendo assim, torna-se necessário o entendimento do potencial de resposta do crambe aos adubos fosfatados com vistas a orientar as técnicas a serem empregadas na condução da cultura para que ela possa expressar todo seu potencial produtivo.

Este trabalho tem como objetivo avaliar a resposta da cultura do crambe a doses de (N, P, Zn e B) sobre o seu desenvolvimento vegetativo, produção de grãos e teor de óleo, em condições controladas de casa de vegetação.

### 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram instalados quatro experimentos em vasos com capacidade para oito kg de solo, sob ambiente protegido, na Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, localizada na Rodovia Goiânia/Nova Veneza, Km 0. Para montagem de cada experimento foi utilizado solo de horizonte B de um Latossolo Vermelho, coletado na área da mesma instituição, que apresentou o seguinte resultado na análise química e física:  $\text{pH}(\text{CaCl}_2)=5,7$ ; Ca, Mg, K, Al e CTC (1,4; 0,3; 0,26 ; 0,0 e 3,68  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  respectivamente);  $\text{P}_{(\text{mel})}$ , S, Zn, B, Cu, Mn e Mo (0,3; 7,9; 1,0; 0,12; 5,2; 55,3 e 0,06  $\text{mg dm}^{-3}$ );  $\text{V}\%=53,8$ ;  $\text{MO}=12,0 \text{ g dm}^{-3}$ ; argila, silte e areia (470, 110 e 420  $\text{g kg}^{-1}$ , respectivamente). Foram instalados no período de setembro de 2010 a dezembro de 2010 e foi avaliado, de forma independente, o efeito da adição de nitrogênio, fósforo, boro e zinco. Em função dos experimentos serem instalados em vasos, o cálculo da quantidade de nutriente a ser aplicada foi feito multiplicando-se as quantidades esperadas de resposta por duas vezes. Para a avaliação do efeito de doses de nitrogênio os tratamentos constaram de três doses: 20, 40 e 80  $\text{mg kg}^{-1}$  de solo mais testemunha. Foi utilizada como fonte de nitrogênio a ureia, que foi aplicada por ocasião do plantio misturado ao solo úmido para reduzir as perdas por volatilização. Foram semeadas oito sementes por vaso no dia (16/09/2010), na profundidade entre um e dois centímetros. Dez dias após a emergência, foi realizado o primeiro desbaste deixando quatro plantas por vaso. O segundo desbaste foi realizado cinco dias após o primeiro, deixando duas plantas por vaso. A irrigação, em todos os experimentos, foi realizada manualmente, de acordo com a necessidade.

No experimento para a avaliação do efeito de doses de fósforo os tratamentos constaram de três doses 20, 40 e 80  $\text{mg kg}^{-1}$  de solo mais a testemunha. Foi utilizado como fonte de fósforo o super fosfato simples que também foi aplicado por ocasião do plantio misturado ao solo. Foram semeadas oito sementes por vaso no dia (16/09/2010), na profundidade entre um e dois centímetros. Dez dias após a emergência, foi realizado o primeiro desbaste deixando quatro plantas por vaso. O segundo desbaste foi realizado cinco dias após o primeiro, deixando duas plantas por vaso.

Para a avaliação do efeito de doses de zinco os tratamentos constaram de quatro doses 1, 2, e 4  $\text{mg kg}^{-1}$  de solo mais testemunha. Foi utilizado como fonte de zinco a zincossolo (15% de zinco), aplicada por ocasião do plantio misturado ao solo. Foram semeadas oito sementes por vaso no dia (05/10/2010), na profundidade entre um e dois

centímetros. Dez dias após a emergência, foi realizado o primeiro desbaste deixando quatro plantas por vaso. O segundo desbaste foi realizado cinco dias após o primeiro, deixando duas plantas por vaso.

Para a avaliação do efeito de doses de boro os tratamentos constaram de três doses 0,5, 1, e 2 mg kg<sup>-1</sup> de solo mais testemunha. Foi utilizado como fonte de boro a ulexita (13,5% de boro), aplicada por ocasião do plantio misturado ao solo. Foram semeadas oito sementes por vaso no dia (05/10/2010), na profundidade entre um e dois centímetros. Dez dias após a emergência, foi realizado o primeiro desbaste deixando quatro plantas por vaso. O segundo desbaste foi realizado cinco dias após o primeiro, deixando duas plantas por vaso.

Todos os experimentos constaram de quatro repetições, sendo que quatro destas foram coletadas no florescimento pleno (38 DAE – Dias após a emergência para nitrogênio e fósforo e aos 36 DAE para zinco e boro) para avaliação do desenvolvimento das raízes e da parte aérea. As demais repetições foram colhidas no final do ciclo da cultura para determinação da produção de grãos e do teor de óleo. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado. Em todos os experimentos a saturação por bases inicial do solo que era de (53,8%) foi elevada para 70% utilizando calcário filler aplicado uma semana antes do plantio das sementes. Foi aplicado também, em todos os experimentos que não estavam avaliando o efeito de micronutrientes 22,22 mg kg<sup>-1</sup> de solo de FTB BR12 misturado ao solo, como fonte de micronutrientes aplicados por ocasião do plantio das sementes. A composição em percentagem do FTE BR12 (Zn, B, Cu, Fe, Mn, e Zn) é: (9, 1,8; 0,8; 3; 2; e 0,1), respectivamente. Além disso, nos experimentos que não estavam avaliando o efeito de fósforo foram aplicados 50 mg kg<sup>-1</sup> de solo de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (utilizando como fonte o super fosfato simples) em todos os vasos. Nos experimentos que não estavam avaliando o efeito de nitrogênio foi aplicado como adubação de base 50 mg kg<sup>-1</sup> de solo de nitrogênio (utilizando como fonte a ureia) misturado ao solo úmido por ocasião do plantio para reduzir a volatilização.

Em todos os experimentos foram avaliados os seguintes parâmetros: massa seca de raiz por planta, massa seca da parte aérea por planta, produção de grãos por planta e teor de óleo dos grãos. Para a avaliação da massa seca de raízes e da parte aérea as plantas foram coletadas aos (38 DAE) para avaliação do efeito das doses de nitrogênio e fósforo), aos (36 DAE) para avaliação do efeito das doses de zinco e boro. Separou-se a raiz da parte aérea na região do coleto, as raízes foram lavadas com água corrente para

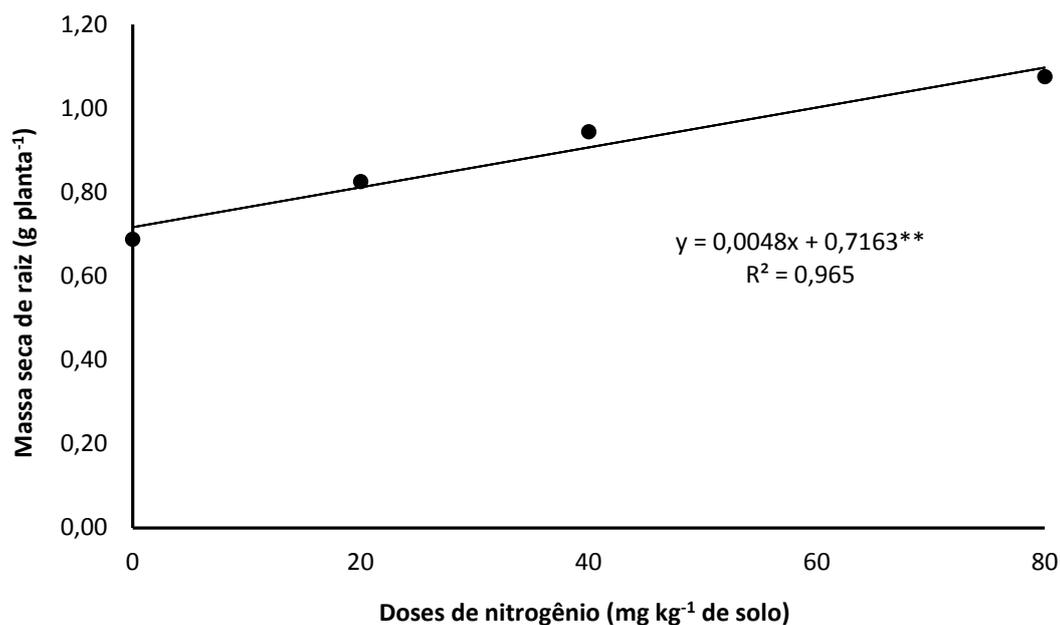
retirada do solo e colocadas para secar em estufa de circulação forçada de ar por 72 horas a 65 °C. Para determinação da produção de grãos por planta os grãos foram destacados manualmente da planta no final do ciclo da cultura e levados para estufa para uniformização da umidade a 65 °C por 72 horas e pesados. Para determinação do teor de óleo no crambe, os grãos foram triturados manualmente em cadinho de porcelana. Após este processo, cinco gramas de amostra foram adicionados ao dedal de celulose do determinador de gorduras modelo TE-044-8/50 de oito provas simultâneas da TECNAL e foi utilizado como solvente o hexano (200 mL por amostra). A temperatura foi regulada eletronicamente para 120 °C e a extração ocorreu por 4 horas.

Na análise estatística foi realizada a análise de regressão polinomial para as doses de todos os nutrientes avaliados. O programa estatístico utilizado foi o Assistat 7.6 Beta elaborado pelo Dr. Francisco de Assis Santos e Silva, DEAG-CTRN-UFCG, Campina Grande – PB, Brasil.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.3.1 Efeito das doses de nitrogênio

A adição das doses de nitrogênio empregadas neste ensaio experimental influenciou de forma linear todos os parâmetros avaliados (Anexo 1). Na avaliação do efeito das doses de nitrogênio na massa seca de raiz do crambe, a maior dose de nitrogênio aplicada (80 mg kg<sup>-1</sup> de solo) foi o que produziu o maior valor 1,08 gramas de raiz por planta. Este aumento foi 59% superior em relação à testemunha, que produziu 0,68 g de massa seca de raiz por planta.

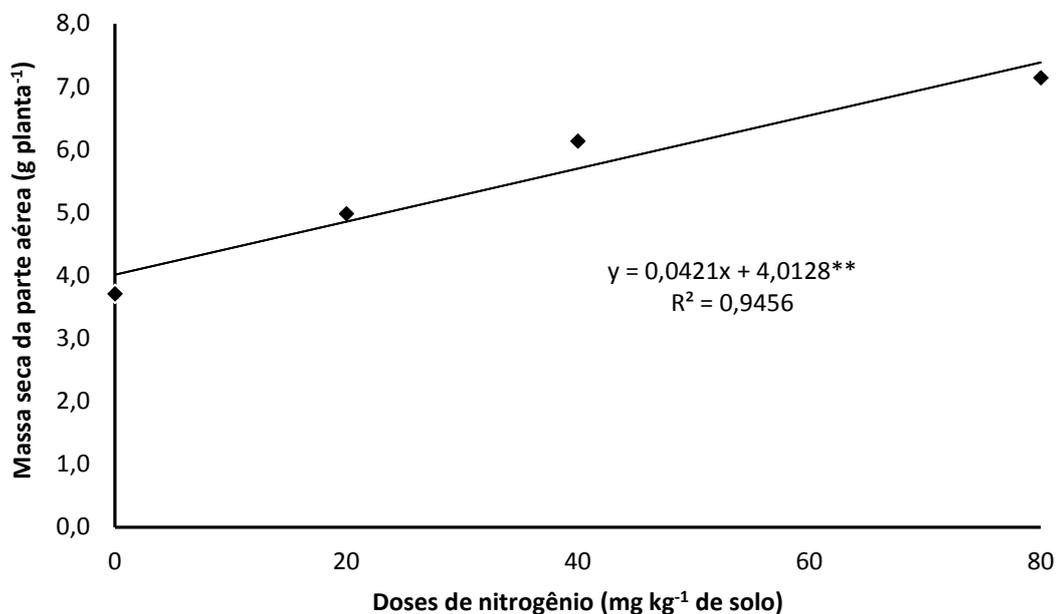


**Figura 3.1.** Massa seca de raiz de crambe (g planta<sup>-1</sup>) submetida a doses crescentes de nitrogênio e coletadas aos 38 dias após a emergência (DAE). (Médias de 8 plantas). CV= 14,09.\*\*Significativo ( $P \leq 0,01$ ).

A comparação dos resultados obtidos neste trabalho com a literatura é dificultada em função do reduzido número de trabalhos publicados avaliando o efeito da adubação mineral no desenvolvimento da raiz, especialmente em crambe. Os resultados obtidos neste trabalho estão de acordo com os obtidos por Brito (2009). Este autor, trabalhando em condições de solução nutritiva e utilizando diferentes doses de nitrogênio na forma de nitrato não observou efeito dessas doses no desenvolvimento da massa seca da raiz de crambe na coleta realizada na fase de florescimento e nem na avaliação realizada no final do ciclo da cultura. Porém, outros autores já observaram efeito benéfico da adição de doses de nitrogênio no desenvolvimento da raiz de oleaginosas. Nobre et al. (2013) conduzindo um experimento em lisímetros (vasos) sob condições de campo e utilizando doses crescentes de adubação nitrogenada correspondente a (50, 75, 100, 125 e 150%) da adubação recomendada para ensaio em vaso por Novais et al. (1991), observaram efeito no desenvolvimento da fitomassa seca de raiz da mamoneira cv. BRS Energia, sendo os melhores resultados obtidos com doses de nitrogênio de 150%.

A massa seca total da parte aérea também foi influenciada pelas doses de nitrogênio aplicadas, apresentando também um comportamento de aumento linear (Figura 3.2). O maior valor de massa seca total da parte aérea por planta obtido, (7,14 g), foi

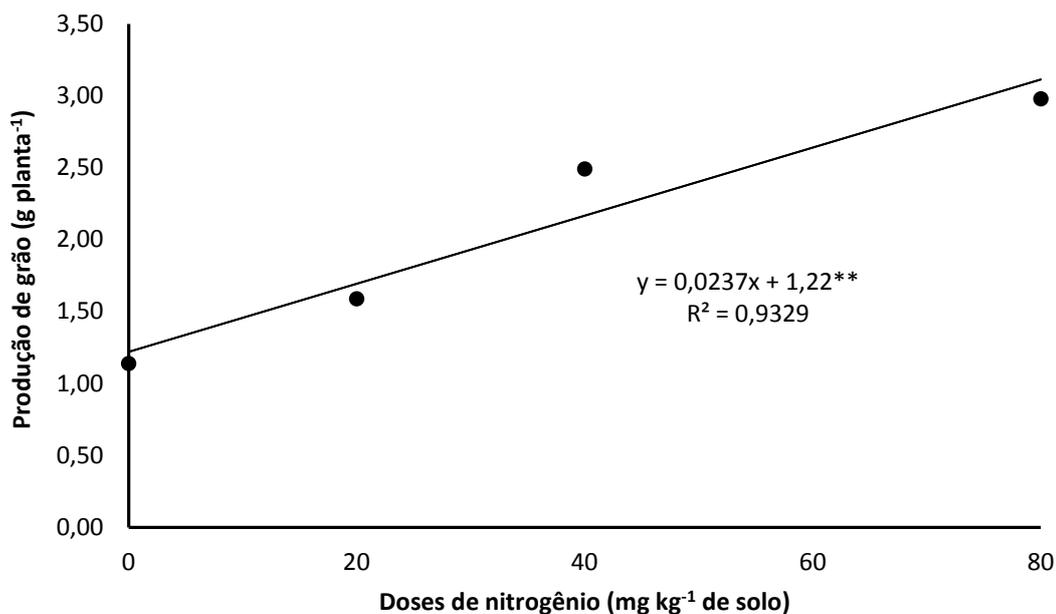
encontrado quando as plantas receberam a dose de nitrogênio de 80 mg kg<sup>-1</sup> de solo, o que representa 92% a mais do que o observado nas plantas que não foram adubadas com nitrogênio, onde foi encontrado 3,71 (g planta<sup>-1</sup>).



**Figura 3.2.** Massa seca da parte aérea (g planta<sup>-1</sup>) de crambe submetidas a doses crescentes de nitrogênio e coletadas aos 38 dias após a emergência (DAE). (Médias de 8 plantas). CV= 6,16. \*\*Significativo ( $P \leq 0,01$ ).

Os resultados obtidos neste trabalho divergem dos encontrados por Silva et al. (2007a), que trabalhando em um solo Neossolo Quartzarênico não obteve resposta da adição de doses de nitrogênio no desenvolvimento da massa seca da parte aérea, mesmo utilizando doses de até 20 kg ha<sup>-1</sup> de N. Uma possível explicação para eles não terem obtido resposta pode ser a volatilização do nitrogênio já que estes autores utilizaram ureia e não relatam com clareza a forma de aplicação desse adubo. Lara Cabezas et al. (1997) descrevem que se a escolha do fertilizante nitrogenado for a ureia e se ela aplicada a lanço e sem incorporação ao solo, as perdas de nitrogênio pelo processo de volatilização da amônia nesse sistema pode chegar a 78 % do nutriente aplicado. Corroborando com os resultados obtidos neste trabalho Brito, (2009) em experimento em solução nutritiva obteve resposta significativa para doses de nitrogênio (nitrato) para a massa seca de folhas e não significativa para a massa seca de caules na avaliação que foi efetuada no início do florescimento do crambe.

Neste trabalho a produção de grãos por planta ( $\text{g planta}^{-1}$ ) aumentou linearmente de acordo com as doses de nitrogênio incorporada ao solo por ocasião do plantio (Figura 3.3). A produção de grãos obtida com a maior dose de nitrogênio utilizada,  $80 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo foi de  $2,98 \text{ (g planta}^{-1})$  que foi 161% superior ao obtido na testemunha, onde foi obtido  $1,14 \text{ (g planta}^{-1})$ .

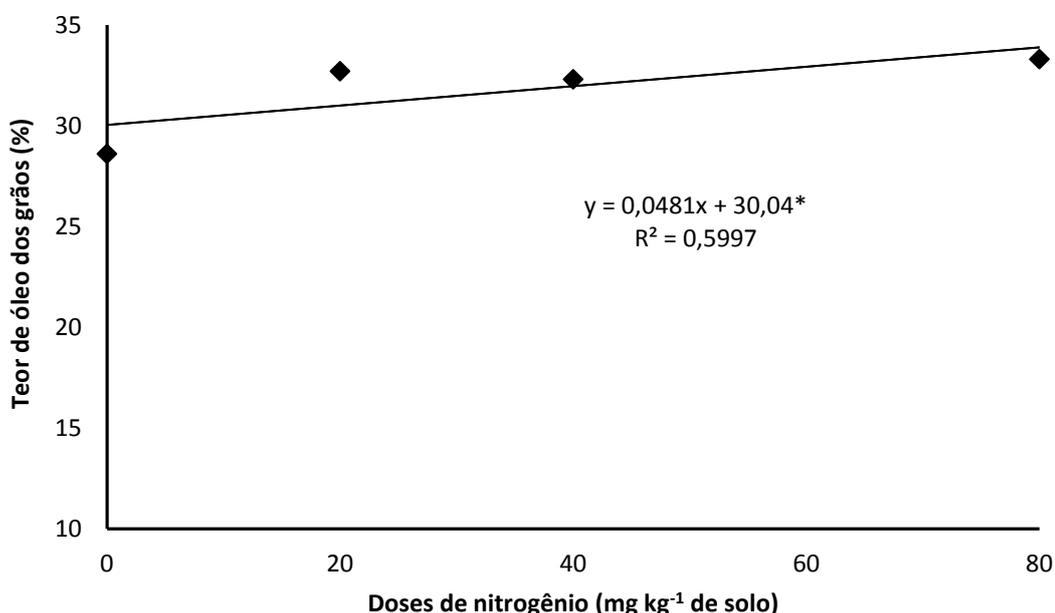


**Figura 3.3.** Produção de grãos de crambe ( $\text{g planta}^{-1}$ ), submetidas a doses crescentes de nitrogênio. (Média de 8 plantas). CV= 13,04. \*\*Significativo ( $P \leq 0,01$ ).

Broch & Roscoe (2010) também encontraram resposta da adubação nitrogenada na produtividade de grãos da cultura do crambe em solos onde o teor de matéria orgânica é baixo, como é o caso deste ensaio. Porém os resultados encontrados, por estes autores mostram efeito benéfico com comportamento quadrático da adição de nitrogênio e decréscimo da produtividade com dosagens superiores a  $35 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio. Diferente do observado neste trabalho, Freitas, (2010) em um experimento de dois anos consecutivos, em condições de campo, não obteve resposta significativa das doses de nitrogênio ( $60$  e  $120 \text{ kg ha}^{-1}$ ) na produtividade de grãos de crambe em nenhum dos anos avaliados. Esta autora, no entanto, utilizou como fonte de nitrogênio a ureia e descreveu que os adubos foram distribuídos manualmente nas linhas de plantio o que, considerando a quantidade de chuvas que ocorreu durante a condução do experimento foi pequena, e a umidade do solo deve ter sido baixa o que pode ter aumentado as perdas de

nitrogênio por volatilização. Lunelli, (2012) trabalhando com cultivar de crambe MS Brilhante e em um Latossolo Vermelho, também não encontrou efeito significativo da aplicação de 90 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio na forma de ureia, possivelmente porque ele trabalhou em um solo onde os teores de nutrientes e matéria orgânica estavam todos classificados como alto, diferente das condições em que este trabalho foi conduzido.

A adição de nitrogênio também elevou de forma linear o teor de óleo dos grãos de crambe (Figura 3.4). Na maior dose de nitrogênio empregada (80 mg kg<sup>-1</sup> de solo) a porcentagem de óleo (33,3%) foi 16,4% superior ao obtido na testemunha (28,6%).



