



**VAUVENARGUES LOPES**

**PRODUÇÃO DE BIOMASSA E ANÁLISE QUÍMICA DO  
ÓLEO ESSENCIAL DE *Cymbopogon flexuosus* SOB OMISSÃO  
DE NUTRIENTES E ADUBAÇÃO ORGÂNICA**

**LAVRAS - MG  
2017**

**VAUVENARGUES LOPES**

**PRODUÇÃO DE BIOMASSA E ANÁLISE QUÍMICA DO ÓLEO ESSENCIAL DE  
*Cymbopogon flexuosus* SOB OMISSÃO DE NUTRIENTES E ADUBAÇÃO  
ORGÂNICA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Plantas Medicinais Aromáticas e Condimentares, para obtenção do título de Doutor.

PhD. José Eduardo Brasil Pereira Pinto  
Orientador

Dra. Suzan Kelly Vilela Bertolucci  
Coorientadora

**LAVRAS-MG  
2017**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo próprio autor.

Lopes, Vauvenargues.

Produção de biomassa e análise química do óleo essencial de  
*Cymbopogon flexuosus* sob omissão de nutrientes e adubação  
orgânica / Vauvenargues Lopes. - 2017.

61p. : il.

Orientador(a): José Eduardo Brasil Pereira Pinto.

Coorientador(a): Suzan Kelly Vilela Bertolucci.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Planta medicinal. 2. Adubação orgânica. 3. Omissão de  
nutrientes. I. Pinto, José Eduardo Brasil Pereira. II. Bertolucci,  
Suzan Kelly Vilela. III. Título.

**VAUVENARGUES LOPES**

**PRODUÇÃO DE BIOMASSA E ANÁLISE QUÍMICA DO ÓLEO ESSENCIAL DE  
*Cymbopogon flexuosus* SOB OMISSÃO DE NUTRIENTES E ADUBAÇÃO  
ORGÂNICA**

**BIOMASS PRODUCTION AND CHEMICAL ANALYSIS OF ESSENTIAL OIL OF  
*Cymbopogon flexuosus* UNDER NUTRIENT OMISSION AND ORGANIC  
FERTILIZATION**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Plantas Medicinais Aromáticas e Condimentares, para obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 22 de setembro de 2017.

Dr. Felipe Campos Figueiredo	IFSULDEMINAS/MUZAMBINHO
Dr. Alexandre Alves de Carvalho	UFLA
Dr. Angelo Alberico Alvarenga	EPAMIG
Dr. Manuel Losada Gavilanes	UFLA

PhD. José Eduardo Brasil Pereira Pinto  
Orientador

**LAVRAS-MG  
2017**

*A Deus pela saúde, inteligência disposição que me confia todos os dias*

*À Cida, minha esposa, pela força e companheirismo*

*Aos Professores José Eduardo, Suzan Kelly e o pesquisador Ângelo, pessoas especiais nessa vitória*

*Ao amigo Fátimo Daniel, pela compreensão nos momentos difíceis*

*Aos meus familiares pela admiração e confiança em minha pessoa*

*À Professora de Matemática Nilza, por ser muito fundamental nessa conquista*

*Ao SindUTE-MG, por contribuir de maneira positiva em minha formação política e profissional*

*Aos companheiros de lutas, o Professor Ezequiel Gênises de Rezende e a Professora Marília Garcia*

*Aos meus irmãos, em especial a minha irmã Lídia Lopes Pereira, mulher jovem ainda que está travando uma grande luta*

*Aos meus filhos Maxsuel e Eduarda que tanto amo.*

DEDICO

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Programa de Plantas Medicinais Aromáticas e Condimentares, pela oportunidade concedida para realização do curso