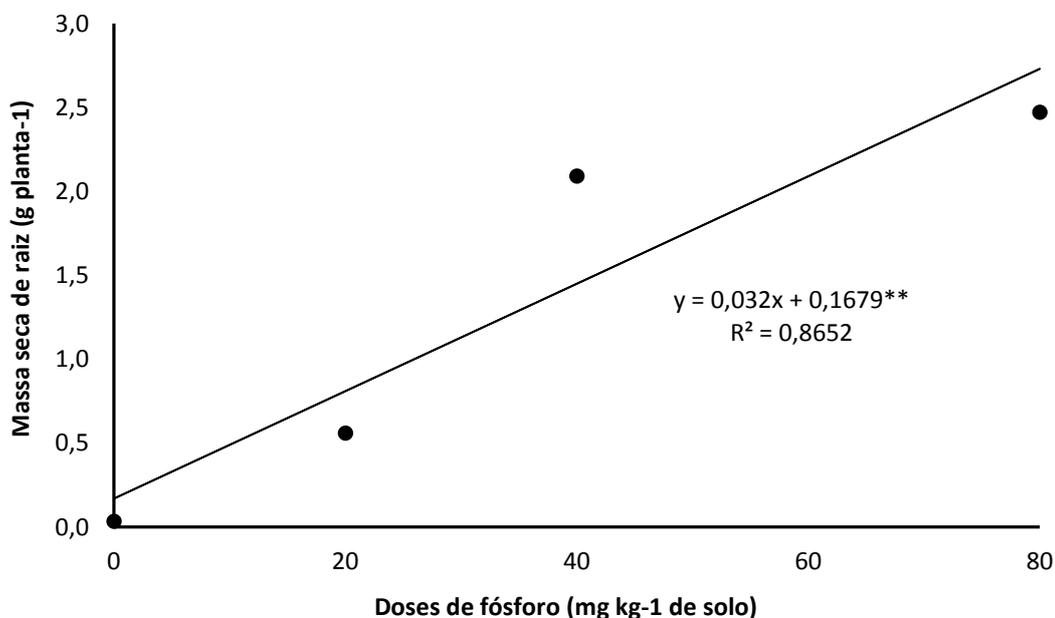
**Figura 3.4.** Teor de óleo dos grãos de plantas crambe (%) submetidas a doses crescentes de nitrogênio. (Médias de 4 repetições). CV= 9,11. \*Significativo ( $P \leq 0,05$ ).

Os resultados obtidos neste trabalho não estão de acordo com os observados na literatura. Dreccer et al. (2000) relataram que, trabalhando com uma oleaginosa da mesma família do crambe, a colza (*Brassica napus*) não obtiveram efeito significativo da adição de nitrogênio no teor de óleo. Em um trabalho de revisão de Rathke et al. (2006), estes autores relatam que os para a cultura da colza os resultados mais recorrentes mostram que com a aplicação de nitrogênio ocorre, frequentemente, um aumento do rendimento de grãos e proteínas e uma diminuição do teor de óleo. Estes autores mostram em seu trabalho, que para a cultura da colza, existe uma correlação inversa, principalmente entre o

teor de proteína e o teor de óleo. Marega Filho et al. (2001) também mostram uma correlação negativa entre o teor de óleo e o teor de proteína da soja. Na cultura do crambe Brito (2009) confirma estes resultados. Em um experimento em solução nutritiva este autor observou que a adição de doses mais elevadas de nitrato reduziu o teor de óleo em relação ao observado na testemunha. Desta forma, quando uma oleaginosa é adubada com doses elevadas de nitrogênio, eleva-se os teores do nutriente nos tecidos reduzindo a síntese de óleos, favorecendo a rota metabólica de acúmulo de proteínas nos aquênios (Castro et al., 1999).

### 3.3.2 Efeito das doses de fósforo

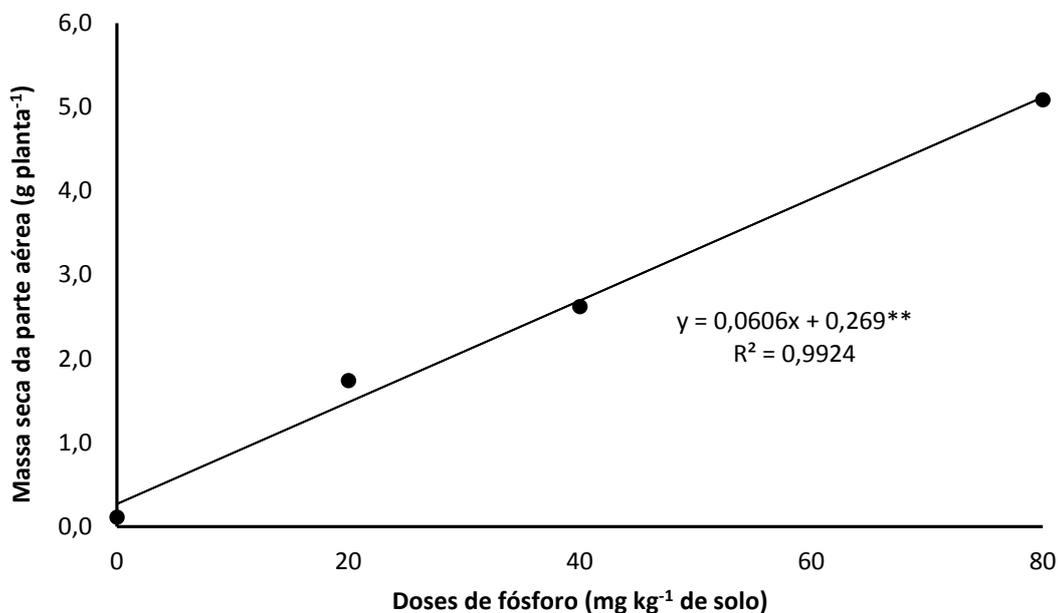
A adição das doses de fósforo empregadas neste ensaio experimental influenciou de forma linear todos os parâmetros avaliados, com exceção do teor de óleo dos grãos (Anexo 1). Para a massa seca de raiz por planta, o maior valor obtido foi de 2,47 (g planta<sup>-1</sup>). Este valor foi observado nos vasos onde foi aplicada a maior dose de fósforo 80 (mg kg<sup>-1</sup> de solo), mostrando claramente que nas condições em que este experimento foi instalado, onde o fósforo no solo é muito baixo, (P no solo=0,3 mg dm<sup>-3</sup>), o efeito positivo da elevação dos níveis de fósforo sobre esta variável.



**Figura 3.5.** Massa seca de raiz de crambe (g planta<sup>-1</sup>) em função das doses crescentes de fósforo e coletadas aos 38 dias após a emergência (DAE). (Média de 8 plantas). CV= 65,61.\*\*Significativo ( $P \leq 0,01$ ).

Segundo Malavolta (1989), a adubação fosfatada em quantidades adequadas para a planta estimula o desenvolvimento radicular, garante uma arrancada vigorosa, apressa a maturação fisiológica, estimula o florescimento, ajuda a formação das sementes, aumenta a resistência ao frio dos cereais e também a produtividade.

A massa seca da parte aérea por planta também foi fortemente influenciada pelas doses de fósforo aplicadas, apresentando um comportamento de aumento linear. O maior valor obtido, 5,08 (g planta<sup>-1</sup>) foi encontrado nos vasos onde foi aplicada a dose de 80 mg kg<sup>-1</sup> de solo, (Figura 3.6). De forma geral os valores obtidos foram inferiores aos observados por Freitas, (2010), que obteve entre 9,86 e 10,4 g de matéria seca da parte aérea por planta.

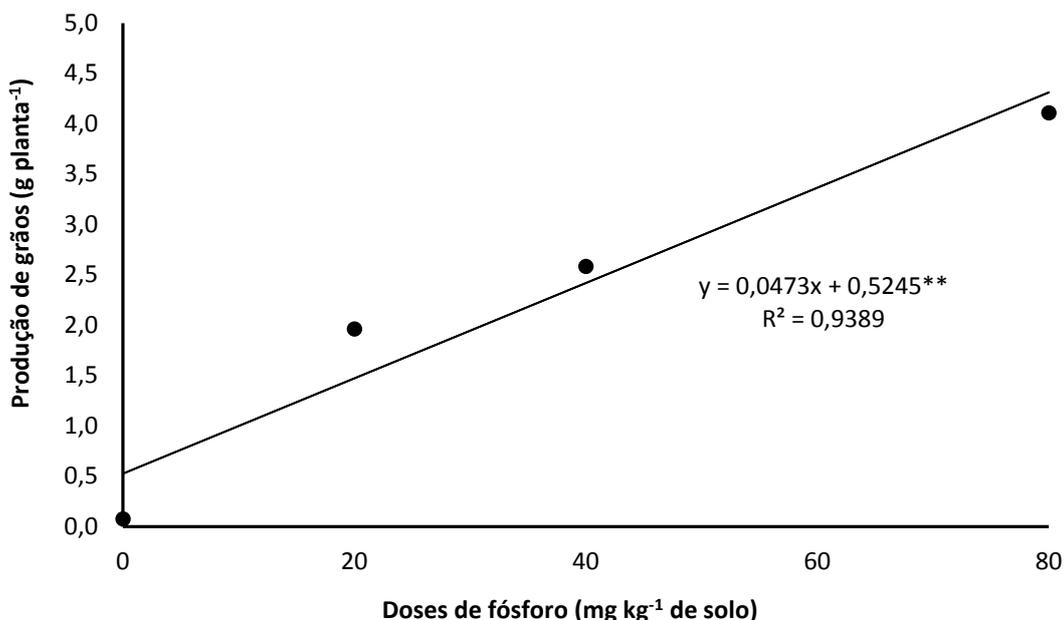


**Figura 3.6.** Massa seca da parte aérea (g planta<sup>-1</sup>) de crambe em função de doses crescentes de fósforo e coletadas aos 38 dias após a emergência (DAE). (Médias de 8 plantas). CV= 16,20. \*\*Significativo ( $P \leq 0,01$ ).

Freitas (2010) utilizando Latossolo Vermelho Distroférico não obteve resposta significativa da adição de até 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no desenvolvimento da massa seca da parte aérea de crambe. Porém, o solo que este autor utilizou continha um teor de fósforo no solo muito elevado 23,6 mg dm<sup>-3</sup> de fósforo em um solo de textura muito argilosa 80 (%) de argila e, provavelmente devido a isso, não encontrou resposta, como ele mesmo comenta em seus resultados. Silva et al. (2011) também trabalhando em um Latossolo não

encontrou resposta da adição de até  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  no desenvolvimento da massa seca da parte aérea, mesmo em um solo com teor baixo de fósforo ( $3,2 \text{ mg dm}^{-3}$ ). Estes autores encontraram entre  $5.833$  e  $7.403 \text{ kg}$  de massa seca por hectare para uma população de plantas estimada em um milhão de plantas por hectare, ou seja,  $5,8$  e  $7,4 \text{ g}$  de massa seca por planta.

A produção de grãos por planta aumentou linearmente de acordo com as doses de fósforo incorporada ao solo. A produção de grãos obtida com a maior dose de fósforo aplicada ( $80 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo) foi  $109\%$  superior a menor dose aplicada ao solo ( $20 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo) (Figura 3.7). Nos vasos onde não foi aplicado fósforo (testemunha) as plantas não se desenvolveram bem e praticamente não produziram grãos.



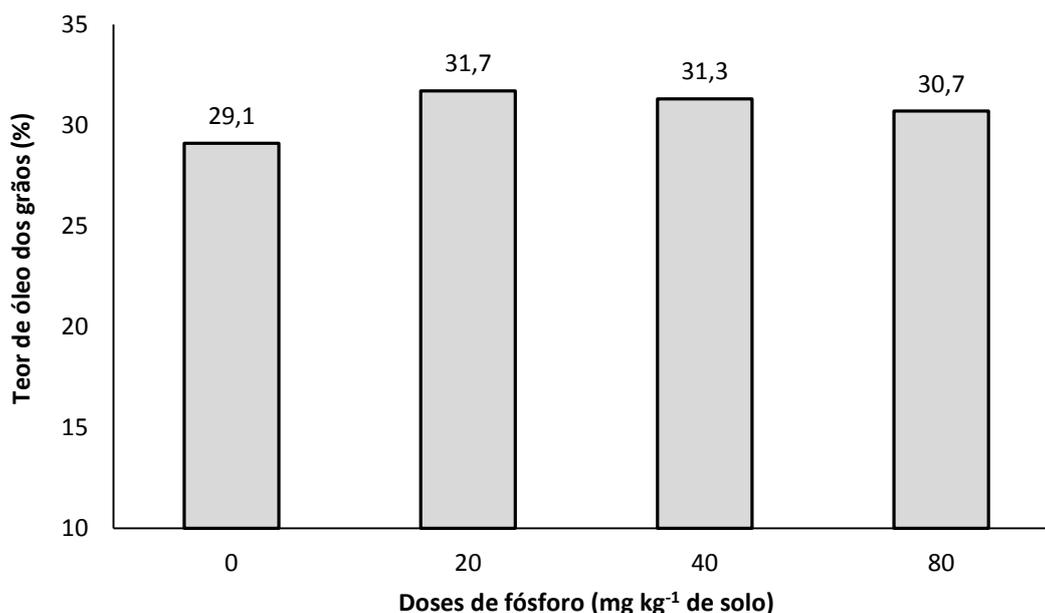
**Figura 3.7.** Produção de grãos de crambe ( $\text{g planta}^{-1}$ ), submetidas a doses crescentes de fósforo. (Médias de 8 plantas).  $\text{CV} = 8,19$ . \*\*Significativo ( $P \leq 0,01$ ).

Os resultados obtidos neste trabalho não estão de acordo com os obtidos por Lunelli (2012). Este autor, utilizando  $68 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  não obteve resposta significativa sobre a produtividade do crambe. Porém outros autores já relataram efeito benéfico da adição de fósforo em crambe. Camargo et al. (2010), também encontraram resposta linear da produção de grãos de crambe em função de doses de fósforo até  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  trabalhando em um Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico. Silva et al. (2011) observou efeito significativo linear de adição de até  $120 \text{ kg h}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  na produtividade de grãos da

cultura do crambe. Rogério et al. (2013) em um experimento de dois anos também obteve resposta linear significativa para doses de fósforo de até 90 kg ha<sup>-1</sup> sobre a produtividade de grãos de crambe. Em outras oleaginosas também há relatos de efeito benéfico da adição de fósforo na produtividade de grãos. Na cultura da mamona, Moreira et al. (2012) obtiveram aumentos de produção de grão também lineares com elevação do teor de fósforo estudado. Segundo estes autores, foi observado aumento de 48,6% na produtividade de grãos em função da adição de fósforo. Segundo Severino et al. (2006b) o fósforo é o nutriente de maior importância para o aumento de produtividade e teor de óleo da mamoneira.

O teor de fósforo do solo utilizado neste trabalho (0,3 mg dm<sup>-3</sup>) é baixo e de acordo com Malavolta et al. (1997), o fósforo está ligado com a síntese de proteínas, a produção de óleos e gorduras, as estruturas que formam tais como fosfolípidos que estão presentes em várias partes da célula, então isso é uma possível explicação para a obtenção do efeito significativo da adição de fósforo na cultura do crambe neste trabalho, mostrando a importância da correta interpretação da fertilidade do solo e da correção da deficiência de fósforo para permitir a maximização da produção de grãos nesta cultura.

A média geral para o teor de óleo encontrada neste experimento, 32,0 (%), foi muito semelhante a obtida no experimento para avaliação do efeito de nitrogênio, onde se observou um teor médio de 31,88 (%) de óleo (Figura 3.8). Porém, diferentemente o teor de óleo não foi influenciado pelas doses de fósforo empregadas.

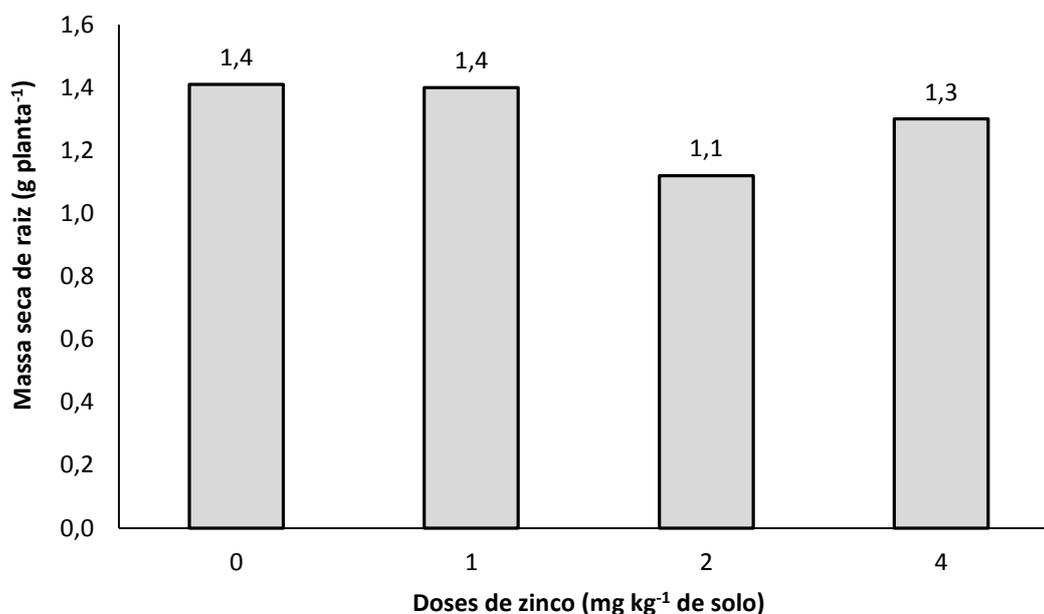


**Figura 3.8.** Teor de óleo dos grãos de plantas crambe (%) submetidas a doses crescentes de fósforo. (Médias de 4 repetições). CV= 9,11.

Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Rogério et al. (2013). Estes autores também não observaram resposta da adição de até 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em nenhum dos dois anos de cultivo do crambe e encontraram teores de óleo superiores aos observado neste trabalho ficando entre 38,5 e 42,5 (%). Entretanto, diferente deste trabalho, outros autores já obtiveram efeito significativo da adição de fósforo no teor de óleo de oleaginosas. Silva et al. (2011) que também obteve efeito linear da aplicação de doses de fósforo no teor de óleo do crambe, obtendo um teor de óleo que variou entre 27,8 e 34,5 (%). Na cultura da mamona Severino et al. (2006a) obtiveram efeito linear até 120 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo. Estes autores descrevem que foi observado um consistente aumento do teor de óleo nas sementes da mamoneira em resposta à aplicação das doses de fósforo e que entre a testemunha e a dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo, o teor de óleo do grão aumentou de 47,6 para 50,2%. Ainda segundo Severino et al. (2006b) o fósforo é o nutriente de maior importância para o aumento do teor de óleo da mamoneira.

### 3.3.3 Efeito das doses de zinco

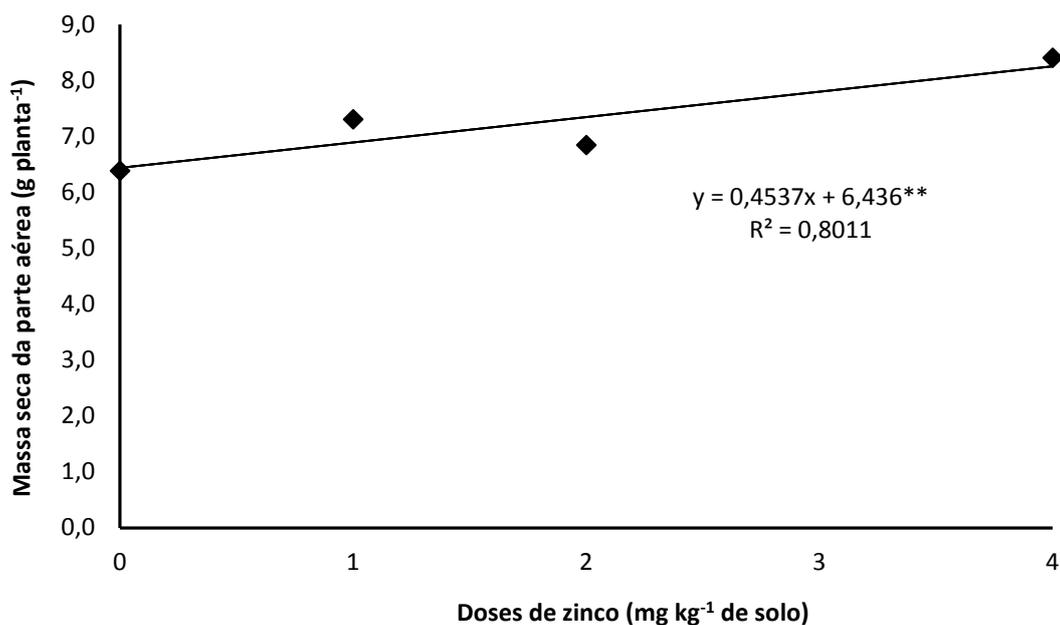
No experimento para avaliação do efeito de doses de zinco, não foi observado influência no desenvolvimento da massa seca de raiz do crambe (Anexo 1). Verificou-se que para esta variável a maior média obtida foi de  $1,41 \text{ g planta}^{-1}$  (Figura 3.9).



**Figura 3.9.** Massa seca de raiz ( $\text{g planta}^{-1}$ ) de crambe submetidas a doses crescentes de zinco e coletadas aos (36 DAE). (Média de 8 plantas). CV= 14,79.

Desta forma, o teor de zinco presente no solo utilizado neste experimento de  $1,0 \text{ (mg dm}^{-1}\text{)}$ , foi suficiente para permitir o desenvolvimento do sistema radicular, não sendo necessário, nestas condições adição das doses de zinco. Porém são necessários estudos em condições de campo para confirmar este potencial de resposta do crambe as doses de zinco.

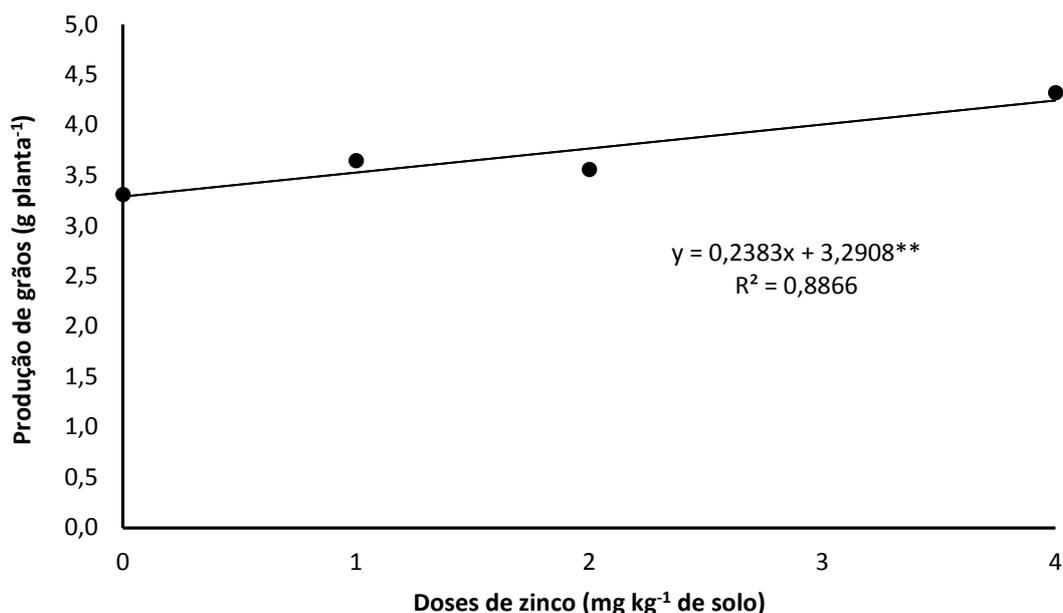
O desenvolvimento da massa seca da parte aérea foi influenciado pelas doses de zinco aplicadas de forma linear. É possível observar (Figura 3.10), que o maior valor médio obtido  $8,40 \text{ (g planta}^{-1}\text{)}$  foi encontrado quando as plantas foram adubadas com a dose de zinco  $4 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo.



**Figura 3.10.** Massa seca da parte aérea (g planta<sup>-1</sup>) de crambe submetidas a doses crescentes de zinco e coletadas aos 36 dias após a emergência (DAE). (Médias de 8 plantas). CV= 2,77. \*\*Significativo ( $P \leq 0,01$ ).

Estes resultados não estão de acordo com os obtidos por Silva et al. (2011) que trabalhando em um Latossolo que continha 1,4 (mg dm<sup>-3</sup>) de zinco não encontrou resposta da adição de 80 g ha<sup>-1</sup> de zinco no desenvolvimento da massa seca da parte aérea na cultura do crambe. Estes autores encontraram entre 6202 e 6439 kg de massa seca por hectare para uma população de plantas estimada em um milhão de plantas por hectare, ou seja, 6,2 e 6,4 g de massa seca por planta. Estes valores são próximos aos observados neste trabalho. Uma explicação para que estes autores não tenham obtido resposta significativa para zinco, pode ser a dose empregada de 80 g ha<sup>-1</sup> que é muito baixa.

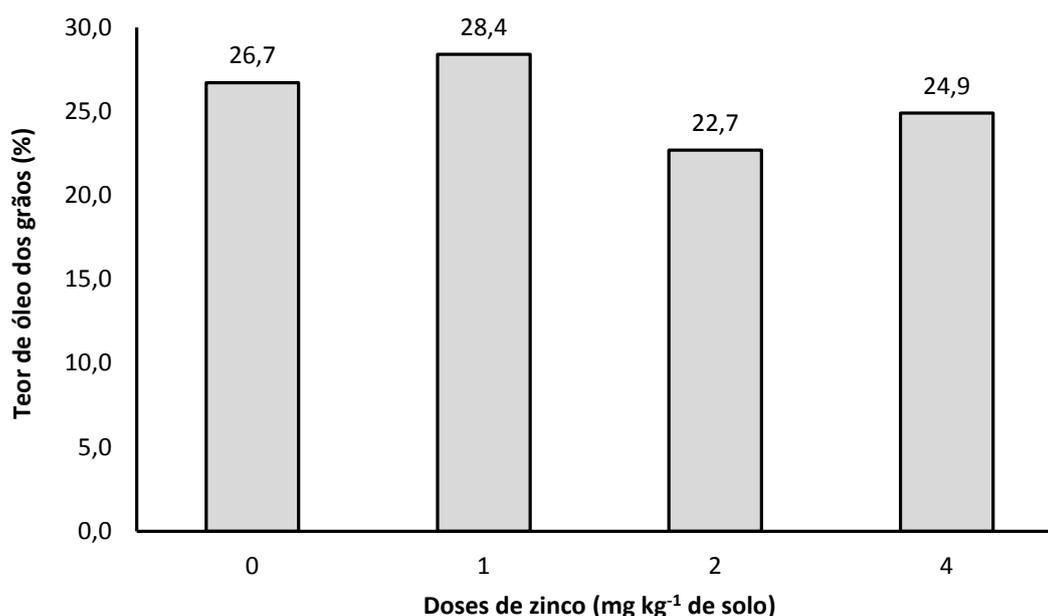
A produção de grãos também foi fortemente influenciada pela adição de zinco (Figura 3.11). O aumento obedeceu a um comportamento linear, indicando que o crambe responde a adição de zinco nas condições estudadas. Na maior dose de zinco utilizada 4 (mg kg<sup>-1</sup> de solo) a produção de grãos foi 30,5% maior que na testemunha.



**Figura 3.11.** Produção de grãos de crambe (g planta<sup>-1</sup>), submetidas a doses crescentes de zinco. (Médias de 8 plantas). CV= 7,08. \*\*Significativo ( $P \leq 0,01$ ).

Estes resultados não estão de acordo com os obtidos por Silva et al. (2011) que trabalhando em um Latossolo que continha 1,4 (mg dm<sup>-3</sup>) de zinco não encontrou resposta da adição de 80 g ha<sup>-1</sup> de zinco na produtividade de grãos de crambe. Em outras oleaginosas já há relatos de efeito benéfico da adição de zinco na produção de grãos. Inocêncio et al. (2012) em um solo com teor elevado de zinco 3,6 mg dm<sup>-3</sup> obteve resposta significativa avaliando diferentes fontes de zinco na produtividade de grãos da cultura da soja. O que mostra que os estudos referentes ao emprego de micronutrientes nas plantas em geral, mas especialmente nas oleaginosas ainda precisam avançar.

A adição das doses de zinco não influenciou o teor de óleo de crambe (Figura 3.12). A maior média observada que foi de 28,4 (%) foi obtida no tratamento onde ocorreu a aplicação de zinco na dose de 1 mg kg<sup>-1</sup> de solo e foi de (28,4 %), e a média geral para o teor de óleo do crambe foi de 25,7(%).

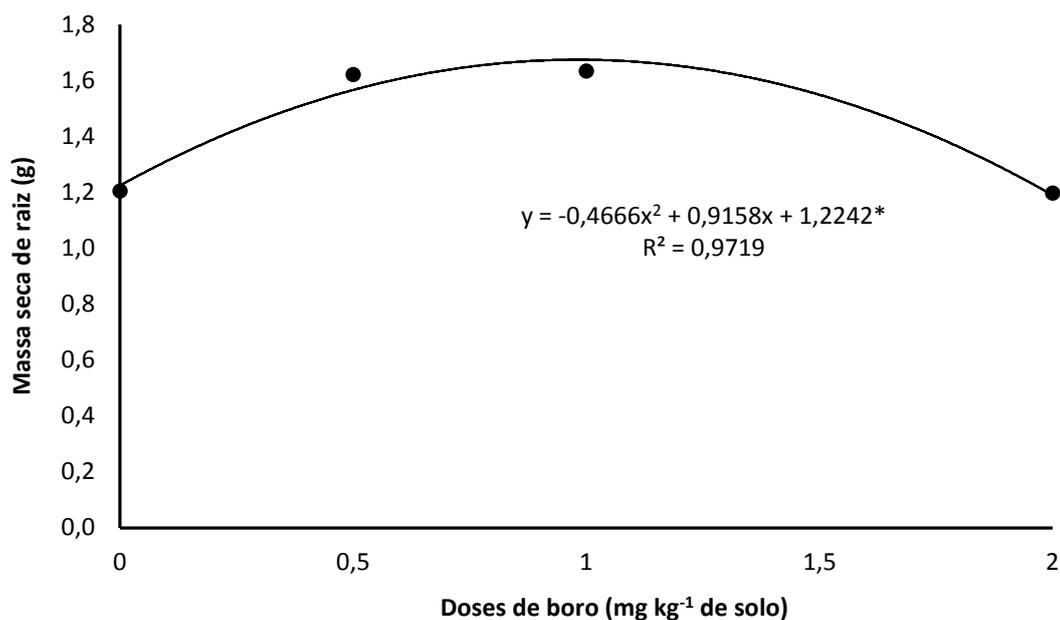


**Figura 3.12.** Teor de óleo dos grãos de plantas crambe (%) submetidas a doses crescentes de zinco. (Médias de 4 repetições). CV= 9,94.

Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Silva et al. (2011). Estes autores também não encontraram efeito significativo da adição de 80 g ha<sup>-1</sup> de zinco no teor de óleo do crambe.

### 3.3.4 Efeito das doses de boro

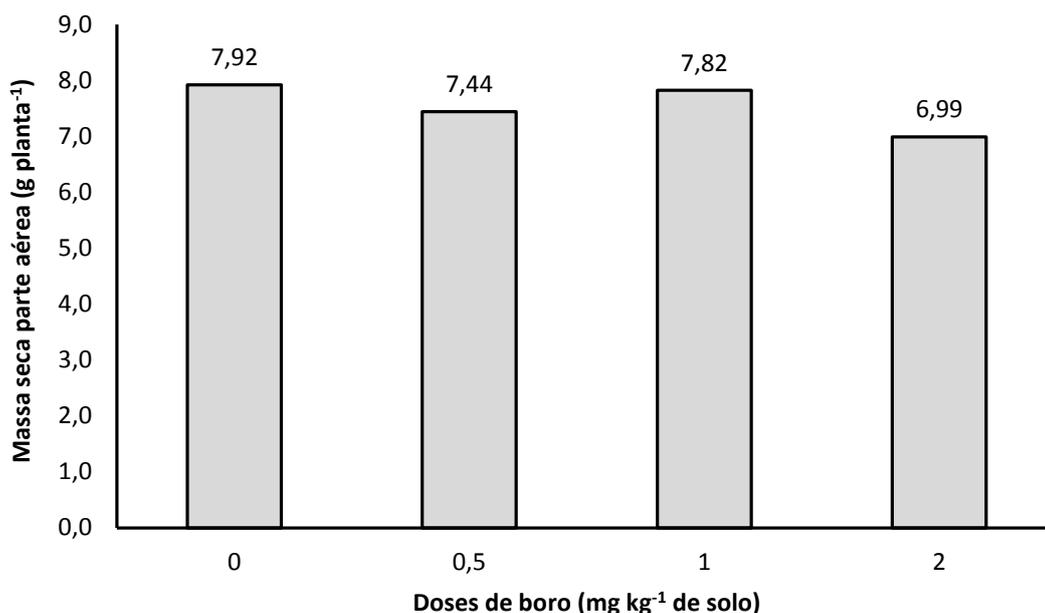
A adição das doses de boro empregadas neste ensaio experimental influenciou apenas a massa seca de raiz (Anexo 1). A análise de variância da regressão mostrou efeito significativo para o modelo quadrático (Figura 3.13). Para esta variável as doses de boro de 0,5 e 1 mg kg<sup>-1</sup> de solo por hectare elevaram a produção de raiz, mas a maior dose aplicada 2 mg kg<sup>-1</sup> de solo reduziu a produção de massa seca de raiz ao mesmo nível da testemunha. O ponto de máxima da equação de regressão foi de 0,98 mg de boro por kg de solo (Figura 3.13).



**Figura 3.13.** Massa seca de raiz (g planta<sup>-1</sup>) de crambe submetidas a doses crescentes de boro e coletadas aos 36 dias após a emergência (DAE). (Médias de 8 plantas). CV= 24,13. \*Significativo ( $P \leq 0,05$ ).

Estes resultados não estão de acordo com o observado na literatura para outras oleaginosas. Lavres Junior et al. (2012) trabalhando em solução nutritiva e com a cultura da mamoneira não observou efeito significativo das doses de boro no desenvolvimento do sistema radicular. A dose ótima de boro calculada foi de 1,96 kg por hectare.

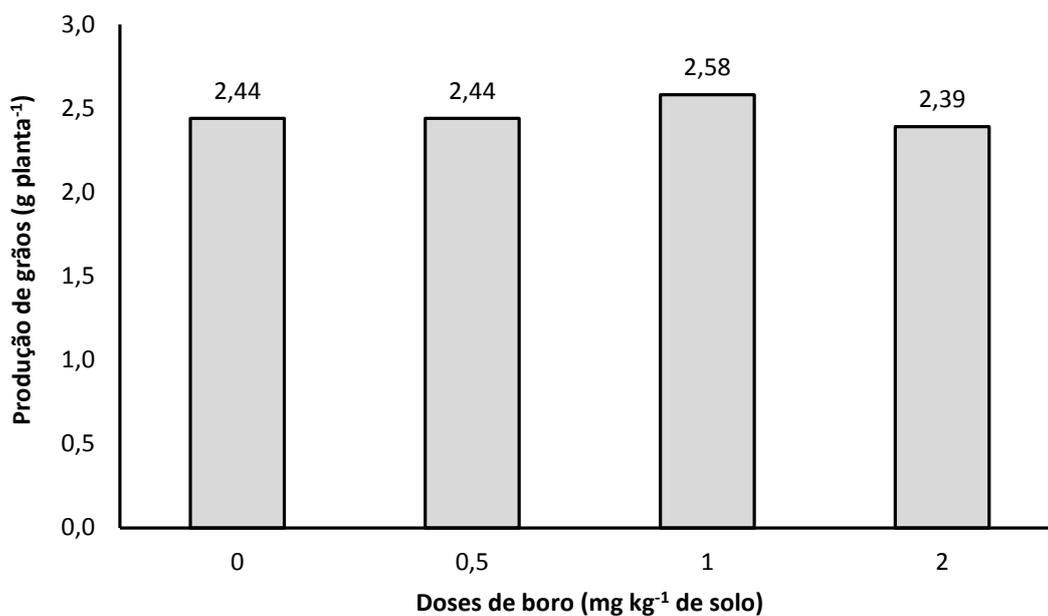
A massa seca total da parte aérea não foi influenciada pelas doses de boro aplicadas (Figura 3.14). O maior valor médio obtido foi encontrado na testemunha (7,92 g por planta).



**Figura 3.14.** Massa seca da parte aérea (g planta<sup>-1</sup>) de crambe submetidas a doses crescentes de boro e coletadas aos 36 dias após a emergência (DAE). (Médias de 8 plantas). CV= 9,54.

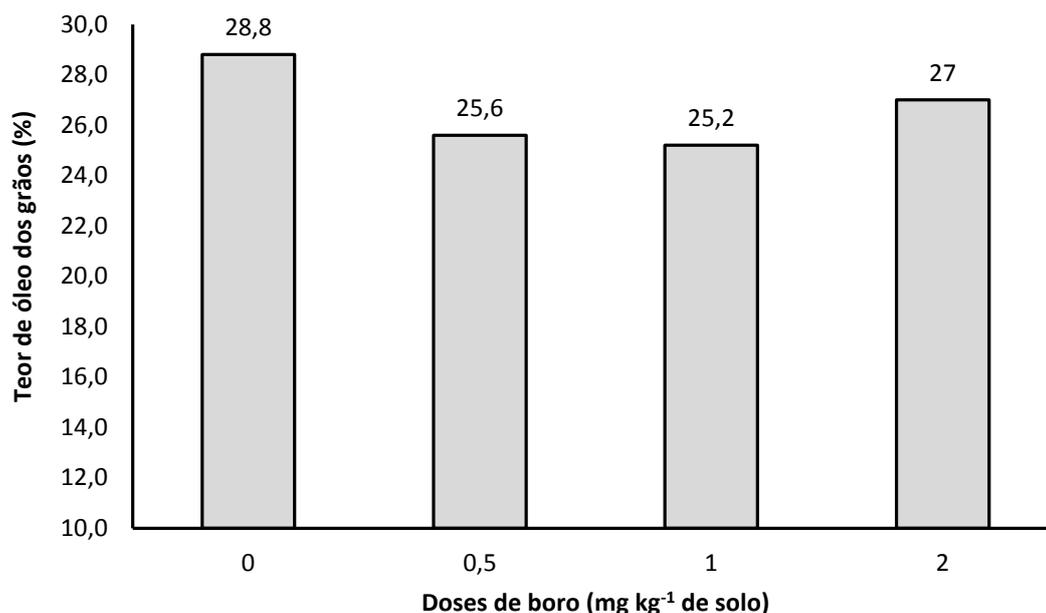
Lavres Junior et al. (2012) trabalhando em solução nutritiva e com a cultura da mamoneira também não observaram efeito significativo das doses de boro no desenvolvimento vegetativo da parte aérea. Diferente do encontrado neste trabalho, outros autores já relataram efeito benéfico da adição de boro no desenvolvimento da massa seca da parte aérea de oleaginosas. Carpentiere-Pipolo et al. (1999) trabalhando com girassol obtiveram aumento da produção de massa seca em condições de casa de vegetação.

Não foi observado, nas condições em que este experimento foi instalado, efeito das doses de boro aplicadas também na produção de grãos por planta (Figura 3.15). Para esta variável o maior valor médio observado foi obtido na com adição de boro na dose de 1 mg kg<sup>-1</sup> de solo (2,58 g planta<sup>-1</sup>).



**Figura 3.15.** Produção de grãos de crambe (g planta<sup>-1</sup>), submetidas a doses crescentes de boro. (Médias de 8 plantas). CV= 10,36.

A adição das doses de boro não influenciou o teor de óleo de crambe. A maior média observada foi obtida no tratamento testemunha 28,8 (%), e a média geral foi de 26,7 (%) (Figura 3.16). Sindoni et al. (1994) relata que a matéria seca das plantas de gergelin é afetada pela supressão de boro em qualquer dos estágios de desenvolvimento desta cultura, sendo os frutos e as sementes mais afetados. Em seu trabalho desenvolvido em solução nutritiva, Silva, (2007) não encontrou resposta da adição de boro na cultura da mamona. Estes resultados discordam dos obtidos por Castro et al. (2006) que obtiveram resposta da adubação de boro na cultura do girassol utilizando 2 kg ha<sup>-1</sup>.



**Figura 3.16.** Teor de óleo dos grãos de plantas crambe (%) submetidas a doses crescentes de boro. (Médias de 4 repetições). CV= 9,55.

Segundo Sousa & Lobato (2004), os teores de boro nos solos de Cerrado podem ser considerados baixos de 0 a 0,2 mg dm<sup>-3</sup> e só são considerados elevados os teores acima de 0,50 (mg dm<sup>-3</sup>). Como o teor de boro no solo utilizado neste experimento é de 0,12 (mg dm<sup>-3</sup>) era de se esperar que houvesse respostas na produtividade de grãos, porém isso não ocorreu. Este resultado pode estar relacionado com a capacidade da planta de extrair de forma eficiente os nutrientes, o que precisa ser melhor estudado em experimentos futuros, principalmente em condições de campo.

### 3.4 CONCLUSÕES

A adição das doses de nitrogênio elevou de forma linear todos os parâmetros avaliados.

A adição das doses de fósforo elevou de forma linear o desenvolvimento do sistema radicular, da parte aérea e a produção de grãos.

A adição das doses de zinco elevou de forma linear desenvolvimento da parte aérea e a produção de grãos.

A adição das doses de boro influenciou de forma quadrática o desenvolvimento do sistema radicular

### 3.5 REFERÊNCIAS

BEDIN, I.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; FAQUIN, V.; TOKURA, A. M.; SANTOS, J. Z. L. Fertilizantes fosfatados e produção de soja em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 639-646, 2003.

BRITO, D. M. C. **Aspectos do metabolismo de plantas de crambe (*Crambe abyssinica*) submetidas a diferentes doses de nitrogênio visando a produção de óleo para biodiesel**. 2009. 64 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.

BROCH, D. L.; ROSCOE, R. Fertilidade do solo, adubação e nutrição do crambe. In: PITOL, C.; BROCH, D. L.; ROSCOE, R. (Ed.). **Tecnologias e produção: crambe 2010**. 1. Ed. Maracaju: FUNDAÇÃO MS, 2010. v. 1, cap. 4, p. 22-36.

CAMARGO, F. P.; LAZARINI, E.; VAZQUEZ, G. H.; PICOLE, P. R. F.; MARCANDALLI, L. H.; HAYASHI, F. K. Massa seca, acúmulo de nutrientes e produtividade de crambe em função da adubação de semeadura. In: FertBio, 2010, Guarapari – ES. **Anais...** Guarapari: 2010. 1 CD-ROM.

CARNEIRO, S. M. T. P. G.; ROMANO, E.; MARIANOWSKI, T.; OLIVEIRA, J. P.; GARBIN, T. H. S.; ARAÚJO, P. M. Ocorrência de *Alternaria brassicicola* em crambe (*Crambe abyssinica*) no estado do Paraná. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v. 35, n. 2, p. 154-154, 2009.

CARPENTIERE-PÍPOLO, V.; ASSIS, J. S.; GARCIA, I. P. Efeito de doses de calcário e boro no crescimento do girassol (*Helianthus annuus* L). **Semina**, Londrina, v. 20, n. 1, p. 64-66, 1999.

CASTRO, C.; BALLA, A.; CASTIGLIONI, V. B. R.; SFREDO, G. Levels and methods of nitrogen supply for sunflower. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 827-833, 1999.

CASTRO, C.; MOREIRA, A.; OLIVEIRA, R.F.; DECHEN, A.R. Boro e estresse hídrico na produção do girassol. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 2, p. 214-220, 2006.

COEDEIRO, L. A. M.; REIS, M. S.; ALVARENGA, E. M. **A cultura da canola**. (Cadernos Didáticos, 60). Viçosa: UFV, 1999.

DOMINGOS, A. K. **Otimização da etanolise do óleo de *Raphanus sativus* L. e Avaliação de sua estabilidade à oxidação**. 2005. 110 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Paraná, Londrina, 2005.

DRECCER, M.F.; SCHAPENDONK, A. H. C .M.; SLAFER, G. A.; RABBINGE, R. Comparative response of wheat and oilseed rape to nitrogen supply: absorption and utilization efficiency of radiation and nitrogen during the reproductive stages determining yield. **Plant and Soil**, New York, v. 220, n. 1-2, p. 189–205, 2000.

FREITAS, M. E. **Comportamento agrônômico da cultura do crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) em função do manejo empregado**. 2005. 42 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2010.

INOCÊNCIO, M. F.; RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; VELOSO, M. P.; FERRAZ, F. M.; HICKMANN, C. Resposta da soja à adubação com zinco em solo com teores acima do nível crítico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 10, p.1550-1554, 2012.

KNIGHTS, E. G. **Crambe**: A North Dakota case study. *Dakota*, v. 02/005, p. 25, 2002.

LAGHETTI, G.; PIERGIOVANNI, A. R.; PERRINO, P. Yield and oil quality in selected lines of *Crambe abyssinica* Hochst. ex R. E. Fries and *C. hispanica* L. grown in Italy. **Industrial Crops and Products**, Fargo, v. 4. n. 3, p. 203-210, 1995.

LALAS, S.; GORTZI, O. ATHANASIADIS, V.; DOURTOGLOU, E. DOURTOGLOU, V. Full Characterisation of *Crambe abyssinica* Hochst. Seed Oil. **Journal Am. Oil Chem. Soc.** New York, v. 89, n. 12, p. 2253–2258, 2012.

LARA CABEZAS, W.A.R; KORNDORFER, G. H; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluídas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 489-496, 1997.

LAVRES JUNIOR, J.; CABRAL, C. P.; ROSSI, M. L.; NOGUEIRA, T. A. R.; NOGUEIRA, N. L.; MALAVOLTA, E. Deficiency symptoms and uptake of micronutrientes by castor bean grown in nutrient solution. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 233-242, 2012.

LUNELLI, I. E. **Efeitos de arranjos nutricionais de NPK na produtividade de grãos e rendimento de óleo da cultura do crambe**. 2012. 40 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres 1989. 304p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas**: Princípios e aplicações. Piracicaba, Potafos, 1997. 308p.

MAREGA FILHO, M.; DESTRO, D.; MIRANDA, L. A.; SPINOSA, W. A.; CARRÃO-PANIZZI, M. C.; MONTALVÁN, R. Relationships among oil content, protein content and seed size in soybeans. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 44, n. 1, p. 23-32, 2001.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2.ed. San Diego: Academic, 1995. 902p.

MOREIRA, M. A.; ALVES, J. M.; OLIVEIRA, A. B.; MEDEIROS, F. A. Crescimento e produção da mamoneira em função de fósforo e boro. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 5, n. 2, p. 98-108, 2012.

NOBRE, R. G.; LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; LOURENÇO, G. S.; SOARES, L. A. A. Emergência, crescimento e produção da mamoneira sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n.1, p. 76-85, 2013.

NOVAIS, R. F.; NEVES J. C. L.; BARROS N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA A. J. (Ed.) **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: Embrapa-SEA, p. 189-253, 1991.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 399p.

PITOL, C.; BROCH, D. L.; ROSCOE, R. Época, espaçamento e densidade de plantio. In: PITOL, C.; BROCH, D. L.; ROSCOE, R. (Ed.). **Tecnologias e produção: crambe 2010**. 1. Ed. Maracaju: FUNDAÇÃO MS, 2010. v. 1, cap. 3, p. 10-21.

RATHKE, G. W; BEHRENS, T; DIEPENDBROCK, W. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Zürich, v. 117, n. 2, p. 80-108, 2006.

ROGÉRIO, F.; SANTOS, J. I.; SILVA, T. R. B.; MIGLIAVACCA, R. A.; GOUVEIA, B.; BARBOSA, M. C. Efeito de doses de fósforo no desenvolvimento da cultura do crambe. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, Supplement. 1, p. 251-255, 2012.

ROGÉRIO, F.; SILVA, T. R. B.; SANTOS, J. I. S.; POLETINE, J. P. Phosphorus fertilization influences grain yield and oil content in crambe. **Industrial Crops and Products**, Fargo, v. 41, n. 2, p. 266– 268, 2013.

SANTOS, J. I.; ROGERIO, F.; MIGLIAVACCA, R. A.; GOUVEIA, B.; BARBOSA, M. C. Efeito da adubação potássica na cultura do crambe. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 346-350, 2012.

SEVERINO, L.S.; FERREIRA, G.B.; MORAES, C.R.A.; GONDIM, T.M.S.; FREIRE, W.S.de A.; CASTRO, D.A.; CARDOSO, G.D.; BELTRÃO, N. E. M. Crescimento e produtividade da mamoneira adubada com macronutrientes e micronutrientes: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, 2006a.

SEVERINO, L.S.; FERREIRA, G.B.; MORAES, C.R.A.; GONDIM, T.M.S.; BELTRÃO, N.E.M. Produtividade e crescimento da mamoneira em resposta à adubação orgânica e mineral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 879-882, 2006b.

SILVA, D. H. **Boro em mamoneira: Aspectos morfológicos e fisiológicos relacionados à deficiência e toxicidade**. Piracicaba. 2007, 103 f. Dissertação (mestrado em ciências). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade São Paulo.

SILVA, T. R. B.; LEITE, V. E.; SILVA, A. R. B.; VIANA, L. H. Adubação nitrogenada em cobertura na cultura da mamona em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 9, p.1357-1359, 2007a.

SILVA, M. O.; DUDA, G. P.; MENDES, A. M. S.; OLIVEIRA, D. A. Desempenho da mucuna preta quando adubada com diferentes tipos de fosfato. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 127-132, 2007b.

SILVA, T. R. B.; LAVAGNOLLI, R. R.; NOLLA, A. Zinc and phosphorus fertilization of crambe (*Crambe abssynica* Hochst). **Journal of Food Agriculture & Environment**, Helsink, v. 9, n. 1, p. 132-135, 2011.

SINDONI, M.; ZAMORA, J.; RAMÍRIZ, R. Sintomas de deficiência de boro y produccion de matéria seca em anjojoli. **Agronomía Tropical**, Maracay, v. 44, n. 1, p. 135-150, 1994.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrados: Correção e adubação**. 2. ed. Embrapa Informação tecnológica, Brasília, DF. 2004. 416p.

#### **4 SATURAÇÃO POR BASES E ADUBAÇÃO MINERAL NA CULTURA DO CRAMBE EM CONDIÇÕES DE CAMPO**

##### **RESUMO**

O potencial produtivo de grãos do crambe observado na literatura pode variar de 1000 a 1500 kg ha<sup>-1</sup>, mas ainda não existe recomendações de adubação específicas para esta cultura. O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da saturação por bases e adição de (NPK) no desenvolvimento vegetativo e na produtividade do crambe. Este trabalho foi desenvolvido na fazenda São Tomaz Jatobá, no município de Rio Verde – GO em um Latossolo Vermelho Distroférico. Foram instalados três experimentos para avaliar de forma isolada, em um esquema fatorial o efeito da elevação da saturação por bases e doses de nitrogênio, saturação por bases e doses de fósforo e saturação por bases e doses de potássio. Cada experimento foi formado por um fatorial (4x3) com 4 repetições totalizando 48 parcelas, sendo a testemunha comum para todos os nutrientes. Em cada experimento foram avaliados quatro níveis de saturação por bases e três níveis de cada uma das adubações minerais. Os níveis de saturação por bases foram: (34 - natural do solo, 40, 50 e 60 %). As adubações minerais avaliadas foram: a) Nitrogênio - 1=testemunha; 2= 40 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio; 3 = 80 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, b) Fósforo - 1= testemunha; 2= 40 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 3= 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, c) potássio - 1=testemunha; 2= 40 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O; 3= 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. As parcelas experimentais foram formadas por um retângulo de 9 m<sup>2</sup> com 5 linhas de plantio com espaçamento entre elas de 0,45m. O plantio foi realizado no dia 08/03/2011 utilizando a cultivar “FMS Brillhante”. a adição das doses de nitrogênio aumentou a massa seca do sistema radicular e da parte aérea, a produtividade e não influenciou no teor de óleo. As doses de fósforo elevaram significativamente todos os parâmetros avaliados. O potássio elevou significativamente todos os parâmetros avaliados com exceção do teor de óleo. A saturação por bases influenciou todos os parâmetros avaliados de forma linear ou quadrática.

*Palavras-chave:* biodiesel, calcário, NPK.

##### **ABSTRACT**

#### **SATURATION FOR BASES AND MINERAL FERTILIZATION ON CULTURE CRAMBE IN FIELD CONDITIONS.**

The grain yield potential of crambe observed in the literature can vary from 1000 to 1500 kg ha<sup>-1</sup>, but there is still no specific fertilizer recommendations for this crop. The aim of this study was to evaluate the effect of saturation and adding (NPK) on vegetative growth and yield of crambe. This study was conducted at St. Tomaz Jatobá farm in the municipality of Rio Verde - GO in a Hapludox. We built three experiments to

evaluate in isolation, in a factorial design the effect of raising the base saturation and nitrogen levels, base saturation and phosphorus levels and base saturation and potassium. Each experiment consisted of a factorial (4x3) with 4 replicates totaling 48 installments, the common witness to all nutrients. In each experiment, four levels of saturation and three levels of each mineral fertilizers. The base saturation levels were: (34 - natural soil, 40, 50 and 60%). The mineral fertilizers were evaluated: a) Nitrogen - 1 = control, 2 = 40 kg ha<sup>-1</sup> nitrogen, 3 = 80 kg ha<sup>-1</sup> nitrogen, b) Phosphorus - 1 = control, 2 = 40 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 3 = 80 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, c) potassium - 1 = control, 2 = 40 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O, 3 = 80 kg ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O. The experimental plots were formed by a rectangle of 9 m<sup>2</sup> with 5 lines of planting spacing of 0.45 m between them. The planting was held on 03.08.2011 using the cultivar 'Bright FMS ". the addition of nitrogen increased the dry weight of roots and shoots, productivity and no influence on oil content. The phosphorus levels significantly increased all parameters evaluated. Potassium significantly increased all parameters except the oil content. The base saturation influenced all parameters in a linear or quadratic.

*Key words:* biodiesel, lime, NPK.

#### 4.1 INTRODUÇÃO

Diversas plantas vêm sendo estudadas com objetivo de fornecimento de óleo para produção de biodiesel. Entre estas plantas podemos destacar o crambe (*Crambe abyssinica*) que é uma cultura de inverno e pode ser cultivado tardiamente, em épocas que os riscos para as demais culturas de safrinha seriam muito elevados na região Centro-Oeste (Pitol et al., 2010). Por estes motivos esta planta tem despertado interesse, como sendo mais uma alternativa para a safrinha e rotação de culturas (Panno & Prior, 2009). Dentre as principais características da cultura está sua precocidade, com grãos maduros aos 90-100 dias e maturação uniforme, facilitando a colheita mecanizada (Lazzeri et al., 1995; Falasca et al., 2010). Jasper et al. (2010a) relatam que a cultura do crambe apresentou menor custo de produção que outras fontes oleaginosas, como, canola, girassol e soja. Segundo Heinz et al. (2011) a palhada do crambe apresenta maior persistência do que a de outras culturas utilizadas como cobertura de solo e que o K, P e Mg são os nutrientes liberados mais rapidamente para a cultura subsequente. O potencial produtivo do crambe observado na literatura pode variar de 1000 a 1500 kg ha<sup>-1</sup> (Pitol et al., 2010; Rogério et al., 2012; Santos et al., 2012). Quanto a qualidade do óleo, os dados obtidos indicam produção média de 38% de teor total de óleo, podendo variar este índice, de acordo com as condições de clima e solo (Silva et al., 2011). O óleo é constituído de aproximadamente 57% de ácido erúico

que pode causar danos ao fígado e rins e perda de apetite em animais monogástricos (Eskin et al., 1996; West et al., 2002, citados por Carlsson et al., 2007).

Quanto a fertilidade do solo, ainda não há recomendações específicas para esta cultura e a quantidade de trabalhos publicadas é muito pequena. Nas plantas, o nitrogênio mineral é absorvido nas formas de nitrato ou amônio, e entra em contato com as raízes preferencialmente pelo fluxo de massa (Malavolta et al., 1997). O N é constituinte de aminoácidos e nucleotídeos, e o principal nutriente para obtenção de produtividades elevadas em culturas anuais (Castro et al., 1999). De acordo com os resultados obtidos por Souza et al. (2009) o teor de proteína bruta obtida na torta de crambe 31,7 (%) indica que em condições de produtividades elevadas esta cultura seja exigente em nitrogênio e que portanto é importante o conhecimento do potencial de resposta desta cultura a este nutriente para possibilitar uma adubação mais eficiente ambientalmente e financeiramente.

Quanto a adubação fosfatada, é relatado na literatura que em quantidades adequadas para a planta, o fósforo estimula o desenvolvimento radicular, garante uma arrancada vigorosa, apressa a maturação fisiológica, estimula o florescimento, ajuda a formação das sementes, e também aumenta a produtividade (Malavolta, 1989). Segundo Severino et al. (2006) o fósforo é o nutriente de maior importância para o aumento de produtividade e teor de óleo em oleaginosas. A aplicação de doses de  $P_2O_5$  influenciou positivamente no desenvolvimento da cultura do crambe, sendo que as maiores doses de fósforo proporcionaram incremento significativo na produtividade (Rogério et al., 2012). Knights (2002) afirma que a resposta do crambe à fertilidade do solo é semelhante a obtida com culturas de grãos pequenos como a colza e a canola (*Brassica napus* L.), e a mostarda (*Brassica juncea* L.), o que ainda carece de confirmação em diferentes condições de cultivo, levando em consideração principalmente o tipo de solo e clima de cada local.

O potássio está relacionado com a síntese de proteínas e de carboidratos, sendo que sua deficiência resulta em uma menor síntese de proteínas e acúmulo de compostos nitrogenados solúveis, como aminoácidos, amidas e nitrato (Faquim, 1994). Além disso, o potássio é ainda responsável por promover o armazenamento de açúcares e amido, estimular o crescimento vegetativo e melhorar a utilização da água e a resistência a pragas e doenças (Malavolta, 1989). De acordo com Marschener (1995), uma das razões para que as plantas apresentam alto nível de exigência em potássio é o fato de haver uma necessidade em manter o seu teor do nutriente elevado no citoplasma das células, para garantir uma ótima atividade enzimática, pois esse nutriente não apresenta alta afinidade

com compostos orgânicos, e para manter a neutralização de ânions e manutenção do pH em níveis adequados ao funcionamento das células.

Quanto a saturação por bases há relatos que a cultura do crambe se desenvolve melhor e consegue obter melhores rendimentos de grãos em solos eutróficos (Broch & Roscoe, 2010). Segundo estes autores o crambe é bastante tolerante a déficits hídricos, entretanto esta tolerância está diretamente ligada a sua capacidade de enraizamento profundo, a qual por sua vez, depende de um perfil de solo corrigido, quanto a acidez e a presença de alumínio tóxico. De acordo com Janegitz et al., (2010) a saturação por bases adequada para o desenvolvimento e produção de grãos de crambe em solos de textura média encontra-se entre 50% e 65%. Segundo Broch & Roscoe (2010), as condições de acidez do solo para produção do crambe utilizadas são as mesmas das principais culturas de verão e são escassos os resultados até o presente momento que revelem o nível ideal de saturação por bases para o bom desenvolvimento do crambe. Dessa forma, é importante a obtenção das informações sobre o desenvolvimento desta cultura em diferentes níveis de saturação por bases do solo e em diferentes condições climáticas.

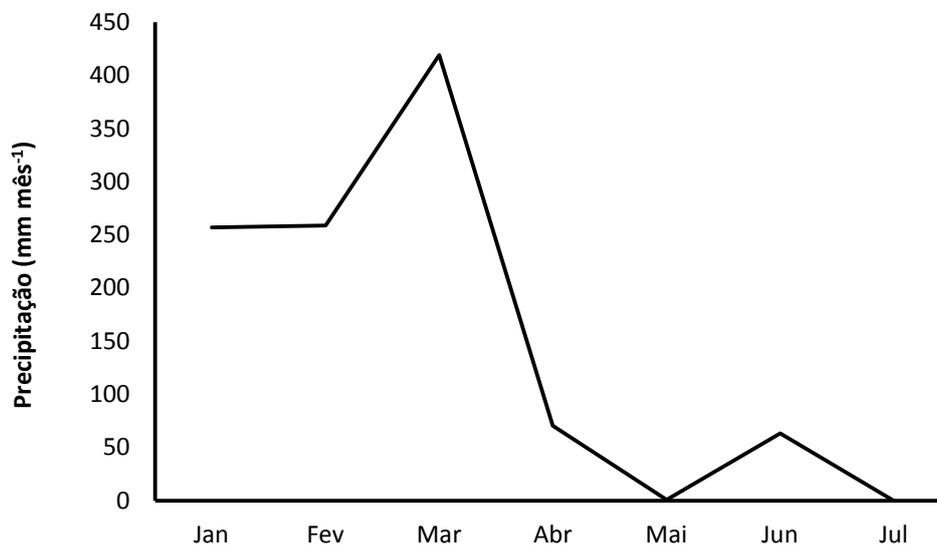
O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da elevação da saturação por bases do solo e adição de doses de nutrientes (NPK) no desenvolvimento vegetativo, na produtividade de grãos e no teor de óleo do crambe.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1 Localização e caracterização da área experimental

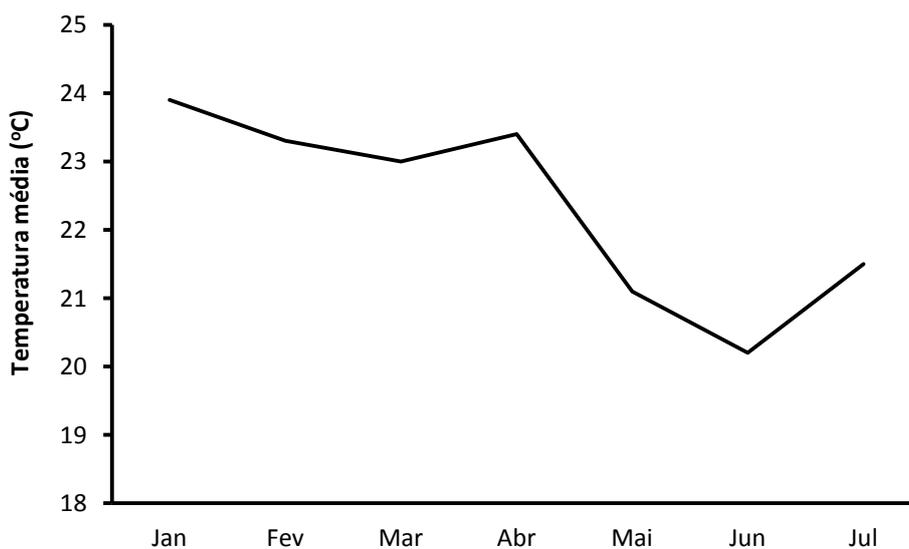
Este trabalho foi desenvolvido na fazenda São Tomaz Jatobá, coordenadas geográficas 17° 49' 22.63'' Sul e 50° 56' 21.87'' Oeste, com altitude 725 metros no município de Rio Verde – GO. A área estava sendo cultivada em uma sucessão de soja e milho sendo que a cultura utilizada na safra anterior 2010/2011 foi a soja que foi colhida em janeiro de 2011. O clima da região é do tipo Aw, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual varia entre 20 e 35 °C e as precipitações oscilam entre 1.500 a 1.800 mm anuais. As intensidades das precipitações ocorridas durante o desenvolvimento

da cultura pode ser visualizado na Figura 4.1 e a temperatura média na Figura 4.2. Os dados de precipitação e temperatura foram obtidos na estação meteorológica localizada no Campus Universitário da Fesurv (Universidade de Rio Verde) em Rio Verde – GO.



**Figura 4.1.** Precipitação acumulada (mm mês<sup>-1</sup>) durante o desenvolvimento da cultura do crambe no município de Rio Verde – GO no ano de 2011.

A temperatura média mensal (°C) também foi monitorada durante o desenvolvimento do crambe e o resultado encontra-se na Figura 4.2.



**Figura 4.2.** Temperatura média mensal (°C) durante o desenvolvimento da cultura do crambe no município de Rio Verde – GO no ano de 2011.

O relevo é suave ondulado (8% de declividade), e o solo classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (Embrapa, 2006), cujas características químicas e texturais são apresentadas a seguir para a profundidade de 0-20 cm: pH(CaCl<sub>2</sub>)=4,7; Ca, Mg, K, Al e CTC (1,7; 0,6; 0,10; 0,06 e 7,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> respectivamente); P<sub>(mel)</sub>, S, Zn, B, Cu e Mn (5,5; 11,3; 1,8; 0,12; 1,5 e 41,6 mg dm<sup>-3</sup>); V%=33,8; MO=22,0 g dm<sup>-3</sup>; argila, silte e areia (350, 50 e 600 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente). Para a profundidade de 20 a 40 cm o resultado da análise de solo mostrou o seguinte resultado: pH(CaCl<sub>2</sub>)=4,4; Ca, Mg, K, Al e CTC (0,9; 0,3; 0,07; 0,23 e 6,0 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> respectivamente); P<sub>(mel)</sub>, S, Zn, B, Cu e Mn (1,9; 33,7; 0,4; 0,12; 1,9 e 21,9 mg dm<sup>-3</sup>); V%=21,3; MO=15,2 g dm<sup>-3</sup>; argila, silte e areia (375, 50 e 575 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente).

#### 4.2.2 Tratamentos e delineamento experimental

Foram instalados três experimentos para avaliar, de forma independente, em um esquema fatorial (4 x 3) com quatro repetições em um arranjo em blocos ao acaso o efeito da elevação da saturação por bases do solo e doses de nitrogênio, efeito da saturação por bases e doses de fósforo e saturação por bases e doses de potássio. Foram utilizadas quatro repetições para cada tratamento, totalizando 48 parcelas para cada nutriente, sendo a testemunha comum para todos. Foram avaliados quatro níveis de saturação por bases e 3 níveis de adubação mineral. Os níveis de saturação por bases foram: (34 - natural do solo, 40, 50 e 60 %). As adubações minerais avaliadas foram: a) Nitrogênio - 1=testemunha; 2= 40 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio; 3 = 80 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, utilizando como fonte ureia. b) Fósforo - 1= testemunha; 2= 40 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 3= 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, utilizando como fonte o super fosfato simples. c) potássio - 1=testemunha; 2= 40 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O; 3= 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, utilizando como fonte o cloreto de potássio. A saturação por bases natural do solo foi elevada com aplicação de calcário e a necessidade do corretivo foi calculada utilizando a fórmula de elevação da saturação por bases  $NC = (V2-V1).T/PRNT$ . Foi empregado calcário filler (CaO=30,5% e MgO=18,7%) e a aplicação e a incorporação no solo, em cada parcela, ocorreu de forma manual 15 dias antes do plantio. O fósforo foi aplicado todo no plantio e a distribuição foi feita com a distribuidora de adubo da semeadora, que foi regulada para cada dosagem. Nas parcelas onde não estava sendo avaliado o efeito de nitrogênio foi feita uma adubação de base na dose de 50 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, utilizando como fonte a ureia e aplicada aos 22 DAG. Nas parcelas onde não

estava sendo avaliado o efeito de potássio foi feita uma adubação de base na dose de 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, utilizando como fonte o cloreto de potássio aos 22 DAG. O nitrogênio e o potássio da adubação de base e dos tratamentos foram aplicados em cobertura aos (22 DAG). Foi feito um sulco de aproximadamente 3 a 4 cm a uma distância de aproximadamente 15 cm da linha de plantio, onde foi depositado manualmente o nitrogênio e o potássio, sendo imediatamente cobertos pelo solo do sulco. Nas parcelas onde não estava sendo avaliado o efeito de fósforo, foi feita uma adubação de base na dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, utilizando como fonte o super fosfato simples e aplicado e incorporado de forma manual durante o preparo inicial da parcela.

#### **4.2.3 Implantação e condução do experimento**

As parcelas experimentais foram formadas por um retângulo de 9 m<sup>2</sup> (2,25 por 4 m). Cada parcela foi formada por 5 linhas de plantio, com espaçamento entre elas de 0,45m e 4 metros de comprimento. A distância entre as parcelas experimentais foi de 1 m e dois metros entre blocos. Foi feita também a dessecação da área experimental, um dia após o plantio, utilizando glifosato na dose de 3 L ha<sup>-1</sup> associado a aurora na dose de 50 mL ha<sup>-1</sup>.

O plantio foi realizado no dia 08/03/2011 utilizando semeadora SHM 11/13 da marca Semeato, adaptada para espaçamento de 45 cm, usando disco de corte. A densidade de plantio foi de 12 kg ha<sup>-1</sup> de sementes na profundidade de 2 cm. As sementes de crambe utilizadas foram da cultivar “FMS Brilhante” que foram adquiridas da Fundação MS Para Pesquisa e Difusão de Tecnologias Agropecuárias (FUNDAÇÃO MS). A emergência das plantas ocorreu no dia (15/03/2011). O “stand” final de plantas foi de 1220 mil plantas por hectare. A implantação e o desenvolvimento das plantas podem ser visualizados pelas figuras 4.3, 4.4 e 4.5. As plantas atingiram a maturação fisiológica no dia 11/06/2011, aos 88 (DAE) e a colheita foi realizada no dia 21/06/2011.

Na análise estatística e para os níveis de saturação por bases foi realizada a análise de regressão polinomial e para as doses de nutrientes (NPK), como consta apenas de três doses foi realizada a análise de variância e quando necessário foi empregado o teste de Tukey (5%). O programa estatístico utilizado foi o Assistat 7.6 Beta elaborado pelo Dr. Francisco de Assis Santos e Silva, DEAG-CTRN-UFCG, Campina Grande – PB, Brasil.



**Figura 4.3.** Vista do experimento para avaliação do efeito da elevação da saturação por bases e doses de adubação mineral (NPK) na cultura do crambe aos 22 dias após a emergência durante a fase de crescimento vegetativo.



**Figura 4.4.** Vista do experimento para avaliação do efeito da elevação da saturação por bases e doses de adubação mineral (NPK) na cultura do crambe aos 44 dias após a emergência durante a fase de florescimento pleno.



**Figura 4.5.** Vista do experimento para avaliação do efeito da elevação da saturação por bases e doses de adubação mineral (NPK) na cultura do crambe aos 63 dias após a emergência durante a fase de granação.

#### 4.2.4 Variáveis avaliadas

As variáveis dependentes avaliadas foram: a) massa seca de raiz e parte aérea em três diferentes épocas: 35 dias após a emergência (DAE), ocasião em que as plantas estavam no início do florescimento; 45 (DAE) ocasião em que as plantas estavam no estágio de florescimento pleno e início da fase de granação e 55 (DAE) onde as plantas estavam na fase de granação; b) produtividade de grãos; c) teor de óleo do grão.

##### 4.2.4.1 Massa seca de raiz e parte aérea

Para avaliação da massa seca de raiz e parte aérea do crambe, três plantas localizadas na bordadura de cada parcela foram colhidas utilizando enxadão, de forma que foi retirada a raiz e a parte aérea inteira da planta, procurando retirar a raiz o mais completa possível em todas as épocas de coletas. As coletas foram realizadas aos 35, 45 e aos 55 (DAG). As raízes foram separadas da parte aérea na própria área de campo e ambos foram

acondicionados em sacos de papel e identificados conforme a parcela. O material foi levado para o laboratório onde foi lavado com água destilada e posteriormente foram colocados para secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65°C por 72 horas para serem pesados.

#### 4.2.4.2 Produtividade

Para determinação da produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) descartou-se as linhas laterais e 0,5 metros de cada lado da parcela, colhendo três metros lineares das três linhas centrais totalizando  $4,05 \text{ m}^2$  no centro de cada parcela. A colheita foi realizada de forma manual e os grãos foram colocados em sacos de papel, levados para o laboratório onde foram limpos e secos em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 72 horas para uniformização da umidade antes da pesagem.

#### 4.2.4.3 Teor de óleo do grão

Para determinação do teor de óleo no crambe, os grãos foram triturados manualmente em cadinho de porcelana. Cinco gramas de amostra foram adicionados ao dedal de celulose do determinador de gorduras modelo TE-044-8/50 de oito provas simultâneas da TECNAL e foi utilizado como solvente o hexano (200 mL por amostra). A temperatura foi regulada eletronicamente para 120 °C e a extração ocorreu por 4 horas.

### 4.3 RESULTADO E DISCUSSÃO

#### 4.3.1 Efeito da saturação por bases e doses de nitrogênio

O efeito dos tratamentos no desenvolvimento da massa seca de raiz do crambe dependeu da época avaliada. Na primeira época de coleta de plantas (35 DAE) a análise estatística mostrou efeito significativo tanto para doses de nitrogênio quanto para a elevação da saturação por bases do solo e não houve significância para interação (V% x N)

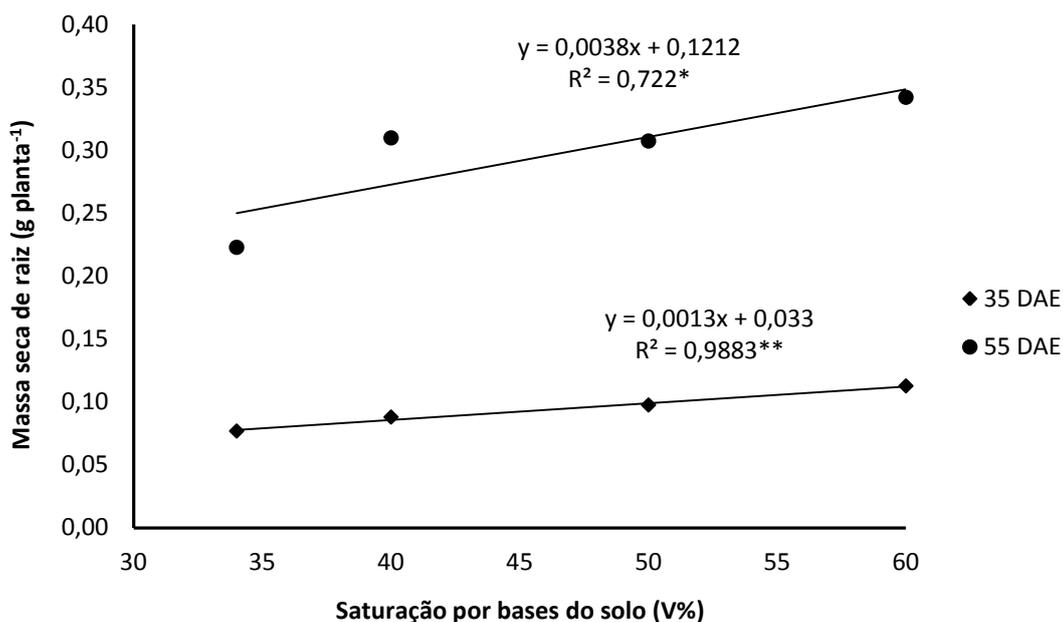
(Anexo 2). Na segunda época de coleta de plantas (45 DAE) foi observado efeito significativo da interação (V% x N) e na terceira época de coleta de plantas (55 DAE) só foi observado efeito significativo para a análise de variância da regressão para os níveis de saturação por bases do solo (Anexo 2). Nas duas épocas onde foi observado efeito significativo a maior dose de nitrogênio utilizada (80 kg ha<sup>-1</sup>), apesar de diferir da testemunha, não diferiu da dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 4.1), indicando que para este parâmetro avaliado, e nas condições deste estudo, o crambe não responde a doses de nitrogênio entre 40 e 80 kg ha<sup>-1</sup>.

**Tabela 4.1.** Massa seca de raiz de crambe (g planta<sup>-1</sup>) em função de doses de nitrogênio e colhidas em diferentes épocas. Médias de dezesseis observações.

Nitrogênio (kg ha <sup>-1</sup> )	Época de coleta (DAE)		
	35	45	55
Testemunha	0,083 b	0,156 b	0,257 a
40	0,090 ab	0,194 a	0,327 a
80	0,107 a	0,218 a	0,302 a
CV (%)	29,56	19,08	35,46

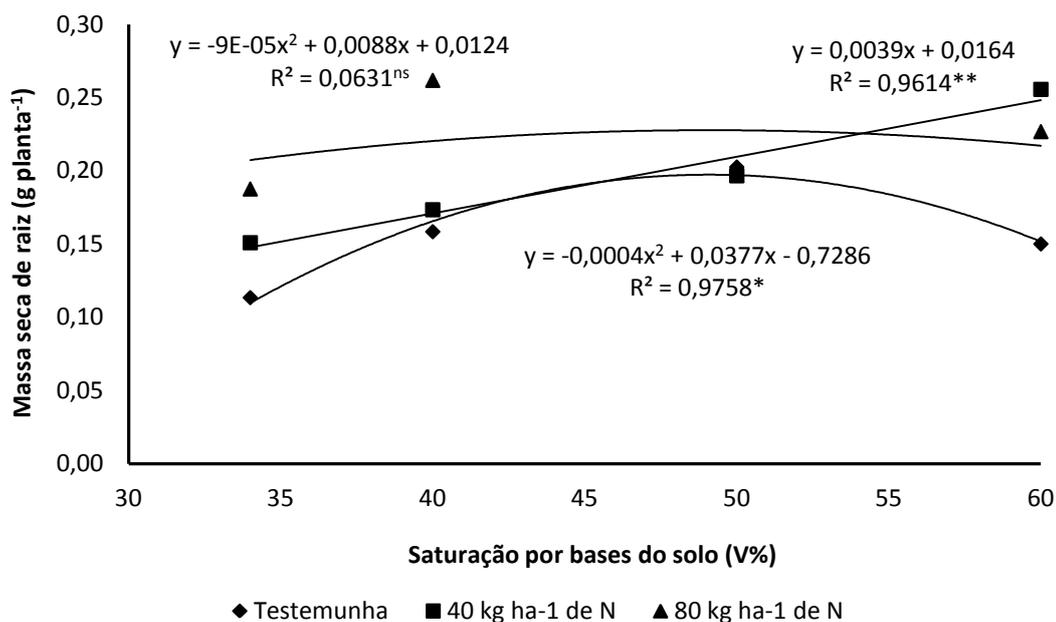
Médias seguidas de mesma letra, na mesma época de coleta, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Na avaliação do efeito da elevação da saturação por bases nas coletas aos 35 e aos 55 (DAE), que foi onde a interação (V% x N), não foi significativa (Anexo 2), podemos observar um efeito linear até a saturação por bases de 60%.



**Figura 4.6.** Massa seca de raiz de crambe (g planta<sup>-1</sup>) em função da elevação da saturação por bases do solo (V%) e coletadas aos 35 e aos 55 dias após a emergência (DAE). Médias de doze observações.

Na coleta de plantas realizada aos 45 (DAE), onde a interação (V% x N) foi significativa, como pode ser visualizado no (Anexo 2), então foi feito o desdobramento do efeito da elevação da saturação em cada dose de adubação nitrogenada e o comportamento observado dependeu da dose de nitrogênio aplicada. Na testemunha (sem aplicação de N), o comportamento foi polinomial (quadrático) e o ponto de máxima da equação de regressão para a saturação por bases foi 47,12%. Nas parcelas que receberam a dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio o comportamento foi linear e nas parcelas que receberam a dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio não foi significativo (Figura 4.7).



**Figura 4.7.** Massa seca de raiz de crambe (g planta<sup>-1</sup>) em função da elevação da saturação por bases do solo (V%) e coletadas aos 45 dias após a emergência (DAE). Médias de doze observações. ns=não significativo.

A comparação do efeito de doses de nitrogênio no desenvolvimento do sistema radicular de crambe com a literatura é dificultada devido ao pequeno número de trabalhos publicados. Alves et al. (2010a), trabalhando em condições de casa de vegetação encontrou efeito linear da aplicação de doses de nitrogênio até 160 kg ha<sup>-1</sup> utilizando como fonte a ureia.

Na avaliação do efeito da elevação da saturação por bases do solo a análise de regressão mostrou efeito linear para as três épocas de coleta de raízes (35, 45 e 55 DAE), indicando que para o crambe, esta variável avaliada foi fortemente influenciada pela saturação por bases do solo (Anexo 2). Estes resultados não estão de acordo com os obtidos na literatura, pois Carvalho et al. (2012) em um experimento em vasos encontraram resposta quadrática em função dos níveis de saturação por bases do solo para a massa seca de raiz. O melhor nível de saturação por bases foi 45% e nos níveis 60% e 75%, diferente do encontrado neste trabalho, a massa seca de raiz declinou. Janegitz et al. (2010) elevaram a saturação por bases do solo até 80% e também não obtiveram efeito no desenvolvimento do sistema radicular de crambe. Brito (2009) em um estudo com crambe em solução nutritiva também não obteve resultado significativo de doses de nitrogênio no desenvolvimento do sistema radicular de crambe. Estes resultados discordantes,

produzidos em solo, encontrados na literatura foram conduzidos em Latossolo semelhante ao utilizado neste trabalho de tese, desta forma são necessários mais estudos para que se estabeleça um eficiente sistema de implantação desta cultura com vistas a propiciar melhores condições de desenvolvimento da raiz e conseqüentemente da planta como um todo.

Na análise estatística para avaliação do efeito dos tratamentos no desenvolvimento da massa seca da parte aérea foi observado efeito significativo da interação (N x V%) para a segunda e a terceira épocas de coletas (45 e 55 DAE) (Anexo 2). Na avaliação realizada aos 35 DAE e (V% = 34 e 40), a adição de nitrogênio diferiu da testemunha e a maior dose empregada (80 kg ha<sup>-1</sup>) não diferiu da dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> (Tabela 4.2). Na segunda época de avaliação (45 DAE) só foi observado efeito da adição de nitrogênio no maior nível de saturação por bases utilizado (V%=60), sendo que neste caso, a adição de 40 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio diferiu tanto da testemunha como da dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio (Tabela 4.2). Na terceira época de avaliação (55 DAE) o efeito das doses de N também dependeu do nível de saturação observado. No primeiro nível de saturação (V%=34) a dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio diferiu da testemunha e da dose de 80 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto nos níveis mais elevados de saturação por bases (V%=50 e 60) a dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> de N diferiu da testemunha e da maior dose de nitrogênio.

**Tabela 4.2.** Massa seca da parte aérea de crambe (g planta<sup>-1</sup>), em função de doses de nitrogênio e colhidas em diferentes épocas. Médias de quatro observações.

Saturação por Bases (V%)	Épocas de coleta (DAE)								
	35			45			55		
	Doses de nitrogênio (kg ha <sup>-1</sup> )								
	Test	40	80	Test	40	80	Test	40	80
34	0,37 b	0,50 ab	0,82 a	1,22 a	1,53 a	1,81 a	4,57 a	1,85 b	4,38 a
40	0,43 b	0,60 ab	0,88 a	2,36 a	1,76 a	2,22 a	3,87 a	4,91 a	4,27 a
50	0,54 a	0,75 a	0,85 a	2,15 a	2,22 a	1,82 a	4,09 b	6,70 a	3,53 b
60	0,71a	0,78 a	0,99 a	1,37 b	2,90 a	2,00 b	3,13 b	6,21 a	3,63 b
CV (%)	35,57			25,56			30,33		

Médias seguidas de mesma letra na linha, e dentro da mesma época de coleta, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Test= testemunha.

Camargo et al. (2010) também obtiveram resposta significativa da aplicação de nutrientes minerais (NPK) no plantio e nitrogênio em cobertura no desenvolvimento da massa seca da parte aérea de crambe em avaliação realizada aos 60 dias após a semeadura. Brito, (2009) em experimento em solução nutritiva obteve resposta significativa para doses de nitrogênio (nitrato) para a massa seca de folhas e não significativa para a massa seca de caules. É realmente esperado efeito da adição de nitrogênio no desenvolvimento da parte aérea do crambe, pois de acordo com Oliveira et al. (1996), em seu livro sobre a cultura do feijoeiro, quando o nitrogênio é deficiente, as plantas são atrofiadas, o caule e o ramo são delgados, e as folhas apresentam uma coloração entre verde-pálido e amarela. Este mesmo autor relata que uma adubação nitrogenada em cobertura bem realizada tem a capacidade de suprir toda a necessidade da cultura, e conseqüentemente, aumentar sua produtividade. Este efeito significativo do nitrogênio no desenvolvimento da parte aérea de outras plantas é conhecido. Wright et al. (1988) trabalhando com colza, mostrou que o tratamento com nitrogênio prolonga a vida das folhas, melhora na floração e aumenta a assimilação das culturas em geral.

A maior produtividade média de grãos obtida neste trabalho de foi de 582 kg ha<sup>-1</sup>. Esta produtividade pode ser considerada baixa em relação ao encontrado na literatura, pois segundo Pitol et al. (2010), a cultivar MS Brilhante tem produtividade média de 1.000 a 1.500 kg ha<sup>-1</sup>. Em uma revisão na literatura é possível observar que em condições de solo semelhantes ao utilizados neste trabalho (Latosolo Vermelho), vários autores obtiveram produtividades de grãos do crambe superiores a 1500 kg ha<sup>-1</sup>, (Jasper et al., 2010b; Santos et al., 2012; Rogério et al., 2012; Rogério et al., 2013). Quando se observa a (Figura 4.1), percebemos que um dos fatores que pode ter influenciado negativamente na produtividade de grãos é a precipitação pluviométrica. Roscoe et al. (2010) relata que em solos com boa capacidade de retenção de água, o crambe produz satisfatoriamente quando recebe pelo menos 50 mm de água após a semeadura, distribuída em duas chuvas. Este autor relata também que a necessidade ideal varia entre 150 e 200 mm de água, concentrando-se, principalmente até o florescimento pleno e que chuvas após este período não são necessárias. Durante o período de desenvolvimento deste trabalho, segundo dados coletados na estação meteorológicas da Universidade de Rio Verde (FESURV) choveu mais de 400 mm, o que equivale ao dobro do mínimo descrito por Roscoe et al. (2010) como necessário para esta cultura. Apesar disso, a distribuição dessas chuvas foi irregular e se concentrou na fase de crescimento vegetativo (março) e com quantidades muito

pequenas nas fases seguintes. Considerando que neste trabalho o início do processo de granação do crambe iniciou-se no final do mês de abril, a quantidade de precipitação no período de florescimento pleno e na fase de granação podem ter prejudicado a produtividade desta cultura. Desta forma, estes dados discordam dos relatados por Roscoe et al. (2010) e mostram que para assegurar produtividades mais elevadas é necessário obter mais informações a respeito do comportamento desta cultura sob diferentes intensidades de precipitação com o objetivo de definir com maior clareza as exigências hídricas desta cultura.

Também não foi observado ataque significativo de pragas e doenças e as plantas, aparentemente, se desenvolveram normalmente.

Para a produtividade de grãos a análise estatística mostrou efeito significativo para a interação (V% x N), como pode ser visto no Anexo 2. No menor nível de saturação por bases (V%=34) que era a saturação por bases natural do solo, a adição de 40 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio elevou a produtividade em 38,2% diferindo significativamente da testemunha, porém a utilização da dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> não diferiu estatisticamente da menor dose empregada mostrando que em solos sem correção não é aconselhável o emprego de doses elevadas de nitrogênio pois a planta de crambe não consegue responder (Tabela 4.3).

Quando a saturação por bases do solo foi elevada para 40 % a média da testemunha (410 kg ha<sup>-1</sup>) não diferiu da primeira dose de nitrogênio (40 kg ha<sup>-1</sup>) onde foi observado (445 kg ha<sup>-1</sup>), indicando que esta elevação da saturação por bases foi equivalente a aplicação desta dose de nitrogênio (Tabela 4.3). Nos maiores níveis de saturação por bases do solo (50% e 60%) a dose de 40 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio também foi significativamente superior a testemunha, porém foi também significativamente inferior a dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio (Tabela 4.3), indicando que doses mais elevadas de nitrogênio, nas condições deste estudo, não elevam a produtividade do crambe, como também que pode reduzi-la. A maior produtividade média de grãos obtida neste trabalho de foi de 582 kg ha<sup>-1</sup> e foi obtida quando as plantas foram submetidas a saturação por bases do solo de 50% e a dose de nitrogênio empregada foi 40 kg ha<sup>-1</sup>. Esta produtividade é 56,4% superior ao observado na testemunha, (Tabela 4.3).

**Tabela 4.3.** Produtividade de grão de crambe ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e relativizada em relação a testemunha, dentro do parêntese, em função da elevação da saturação por bases do solo (V%) e doses de nitrogênio. Médias de quatro observações.  $\text{CV}(\%)=9,65$ .

Saturação por Bases (V%)	Doses de nitrogênio ( $\text{kg ha}^{-1}$ )		
	Testemunha	40	80
34	372 b (100)	514 a (138)	494 a (133)
40	410 b (110)	445 ab (120)	509 a (137)
50	473 b (127)	582 a (156)	503 b (135)
60	385 b (103)	534 a (143)	398 b (107)

Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

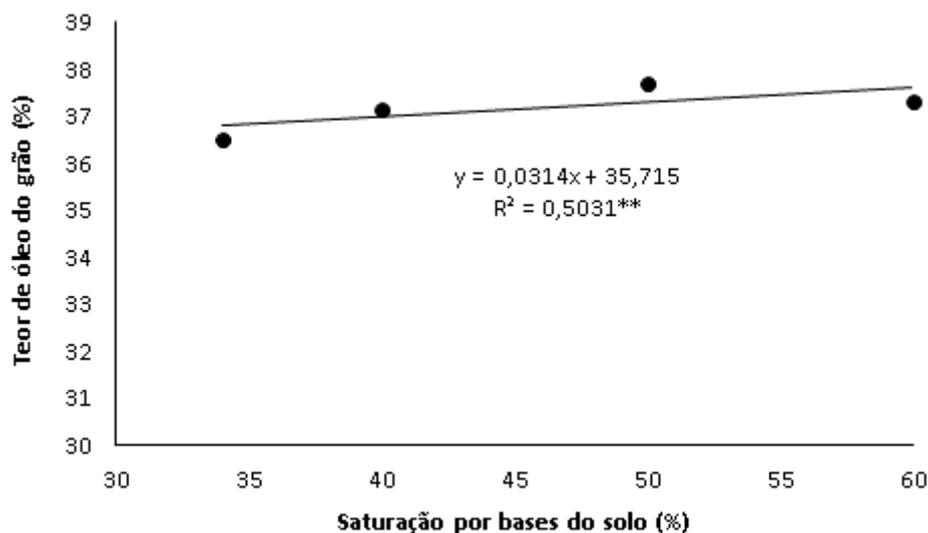
Broch & Roscoe, (2010) também encontraram resposta a adubação nitrogenada na cultura do crambe em solos onde o teor de matéria orgânica é baixo. Porém os resultados encontrados, por este autor mostram efeito benéfico com comportamento quadrático da adição de nitrogênio e decréscimo da produtividade com dosagens superiores a  $35 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. Os dados obtidos neste trabalho confirmam os resultados obtidos por Broch & Roscoe, (2010) quando a aplicação de doses de nitrogênio. Neste trabalho a aplicação da dose de  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio produziu menor média de produção de grãos do que a dose de  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  em praticamente todas as saturações por bases avaliadas (Tabela 4.3).

Diferente do observado neste trabalho, Freitas, (2010) em um experimento de dois anos consecutivos, em condições de campo, não obteve resposta significativa das doses de nitrogênio ( $60$  e  $120 \text{ kg ha}^{-1}$ ) na produtividade de grãos de crambe em nenhum dos anos avaliados. Esta autora, no entanto, utilizou como fonte de nitrogênio a ureia e descreveu que os adubos foram distribuídos manualmente nas linhas de plantio o que, considerando a quantidade de chuvas que ocorreu durante a condução do experimento foi pequena, e a umidade do solo deve ter sido baixa o que pode ter aumentado as perdas de nitrogênio por volatilização. Lara Cabezas et al. (1997) descrevem que se a escolha do fertilizante nitrogenado for a ureia e se ela aplicada a lanço e sem incorporação ao solo, as perdas de nitrogênio pelo processo de volatilização da amônia nesse sistema pode chegar a 78 % do nutriente aplicado. Lunelli, (2012) também trabalhando com cultivar de crambe

MS Brilhante e em um Latossolo Vermelho não encontrou efeito significativo da aplicação de  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio na forma de ureia, possivelmente porque ele trabalhou em um solo onde os teores de nutrientes e matéria orgânica estavam todos classificados como alto, diferente das condições em que este trabalho foi conduzido. Outra possibilidade é que a dosagem utilizada por estes autores ( $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de N) seja uma dose elevada para esta cultura, já que os resultados obtidos neste trabalho e os obtidos por Broch & Roscoe, (2010) indicam que doses maiores que  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio pode fazer declinar a produção de grãos desta cultura. Brito, (2009) em trabalho em solução nutritiva também não obteve efeito significativo da adição de doses de nitrogênio ( $\text{NO}_3^-$ ) na produtividade de grãos.

Na avaliação do efeito da saturação por bases sobre a produtividade do crambe a análise de variância da regressão mostrou efeito significativo para o modelo linear nas doses de nitrogênio ( $40$  e  $80 \text{ kg ha}^{-1}$ ) (Anexo 2), porém o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi muito baixo o que indica que apesar de significativo, o modelo não explica satisfatoriamente os resultados obtidos neste trabalho. Janegitz et al. (2010) trabalhando em condições de casa de vegetação também não obtiveram resposta significativa da elevação da saturação por bases até 80% na cultura do crambe. Este resultado não significativo sobre a produtividade não era esperado uma vez que Broch & Roscoe (2010) descrevem o crambe como uma planta sensível a acidez do solo, tendo sua produtividade severamente prejudicada quando há presença de alumínio trocável e baixos níveis de Ca e Mg. Ocorre que neste experimento a soma dos níveis de Ca e Mg do solo utilizado era igual a  $2,3 \text{ (cmol}_c \text{ dm}^{-3})$ , isso associado ao fato de as produtividades terem sido baixas e também ao fato da ausência de alumínio tóxico, deve ter contribuído para que os níveis de saturação por bases não tenham sido significativos.

Na avaliação do efeito dos tratamentos no teor de óleo do crambe a análise estatística não mostrou efeito significativo para nitrogênio nem para a interação (V% x N) (Anexo 2), porém para saturação por bases do solo, a análise de variância da regressão foi altamente significativa para o modelo linear (Figura 4.8). Estes resultados estão de acordo com os obtidos para outras oleaginosas na literatura. Smiderle & Costa, (2010) trabalharam com saturações por bases do solo que foram de 30 a 75% e obtiveram incremento linear do teor de óleo do girassol.



**Figura 4.8.** Teor de óleo de grãos de crambe (%) em função da elevação da saturação por bases do solo (V%). Médias de 12 repetições. CV(%)= 1,83.

Outros autores também já relataram não terem encontrado efeito da adição de nitrogênio no teor de óleo de oleaginosas. Dreccer et al. (2000) relataram que, trabalhando com uma oleaginosa da mesma família do crambe, a colza (*Brassica napus*) não obtiveram efeito significativo da adição de nitrogênio no teor de óleo. Em um trabalho de revisão de Rathke et al. (2006), estes autores relatam que os para a cultura da colza os resultados mais recorrentes mostram que com a aplicação de nitrogênio ocorre, frequentemente, um aumento do rendimento de grãos e proteínas e uma diminuição do teor de óleo. Estes autores mostram em seu trabalho, que para a cultura da colza, existe uma correlação inversa, principalmente entre o teor de proteína e o teor de óleo. Na cultura do crambe Brito (2009) confirma estes resultados. Em um experimento em solução nutritiva este autor observou que a adição de doses mais elevadas de nitrato reduziu o teor de óleo em relação ao observado na testemunha. Desta forma, quando uma oleaginosa é adubada com doses elevadas de nitrogênio, eleva-se os teores do nutriente nos tecidos reduzindo a síntese de óleos, favorecendo a rota metabólica de acúmulo de proteínas nos aquênios (Castro et al., 1999).

### 4.3.2 Efeito da saturação por bases e doses de fósforo

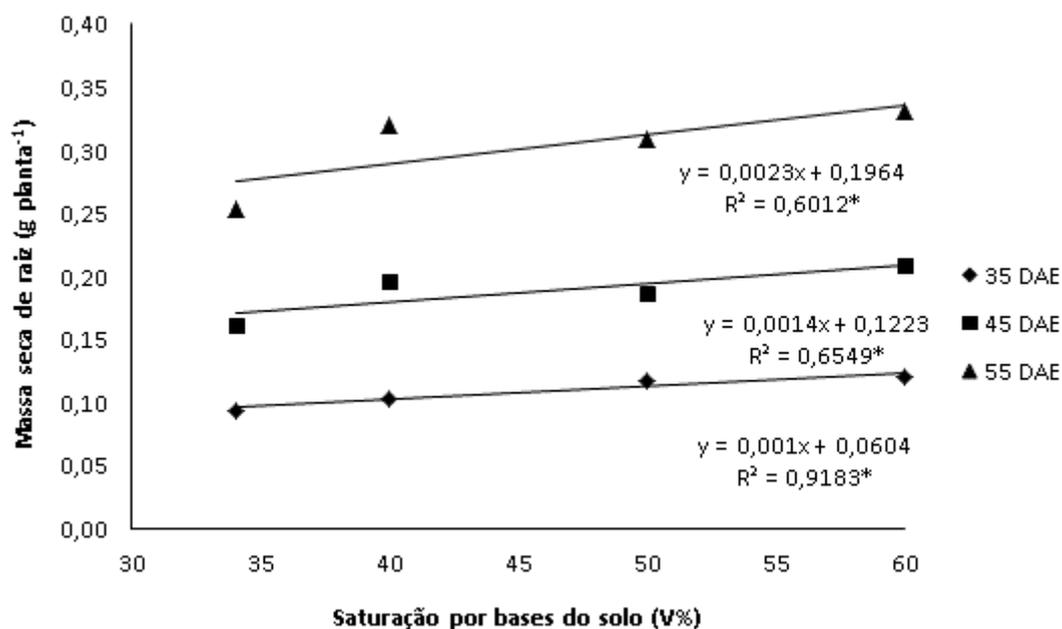
As doses de fósforo influenciaram o desenvolvimento do sistema radicular nas três épocas avaliadas. Em todas as épocas de coletas o desenvolvimento do sistema radicular das plantas de crambe foi significativamente maior quando estas receberam a maior dose de fósforo ( $80 \text{ kg ha}^{-1}$ ), em comparação com a testemunha, mostrando que esta cultura responde bem a adubação fosfatada durante seu desenvolvimento vegetativo (Tabela 4.4). Este resultado já era esperado uma vez que a adubação fosfatada em quantidades adequadas para a planta estimula o desenvolvimento radicular, garante uma arrancada vigorosa, apressa a maturação fisiológica, estimula o florescimento, ajuda a formação das sementes, aumenta a resistência ao frio dos cereais e também aumenta a produtividade (Malavolta, 1989). Alves et al. (2010b) em trabalho realizado em casa de vegetação também obtiveram efeito significativo da adição de doses de fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) de até  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  na cultura do crambe.

**Tabela 4.4.** Massa seca de raiz de crambe ( $\text{g planta}^{-1}$ ) em função de doses de fósforo e colhidas em diferentes épocas. Médias de dezesseis observações.

Fósforo ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	Época de coleta (DAE)		
	35	45	55
Testemunha	0,083 b	0,156 b	0,257 b
40	0,1068 b	0,189 ab	0,296 ab
80	0,135 a	0,219 a	0,356 a
CV (%)	29,02	23,83	24,92

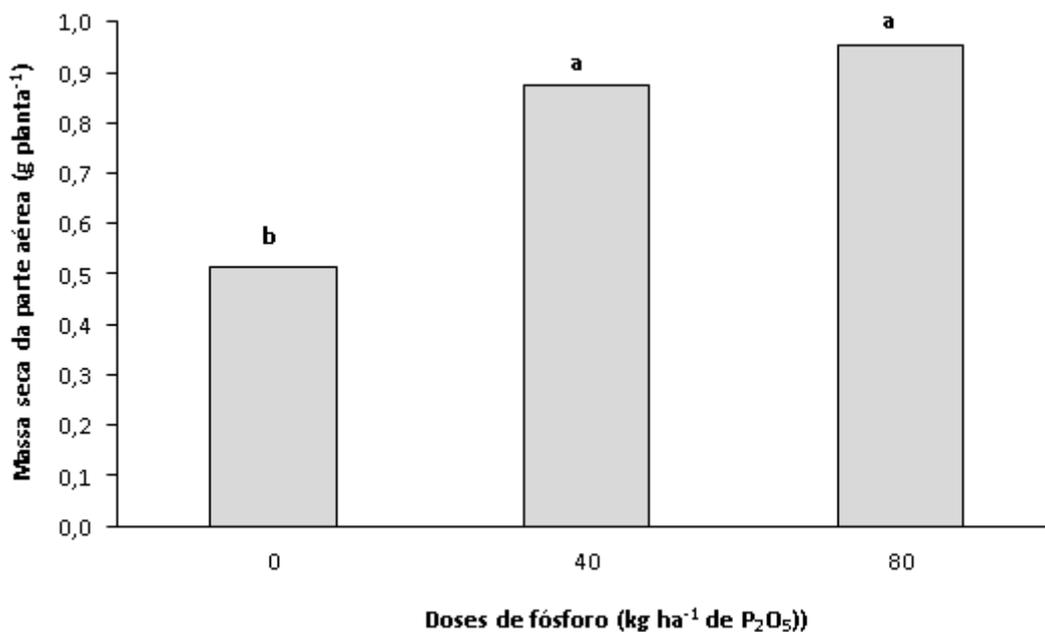
Médias seguidas de mesma letra, na mesma época de coleta, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Na avaliação do efeito da elevação da saturação por bases do solo no desenvolvimento do sistema radicular do crambe, a análise de regressão mostrou efeito significativo para o modelo linear nas três épocas de coleta (35, 45 e 55 DAE) (Figura 4.9). Estes resultados confirmam os obtidos quanto a avaliação do efeito da elevação da saturação por bases do solo no experimento de nitrogênio mostrando que o desenvolvimento vegetativo desta cultura responde a calagem do solo.



**Figura 4.9.** Massa seca de raiz de crambe (g planta<sup>-1</sup>) em função da elevação da saturação por bases do solo (V%) e coletadas em diferentes épocas. \*: significativo ( $p \leq 0,05$ ). Médias de 12 observações.

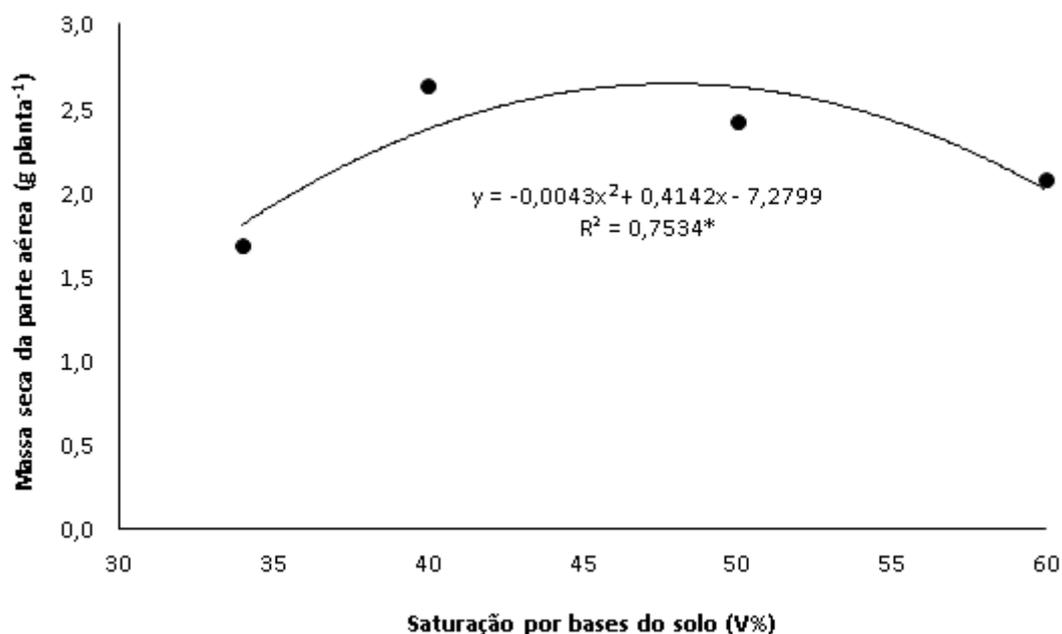
A massa seca da parte aérea afetada pela elevação da saturação por bases e pelas doses de fósforo. A análise estatística para doses de fósforo foi significativa apenas para a primeira coleta (35 DAE) (Anexo 2). Na primeira época de coleta de plantas a adição de 40 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo elevou significativamente a massa seca da parte aérea do crambe, porém, não diferiu da dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo (Figura 4.10).



**Figura 4.10.** Massa seca da parte aérea de crambe (g planta<sup>-1</sup>) em função de doses de fósforo e colhida aos 35 dias após a emergência (DAE). Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Médias de dezesseis observações. CV(%)= 29,16.

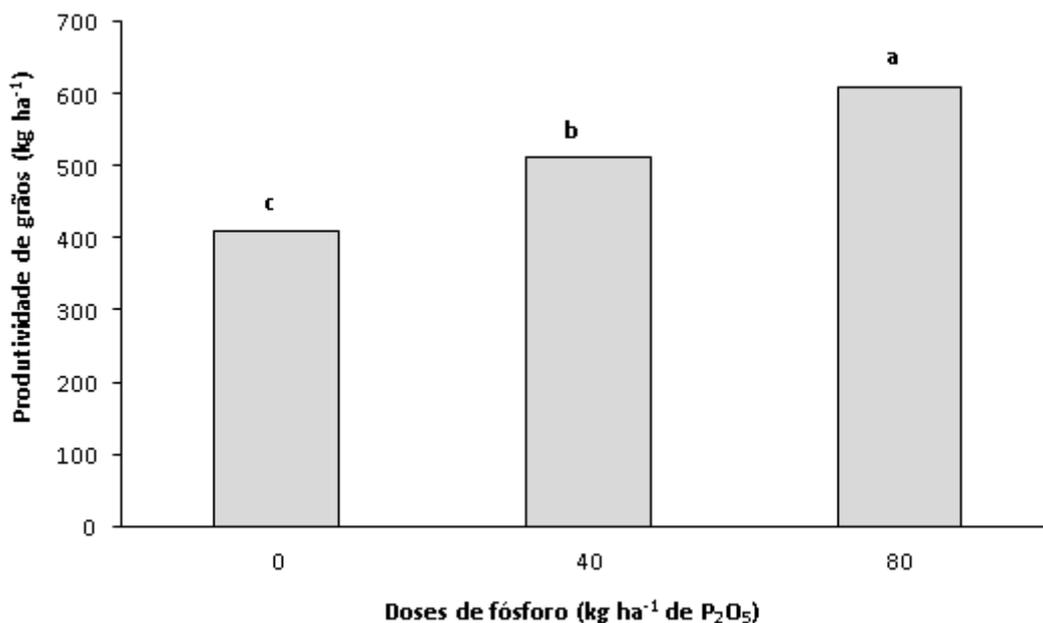
Na segunda época de coleta de plantas (45 DAE) os níveis de saturação por bases do solo influenciaram, de forma quadrática, o desenvolvimento da parte aérea (Figura 4.11) e o ponto de máxima da equação de regressão para a saturação por bases foi 48,16%.

Freitas (2010) utilizando Latossolo Vermelho Distroférico não obteve resposta significativa da adição de até 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no desenvolvimento da massa seca da parte aérea. Porém, segundo Ribeiro et al. (1999) o solo que este autor utilizou continha um teor de fósforo no solo muito elevado 23,6 mg dm<sup>-3</sup> de fósforo e, provavelmente devido a isso, não encontrou resposta, como eles mesmos comentam em seus resultados. Silva et al. (2011) também trabalhando em um Latossolo não encontrou resposta da adição de até 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no desenvolvimento da massa seca da parte aérea, mesmo em um solo com teor baixo de fósforo (3,2 mg dm<sup>-3</sup>).



**Figura 4.11.** Massa seca da parte aérea de crambe ( $\text{g planta}^{-1}$ ) em função da elevação da saturação por bases do solo (V%) e colhida aos 45 dias após a emergência (DAE). Médias de doze observações. CV(%)= 34,12.

Na avaliação da produtividade a análise estatística mostrou efeito significativo das doses de fósforo empregadas e também para a elevação dos níveis de saturação por bases do solo, porém não houve significância para a interação (V% x P) (Anexo 2). A adição de doses de fósforo ( $40$  e  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), elevaram significativamente a produtividade do crambe em relação a testemunha em  $25,3\%$  e  $48,6\%$ , respectivamente (Figura 4.12). Pelo comportamento observado, nas condições em que o trabalho foi desenvolvido é provável, que para a produtividade de grãos, esta cultura responda a doses mais elevadas de fósforo do que as utilizadas neste trabalho, o que precisa ser confirmado.



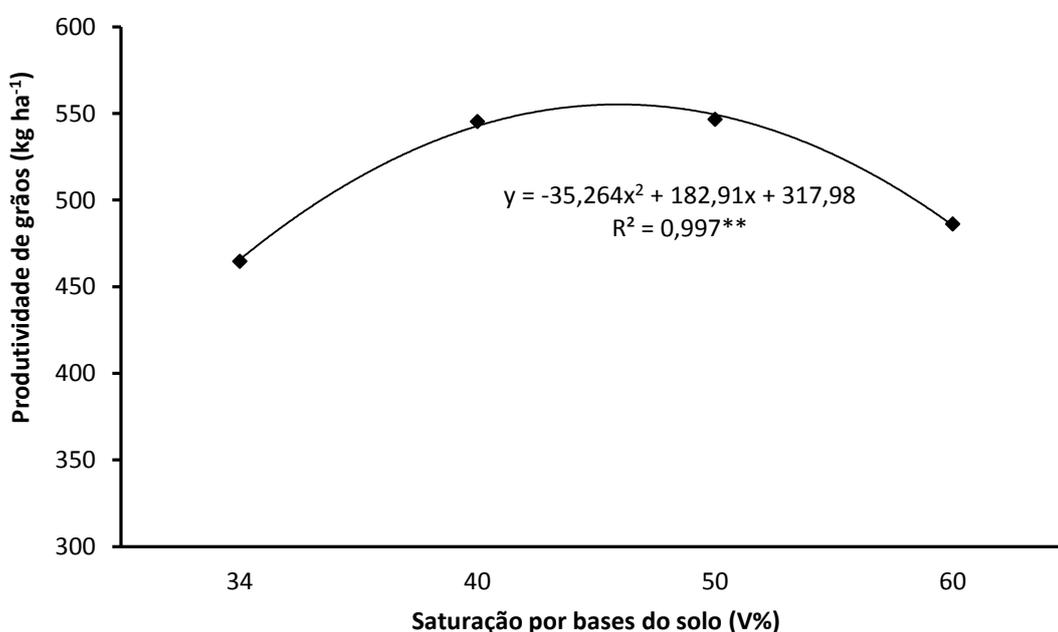
**Figura 4.12.** Produtividade de grãos de crambe (kg ha<sup>-1</sup>) em função de doses de fósforo. Médias de dezesseis observações. CV(%)= 14,12. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

Os resultados obtidos neste trabalho não estão de acordo com os obtidos por Lunelli (2012). Este autor, utilizando 68 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> não obteve resposta significativa sobre a produtividade do crambe. Porém outros autores já obtiveram respostas significativas da adição de fósforo em crambe. Silva et al. (2011) observou efeito significativo linear de adição de até 120 kg h<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> na produtividade de grãos da cultura do crambe. Rogério et al. (2013) em um experimento de dois anos também obteve resposta linear significativa para doses de fósforo de até 90 kg ha<sup>-1</sup> sobre a produtividade de grãos de crambe. Em outras oleaginosas também há relatos de efeito benéfico da adição de fósforo na produtividade de grãos. Na cultura da mamona, Moreira et al. (2012) obtiveram aumentos de produção de grão também lineares com elevação do teor de fósforo estudado. Segundo estes autores, foi observado aumento de 48,6% na produtividade de grãos em função da adição de fósforo. Segundo Severino et al. (2006b) o fósforo é o nutriente de maior importância para o aumento de produtividade e teor de óleo da mamoneira.

O teor de fósforo do solo utilizado neste trabalho é baixo e de acordo com Malavolta et al. (1997), o fósforo está ligado com a síntese de proteínas, a produção de

óleos e gorduras, as estruturas que formam tais como fosfolípidos que estão presentes em várias partes da célula, então isso é uma possível explicação para a obtenção do efeito significativo da adição de fósforo na cultura do crambe neste trabalho.

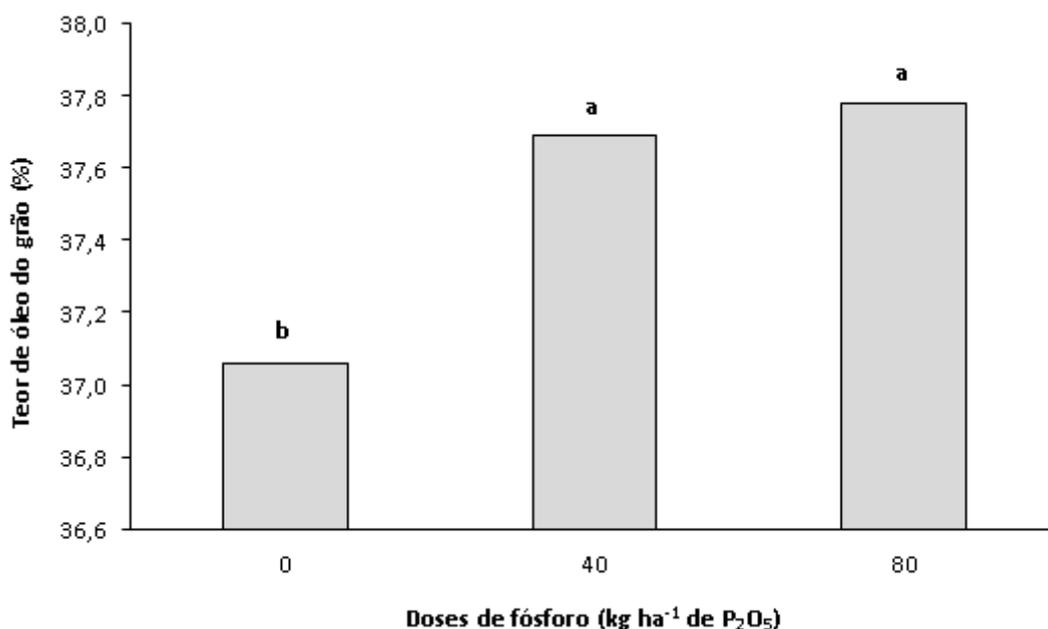
A produtividade de grãos foi influenciada de forma quadrática pelos níveis de saturação por bases do solo. Isso mostra que para a cultura do crambe é necessário a elevação da saturação por bases para que esta cultura possa expressar seu potencial produtivo, mas que, elevações superiores a 50 % podem ser prejudiciais ao desenvolvimento vegetativo, com reflexos negativos na produtividade de grãos (Figura 4.13). O ponto de máxima da equação de regressão para a saturação por bases foi 47,48%.



**Figura 4.13.** Produtividade de grãos de crambe (kg ha<sup>-1</sup>) em função da elevação da saturação por bases do solo (V%). Médias de doze observações. CV(%)= 14,12.

O teor de óleo também foi influenciado pela elevação da saturação por bases do solo e pelas doses de fósforo aplicadas, porém a interação (V% x P) não foi significativa (Anexo 2). A adição das doses de fósforo elevou significativamente o teor de óleo dos grãos em relação a testemunha, porém entre as doses de 40 kg ha<sup>-1</sup> e 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> não houve diferença significativa, (Figura 4.14). Nas parcelas testemunha, o teor médio de óleo dos grãos observado foi de 37,05%, e quando foi aplicada a dose de 40 kg

ha<sup>-1</sup> de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), o teor de óleo do grão foi elevado para 37,69% ocasionando um aumento de 1,72%. É um aumento numericamente pequeno, mas que pode ter grande influência na produção de óleo, caso as quantidades esmagadas para obtenção de óleo forem, no futuro, parecidas com as quantidades hoje esmagadas de soja. Desta forma, com vistas possibilitar que o crambe expresse todo seu potencial produtivo de óleo é importante o manejo adequado da adubação de fósforo.

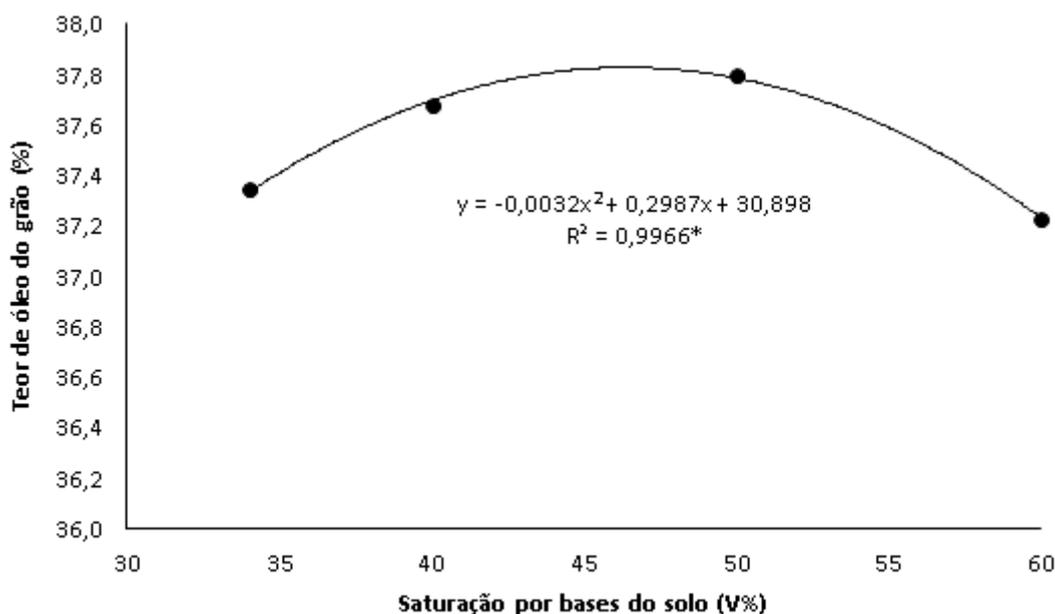


**Figura 4.14.** Teor de óleo de grãos de crambe (%) em função das doses de fósforo. Médias de dezesseis repetições. CV(%)= 1,82. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

Estes resultados não estão de acordo com os obtidos por Rogério et al. (2013). Estes autores não observaram resposta da adição de até 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em nenhum dos dois anos de cultivo do crambe. Entretanto, outros autores já obtiveram efeito significativo da adição de fósforo no teor de óleo de oleaginosas. Silva et al. (2011) que também obteve efeito linear da aplicação de doses de fósforo no teor de óleo do crambe. Na cultura da mamona Severino et al. (2006a) obtiveram efeito linear até 120 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo. Estes autores descrevem que foi observado um consistente aumento do teor de óleo nas sementes da mamoneira em resposta à aplicação das doses de fósforo e que entre a testemunha e a

dose de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de fósforo, o teor de óleo do grão aumentou de 47,6 para 50,2%, ou seja um aumento de 5,5%.

A análise de variância da regressão para os níveis de saturação por bases do solo no teor de óleo do grão mostrou significância, apenas, para o modelo quadrático (Anexo 2). O ponto de máxima da equação de regressão para a saturação por bases foi de 46,67%. Observou-se neste trabalho que a elevação da saturação por bases do solo até 50% aumentou o teor de óleo dos grãos de crambe, porém, elevações maiores, nas condições em que este trabalho foi feito, reduziu o teor de óleo a valores inferiores aos observados na testemunha (Figura 4.15). Nas parcelas testemunha, o teor médio de óleo dos grãos observado foi de 37,34%, e quando a saturação por bases do solo foi elevada para 50% o teor de óleo do grão foi elevado para 37,80% ocasionando um aumento de 1,23%. Estes resultados mostram que o teor de óleo dos grãos do crambe é uma característica influenciável pela saturação por bases do solo, e que é necessário o manejo correto desta planta para que a produção máxima de óleo possa ser obtida.



**Figura 4.15.** Teor de óleo dos grãos de crambe (%) em função da elevação da saturação por bases do solo (V%). Médias de doze observações. CV(%)= 1,82. \*: Significativo ( $P \leq 0,05$ ).

### 4.3.3 Efeito da saturação por bases e doses de potássio

Na avaliação do efeito da elevação da saturação por bases do solo e aplicação de doses de potássio no desenvolvimento da massa seca de raiz de crambe foi observado efeito apenas para as doses de potássio na primeira época de coleta (35 DAE) e para o modelo linear na análise de variância da regressão para a elevação da saturação por bases do solo na primeira e na segunda época de coleta de plantas (35 e 45 DAE) (Anexo 2). Na primeira época de coleta de plantas a aplicação da dose de 80 kg ha<sup>-1</sup> de potássio (K<sub>2</sub>O), diferiu significativamente da testemunha.

**Tabela 4.5.** Massa seca de raiz de crambe (g planta<sup>-1</sup>) em função de doses de potássio e colhidas em diferentes épocas. Médias de dezesseis observações.

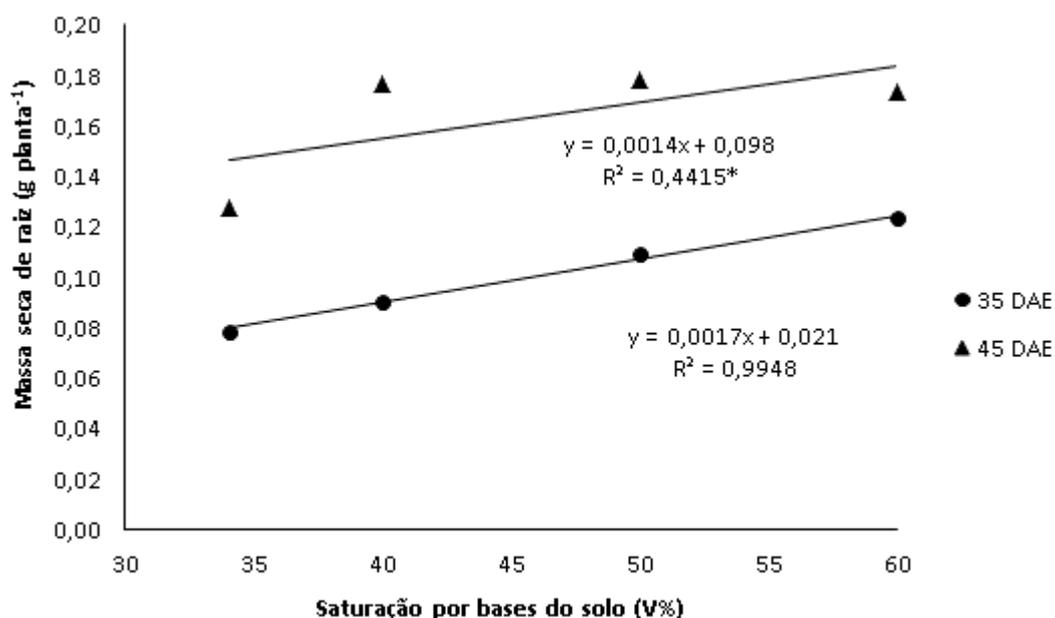
Potássio (kg ha <sup>-1</sup> )	Época de coleta (DAE)		
	35	45	55
Testemunha	0,08 b	0,16	0,26
40	0,10 ab	0,16	0,25
80	0,12 a	0,18	0,27
CV (%)	33,84	28,82	44,11

Médias seguidas de mesma letra, na mesma época de coleta, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P ≤ 0,05).

A comparação desse resultado com a literatura é dificultada uma vez que é muito pequeno o número de publicações que estudaram o efeito da adubação mineral de potássio no desenvolvimento do crambe, especialmente referindo-se ao desenvolvimento do sistema radicular. Segundo Werner (1984), para as leguminosas, a deficiência do potássio, além de afetar o crescimento da planta, diminui a nodulação, afetando a fixação de nitrogênio. Na literatura Krolow et al. (2004), diferente dos resultados obtidos neste trabalho, não encontraram resposta da aplicação de doses de potássio na massa seca de raiz de leguminosas (*Trifolium resupinatum* L. cv. Kyambro (trevo-persa), *Trifolium subterraneum* L. cv. Woogenellup e *Lotus subbiflorus* Lag. cv. El Rincón). Mas, diferente deste trabalho, estes autores utilizaram um solo onde os teores de potássio era de 95,75 mg

$\text{dm}^{-3}$ , considerado bom segundo Ribeiro et al. (1999) e provavelmente é este o motivo de que não tenham encontrado resposta.

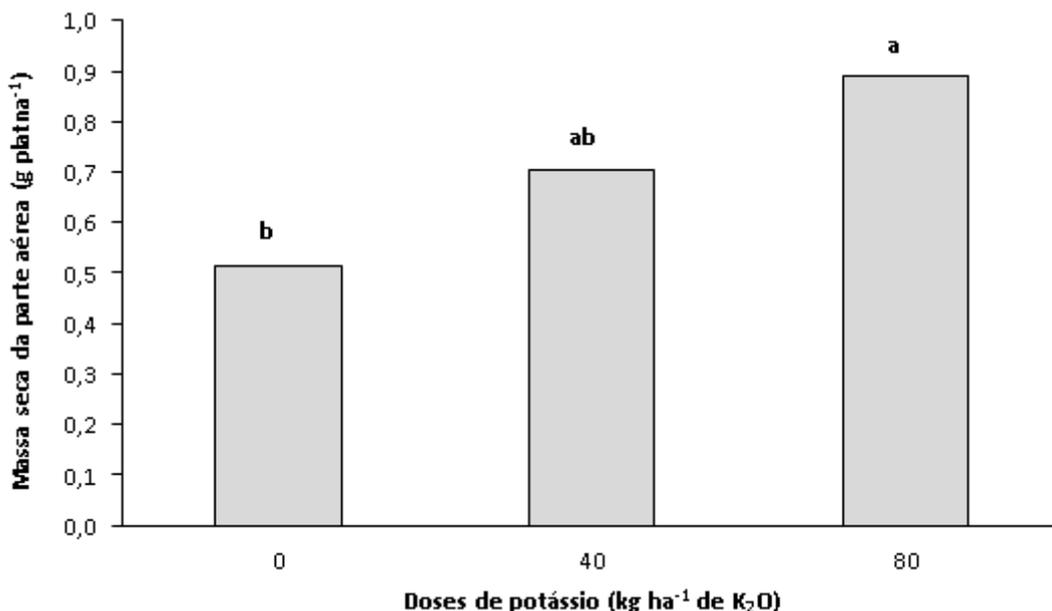
Na avaliação do efeito da elevação da saturação por bases do solo no desenvolvimento do sistema radicular do crambe, a análise de regressão mostrou efeito significativo para o modelo linear, como pode ser visualizado no (Anexo 2), para as duas primeiras épocas de coleta (35 e 45 DAE) (Figura 4.16). Conforme visto nos experimentos para avaliação do efeito de (V% e N; V% e P), estes resultados confirmam que a elevação da saturação por bases do solo melhora o desenvolvimento do sistema radicular do crambe.



**Figura 4.16.** Massa seca de raiz de crambe ( $\text{g planta}^{-1}$ ) em função da elevação da saturação por bases do solo (V%) e coletadas aos 35 e aos 45 dias após a emergência (DAE). \*: significativo ( $p \leq 0,05$ ). \*\*: Significativo ( $P \leq 0,01$ ). Médias de 12 observações.

Na primeira época de coleta (35 DAE) o desenvolvimento da massa seca da parte aérea foi influenciado pelas doses de potássio e pela elevação da saturação por bases do solo de forma linear. Na segunda época de coleta (45 DAE), este parâmetro só foi influenciado pela elevação da saturação por bases do solo, e de forma quadrática. A interação (V% x K) não foi significativa em nenhuma época de avaliação. Na primeira época de coleta de plantas a adição de  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de potássio elevou significativamente a

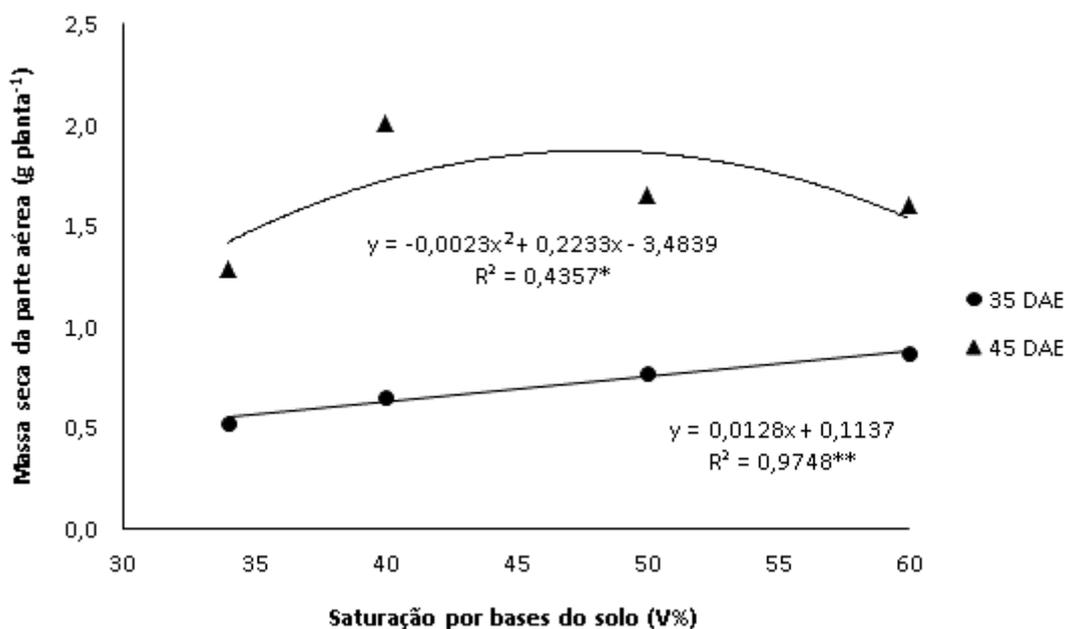
massa seca da parte aérea do crambe em relação a testemunha, porém, não diferiu da dose de 40 kg ha<sup>-1</sup>.



**Figura 4.17.** Massa seca da parte aérea de crambe (g planta<sup>-1</sup>) em função das doses de potássio e colhidas aos 35 dias após a emergência (DAE). Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Médias de dezesseis observações. CV(%)= 37,66.

Estes resultados não confirmam os obtidos por Santos et al. (2012) e Freitas, (2010). Provavelmente estes autores não encontraram respostas de doses de potássio na cultura do crambe porque trabalharam em um solo que continham no solo teores de potássio que variaram de 0,41 a 0,74 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> o que pode ser classificado como um valor alto segundo Sousa & Lobato (2004). Em condições de solo com teores mais baixos desse nutriente é provável a obtenção de respostas significativas, como foi o caso deste trabalho.

Para a massa seca da parte aérea da primeira coleta (35 DAE), a análise de variância da regressão foi altamente significativa para o modelo linear e para a avaliação da segunda época de coleta (45 DAE) foi significativa para o modelo quadrático. O ponto de máxima da equação de regressão para a saturação por bases foi de 48,54%.



**Figura 4.18.** Massa seca da parte aérea de crambe ( $\text{g planta}^{-1}$ ) em função da elevação da saturação por bases do solo (V%) e colhida aos 35 e aos 45 dias após a emergência (DAE). Médias de doze observações. \*: Significativo ( $P \leq 0,05$ ). \*\*: Significativo ( $P \leq 0,01$ ).

Janegitz et al. (2010), também encontraram resposta da elevação da saturação por bases no desenvolvimento da massa seca da parte aérea. Estes autores também observaram que no maior nível de saturação por bases estudado por eles ( $V\%=80$ ) a massa seca da parte aérea obtida ( $17,1 \text{ g planta}^{-1}$ ) foi significativamente menor que a  $V\%=50$  onde foi observado ( $17,1 \text{ g planta}^{-1}$ ). Estes resultados confirmam que a cultura do crambe responde a elevação da saturação por bases, mas que saturações maiores que 50% podem prejudicar o desenvolvimento desta cultura.

No experimento para avaliação do efeito de doses de potássio na produtividade do crambe as produtividades também foram baixas em relação ao descrito na literatura como já foi comentado na avaliação do efeito do nitrogênio na produtividade do crambe. A maior produtividade observada foi de  $580 \text{ kg ha}^{-1}$ , que é 56% maior do que a obtida pela testemunha ( $372 \text{ kg ha}^{-1}$ ) (Tabela 4.6). A análise estatística da produtividade de grãos mostrou efeito significativo para interação ( $V\% \times K$ ). A adição da dose de potássio de  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  elevou significativamente a produtividade de grãos das plantas de crambe em relação a testemunha em todos os níveis de saturação por bases do solo, com exceção

da saturação por bases de 50%, onde não foi observado efeito das doses de potássio (Tabela 4.6). A análise de variância da regressão para a elevação da saturação por bases, não foi significativa para nenhum modelo em nenhuma das doses de potássio aplicadas. Mesmo com as produtividades baixas observadas neste experimento a adição das doses de potássio influenciou fortemente a produtividade do crambe, estes resultados evidenciam que a calibragem da dose correta de potássio é muito importante para esta cultura para maximizar a produtividade de grãos. Em condições de produtividades de grãos mais elevadas é possível que esta cultura tenha potencial para responder a doses mais elevadas desse nutriente, superiores às avaliadas neste trabalho.

**Tabela 4.6.** Produtividade de grãos de crambe ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) em função da elevação da saturação por bases do solo (V%) e doses de potássio. Médias de quatro observações. CV(%)=16,06.

Saturação por Bases (V%)	Doses de potássio ( $\text{kg ha}^{-1}$ )		
	Testemunha	40	80
34	372 b	452 ab	514 a
40	410 b	529 ab	552 a
50	473 a	547 a	580 a
60	385 b	498 ab	560 a

Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Santos et al. (2012) e Santos et al. (2013) que encontraram resposta linear da aplicação de doses de potássio de até  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $\text{K}_2\text{O}$ ), mesmo em solo com teor elevado deste nutriente ( $0,41 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ). Em outras oleaginosas também já foram relatados efeitos significativo da adição de doses de potássio na produtividade de grãos. Borkert et al. (1993) relata um aumento na produtividade de grão na cultura de soja em função da adição de doses crescentes de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) aplicadas a lanço ou no sulco de semeadura. Segundo Broch & Roscoe, (2010) a cultura do crambe apresenta respostas moderadas a adubação com potássio que podem ser observadas apenas quando a adubação for realizada em solos com teores baixos desse nutriente. De acordo com o observado tanto por Santos et al. (2012) como também por este trabalho, a produtividade da cultura do crambe é influenciada pelas doses de

potássio aplicadas, mesmo em condições onde os teores desse elemento não estão baixos no solo.

As doses de potássio empregadas não influenciaram o teor de óleo dos grãos do crambe e a análise de variância da regressão para a elevação da saturação por bases do solo foi significativa apenas para o modelo cúbico (Anexo 2).

**Tabela 4.7.** Teor de óleo dos grãos de crambe (%) em função da elevação da saturação por bases do solo (V%) e doses de potássio. Médias de quatro observações. CV(%)=1,73.

Saturação por Bases (V%)	Doses de potássio (kg ha <sup>-1</sup> )		
	Testemunha	40	80
34	36,40	37,92	37,90
40	37,07	36,80	36,87
50	37,70	37,72	37,72
60	37,05	37,20	37,12

#### 4.4 CONCLUSÕES

- A adição das doses de nitrogênio influenciou o desenvolvimento radicular, da parte aérea e a produtividade do crambe e a melhor dose foi 40 kg ha<sup>-1</sup>;
- A adição das doses de fósforo influenciou o desenvolvimento da raiz e da parte aérea, produtividade e o teor de óleo do crambe e a melhor dose foi 80 kg ha<sup>-1</sup>.
- O potássio influenciou pouco no desenvolvimento da raiz e parte aérea e também influenciou a produtividade de grãos e a melhor dose foi 40 kg ha<sup>-1</sup>;
- A saturação por bases influenciou o desenvolvimento da raiz e da parte aérea, a produtividade e o teor de óleo do crambe e o melhor nível de saturação por bases foi 50%.

#### 4.5 REFERÊNCIAS

ALVES, J. M.; VIEIRA, L. F.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. A. L.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. P.; FERNANDES, E. P. Doses de nitrogênio no desenvolvimento vegetativo e produtividade do crambe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 36., 2010, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: SBCS, 2010a. 1 CD-ROM.

ALVES, J. M.; MACHADO, A. L. P.; LEANDRO, W. M.; VIEIRA, L. F.; LIMA, L. B. Doses de fósforo no desenvolvimento vegetativo e produtividade do crambe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 36., 2010, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: SBCS, 2010b. 1 CD-ROM.

CAMARGO, F. P.; LAZARINI, E.; VAZQUEZ, G. H.; PICOLE, P. R. F.; MARCANDALLI, L. H.; HAYASHI, F. K. Massa seca, acúmulo de nutrientes e produtividade de crambe em função da adubação de semeadura. In: FertBio, 2010, Guarapari – ES. **Anais...** Guarapari: 2010. 1 CD-ROM.

BORKERT, C. M.; SFREDO, G. J.; da SILVA, D. N. Calibração de potássio trocável para soja em Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 17, n. 2, p. 223-226, 1993.

BROCH, D. L.; ROSCOE, R. Fertilidade do solo, adubação e nutrição do crambe. In: PITOL, C.; BROCH, D. L.; ROSCOE, R. (Ed.). **Tecnologias e produção: crambe 2010**. 1. Ed. Maracaju: FUNDAÇÃO MS, 2010. v. 1, cap. 4, p. 22-36.

CARLSSON, A. S.; CLAYTON, D.; SALENTIEN, E.; TOONEN, M. **Oil Crop Platforms For Industrial Uses**. New York. Cplpress. 2007. 158 p.

CASTRO, C.; BALLA, A.; CASTIGLIONI, V. B. R.; SFREDO, G. Levels and methods of nitrogen supply for sunflower. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 827-833, 1999.

BRITO, D. M. C. **Aspectos do metabolismo de plantas de crambe (*Crambe abyssinica*) submetidas a diferentes doses de nitrogênio visando a produção de óleo para biodiesel.** 2009. 64 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.

CARVALHO, K. S.; SILVA, E. M. B.; CABRAL, C. E. A.; LEITE, N.; KOETZ, M. Crambe cultivado em latossolo do cerrado submetido à calagem. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 552-558, 2012.

DRECCER, M.F.; SCHAPENDONK, A. H. C .M.; SLAFER, G. A.; RABBINGE, R. Comparative response of wheat and oilseed rape to nitrogen supply: absorption and utilization efficiency of radiation and nitrogen during the reproductive stages determining yield. **Plant and Soil**, New York, v. 220, n. 1-2, p. 189–205, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas.** Lavras: ESAL-FAEPE, 1994. p.227.

FALASCA, S. L.; FLORES, N.; 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**, Miami, v. 35, n. 11, p. 5808–5812, 2010.

FREITAS, M. E. **Comportamento agrônômico da cultura do crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) em função do manejo empregado.** 2005. 42 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2010.

HEINZ, R.; GARBIATE, M. V.; NETO, A. L. V.; MOTA, L. H. S.; CORREIA, A. M. P.; VITORINO, A. C. T. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de crambe e nabo forrageiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 9, 2011.

JANEGITZ, M. C.; SOUZA-SCHLICK.; TROPALDI, L.; CARDOSO, S. M. Influência da saturação por bases no crescimento e produção de crambe. **Cultivando o Saber**, Cascavel, n. 4, p.175-182, 2010.

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, v. 25, n. 4, p. 141-153, 2010a.

JASPER, S. P; BIAGGIONI, M. A. M; SILVA, P. R. A; SEKI, A. S; BUENO, O. C. Análise energética da cultura do crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) produzida em plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 395-403, 2010b.

KNIGHTS, E. G. **Crambe**: A North Dakota case study. *Dakota*, v. 02/005, p. 25, 2002.

KROLOW, R. H.; MISTURA, C.; COELHO, R. W.; SIEWERDT, L.; ZONTA, E. P. Efeito do fósforo e do potássio sobre o desenvolvimento e a nodulação de três leguminosas anuais de estação fria. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 2224-2230, 2004.

LARA CABEZAS, W.A.R; KORNDORFER, G. H; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> na cultura de milho: II. Avaliação de fontes sólidas e fluídas em sistema de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 489-496, 1997.

LAZZERI, L.; LAPENTA, E.; SANTANGELO, E.; MALAGUTI, L.; VENTRELLA, D.; PINHEIRO, M. *Crambe abyssinica* Hochst ex R.E. Fries: agronomic performance and oil quality in three locations in Italy. **Agricultura Mediterranea**, Thessaloniki, v. 125, p. 251-266, 1995.

LUNELLI, I. E. **Efeitos de arranjos nutricionais de NPK na produtividade de grãos e rendimento de óleo da cultura do crambe**. 2012. 40 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

- MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres 1989. 304p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: Princípios e aplicações**. Piracicaba, Potafos, 1997. 308p.
- MARSCHENER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed.London: Academic Press, 1995.889p.
- MOREIRA, M. A.; ALVES, J. M.; OLIVEIRA, A. B.; MEDEIROS, F. A. Crescimento e produção da mamoneira em função de fósforo e boro. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 5, n. 2, p. 98-108, 2012.
- OLIVEIRA, I. P.; ARAÚJO, R. S.; DUTRA, L. G. **Nutrição mineral e fixação biológica de nitrogênio**. In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. *Cultura do feijoeiro comum no Brasil*. Piracicaba: Potafós, 1996, p. 169-216.
- PANNO. G.; PRIOR. M. Avaliação de substratos para a germinação de crambe (*Crambe abyssinica*). **Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 2, n. 2, p. 151-157, 2009.
- PITOL, C.; BROCH, D. L.; ROSCOE, R. Época, espaçamento e densidade de plantio. In: PITOL, C.; BROCH, D. L.; ROSCOE, R. (Ed.). **Tecnologias e produção: crambe 2010**. 1. Ed. Maracaju: FUNDAÇÃO MS, 2010. v. 1, cap. 3, p. 10-21.
- RATHKE, G. W; BEHRENS, T; DIEPENDBROCK, W. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Zürich, v. 117, n. 2, p. 80-108, 2006.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. Aproximação**. Viçosa - MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.

ROGÉRIO, F.; SANTOS, J. I.; SILVA, T. R. B.; MIGLIAVACCA, R. A.; GOUVEIA, B.; BARBOSA, M. C. Efeito de doses de fósforo no desenvolvimento da cultura do crambe. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, Supplement. 1, p. 251-255, 2012.

ROGÉRIO, F.; SILVA, T. R. B.; SANTOS, J. I. S.; POLETINE, J. P. Phosphorus fertilization influences grain yield and oil content in crambe. **Industrial Crops and Products**, Fargo, v. 41, n. 2, p. 266– 268, 2013.

ROSCOE, R.; PITOL, C.; BROCH, D. L. Necessidades climáticas e ciclo da cultura. In: PITOL, C.; BROCH, D. L.; ROSCOE, R. (Ed.). **Tecnologias e produção: crambe 2010**. 1. Ed. Maracaju: FUNDAÇÃO MS, 2010. v. 1, cap. 2, p. 07-21.

SANTOS, J. I.; ROGERIO, F.; MIGLIAVACCA, R. A.; GOUVEIA, B.; BARBOSA, M. C. Efeito da adubação potássica na cultura do crambe. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 346-350, 2012.

SANTOS, J. I.; SILVA, T. R. B.; ROGÉRIO, F.; SANTOS, R. F.; SECCO, D. Yield response in crambe to potassium fertilizer. **Industrial Crops and Products**, Fargo, v. 43, n. 1, p. 297-300, 2013.

SEVERINO, L.S.; FERREIRA, G.B.; MORAES, C.R.A.; GONDIM, T.M.S.; FREIRE, W.S.de A.; CASTRO, D.A.; CARDOSO, G.D.; BELTRÃO, N. E. M. Crescimento e produtividade da mamoneira adubada com macronutrientes e micronutrientes: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, 2006a.

SEVERINO, L.S.; FERREIRA, G.B.; MORAES, C.R.A.; GONDIM, T.M.S.; BELTRÃO, N.E.M. Produtividade e crescimento da mamoneira em resposta à adubação orgânica e mineral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 879-882, 2006b.

SILVA, T. R. B.; LAVAGNOLLI, R. R.; NOLLA, A. Zinc and phosphorus fertilization of crambe (*Crambe abyssinica* Hochst). **Journal of Food Agriculture & Environment**, Helsinki, v. 9, n. 1, p. 132-135, 2011.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrados: Correção e adubação**. 2. ed. Embrapa Informação tecnológica, Brasília, DF. 2004. 416p.

SOUZA, A. V.; FAVARO, S. P.; ITAVO, L. C. V.; ROSCOE, R. Caracterização química de sementes e tortas de pinhão-manso, nabo-forrageiro e crambe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 10, p.1328-1335, 2009.

SMIDERLE, O. J; COSTA, L. A. M. A. Produtividade e teor de óleo de girassol em plantio direto sob quatro doses de calcário. EMBRAPA, p.19 (**Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** / Embrapa Roraima, 30), 2010.

WERNER, J. C. Adubação de pastagens. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1984. 49p. (**Boletim Técnico**, 18).

WRIGHT, P. A., RANDALL, D. J; WOOD, C. M. The distribution of ammonia and H<sup>+</sup> between tissue compartments in lemon sole (*Parophrys netulus*) at rest, during hypercapnia and following exercise. **J. Exp. Biol. Cambridge**, v. 136, n. 1, p. 149-175, 1988.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adição das doses de nitrogênio influenciaram de forma linear as variáveis avaliadas no experimento conduzido em casa de vegetação, porém este comportamento não se repetiu no experimento em condições de campo. Na condição de campo, na maioria dos níveis de saturações por bases estudadas a adição da dose de  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio reduziu o desenvolvimento vegetativo e a produtividade de grãos mostrando que adubações mais elevadas de nitrogênio não elevam a produtividade do crambe como também pode reduzi-la. Isso indica que novos estudos devem ser conduzidos para se estabelecer a partir de que dose a produtividade começa a decrescer. Outra questão a ser esclarecida é o motivo desta queda de produção com doses elevadas de nitrogênio em condições de campo. Considerando que o teor de proteína do grão sem o pericarpo pode chegar a 50% é importante o entendimento de qual está sendo a fonte do nitrogênio para formar esta proteína. Uma das possibilidades é que haja um eficiente processo de fixação biológica de nitrogênio em ação de forma a garantir o aporte de nitrogênio para a planta, o que precisa ser confirmado. De forma geral, entre as doses avaliadas em condições de campo a que possibilitou os melhores resultados de crescimento vegetativo e produção de grãos e óleo foi a dose de  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de N.

Para as doses de fósforo o comportamento foi semelhante nas condições de casa de vegetação e campo. Em ambos os casos o efeito das doses foi linear tanto para o crescimento vegetativo como para a produção de grão do crambe. Logo, nas condições em que os dois estudos (casa de vegetação e campo) foram desenvolvidos onde o teor de fósforo no solo eram baixos os resultados permitem concluir que a planta de crambe responde a adubação fosfatada, porém não permite o estabelecimento da dose ideal para maximizar a produtividade de grão. Nestas condições, outros estudos com doses mais elevadas devem ser conduzidos para estabelecimento das doses ideais para maximização da produtividade nesta cultura.

Quanto às doses de potássio que foram avaliadas apenas em condições de campo o resultado foi semelhante ao obtido para o fósforo. Houve maior desenvolvimento

de raiz de parte aérea e da produtividade de grão na maior dose avaliada que foi de 80 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Desta forma, foi possível estabelecer que esta cultura responde a adubação potássica, porém não permitiu definir a dose ideal, o que também precisa ser avaliado em experimentos futuros.

Em relação aos micronutrientes avaliados em condições de casa de vegetação o zinco influenciou de forma linear o desenvolvimento vegetativo da parte aérea e a produção de grão por planta. Sendo, então, necessário avaliar em trabalhos futuros sob condições de casa de vegetação e campo, a dose ideal de zinco e concluir o estudo com os demais micronutrientes não avaliados neste trabalho.

A variação dos níveis de saturação por bases do solo influenciou de forma linear o desenvolvimento vegetativo da raiz e da parte aérea em todos os três experimentos conduzidos em condições de campo. Porém, para a produtividade de grão o efeito também foi quadrático, nos três experimentos de campo, com o ponto de máxima calculado segundo as equações entre 46 e 48%, indicando que saturações por bases próximas de 50% são ideais para o crambe nestas condições de cultivo.

Diferente do observado na literatura, aparentemente o crambe não tolerou bem o déficit hídrico ocorrido durante o desenvolvimento deste trabalho. Provavelmente esta resposta pode estar ligada ao fato da restrição hídrica ter sido mais intensa próximo ao período de floração. Como esta cultura é indicada principalmente para o cultivo de safrinha, e nestas condições a ocorrência de veranicos é frequente é importante uma melhor avaliação das necessidades mínimas de precipitação com vistas a garantir produtividades satisfatórias.

## 6 ANEXOS

1. Efeito da adubação mineral na cultura do crambe em condições de casa de vegetação. Tabela de significâncias..... 99
2. Efeito da saturação por bases e adubação mineral na cultura do crambe em condições de campo. Tabela de quadrados médios..... 100

**Anexo 1.** Efeito da adubação mineral na cultura do crambe em condições de casa de vegetação. Tabela de significâncias.

Regressão	Massa seca de Raiz	Massa seca da parte aérea	Peso de grãos	Teor de óleo	
	------(g planta <sup>-1</sup> )-----			(%)	
Nitrogênio	Linear	**	**	**	*
	Quadrática	Ns	ns	ns	ns
	Cúbica	Ns	ns	ns	ns
	CV (%)	14,09	6,16	13,04	9,11
Fósforo	Linear	**	**	**	ns
	Quadrática	Ns	ns	ns	ns
	Cúbica	Ns	*	**	ns
	CV (%)	65,61	16,20	8,19	7,89
Zinco	Linear	ns	**	**	ns
	Quadrática	ns	**	ns	ns
	Cúbica	ns	**	ns	*
	CV (%)	14,80	2,77	7,08	9,94
Boro	Linear	*	ns	ns	ns
	Quadrática	*	ns	ns	ns
	Cúbica	ns	ns	ns	ns
	CV (%)	24,13	9,54	10,36	9,55

ns: não significativo; \*: Significativo ( $P \leq 0,05$ ); \*\*: Significativo ( $P \leq 0,01$ ).

**Anexo 2.** Efeito da saturação por bases e adubação mineral na cultura do crambe em condições de campo. Tabela de quadrados médios.

Nutriente	Desdobramentos	Massa seca de raiz (g planta <sup>-1</sup> )			Massa seca da parte aérea (g planta <sup>-1</sup> )			Produtividade	Teor de óleo
		35 DAE	45 DAE	55 DAE	35 DAE	45 DAE	55 DAE	Kg ha <sup>-1</sup>	(%)
Nitrogênio	N	0,00264*	0,1568**	0,02030 <sup>ns</sup>	0,55648**	0,43499 <sup>ns</sup>	5,1447 <sup>ns</sup>	48203,564**	0,42303 <sup>ns</sup>
	Regressão (V%)	Linear **	Linear**	Linear*	Linear**	Linear*	ns	Quadrát*	Linear**
	Interação (V% x N)	0,00080 <sup>ns</sup>	0,00474**	0,01323 <sup>ns</sup>	0,01338 <sup>ns</sup>	0,94594**	9,177**	8455,921**	0,33412 <sup>ns</sup>
	CV (%)	29,56	19,08	35,46	35,57	25,56	30,33	9,65	1,83
Fósforo	P	0,01094**	0,01565**	0,03972**	0,87488**	1,42877 <sup>ns</sup>	2,943 <sup>ns</sup>	158903,394**	2,51126**
	Regressão (V%)	Linear*	Linear*	Linear*	ns	Quadrát*	ns	Quadrát**	Quadrát*
	Interação (V% x P)	0,00129 <sup>ns</sup>	0,00642*	0,00985 <sup>ns</sup>	0,04029 <sup>ns</sup>	0,95879 <sup>ns</sup>	2,018 <sup>ns</sup>	5282,846 <sup>ns</sup>	0,93904 <sup>ns</sup>
	CV (%)	29,02	23,83	24,92	29,16	34,12	28,22	14,12	1,82
Potássio	K	0,00554*	0,00265 <sup>ns</sup>	0,00072 <sup>ns</sup>	0,56877**	0,25556 <sup>ns</sup>	0,499 <sup>ns</sup>	84024,521**	0,66521 <sup>ns</sup>
	Regressão (V%)	Linear**	Linear*	ns	Linear**	Quadrát*	ns	Quadrát*	ns
	Interação (V% x K)	0,00046 <sup>ns</sup>	0,00480 <sup>ns</sup>	0,00454 <sup>ns</sup>	0,02632 <sup>ns</sup>	0,71900 <sup>ns</sup>	0,740 <sup>ns</sup>	1101,656*	0,82993 <sup>ns</sup>
	CV (%)	33,84	28,82	44,11	37,66	34,67	33,1	16,06	1,73

DAE: Dias após a emergência; ns: não significativo; \*: Significativo ( $P \leq 0,05$ ); \*\*: Significativo ( $P \leq 0,01$ ). Quadrát:Quadrática. ns:não significativo.

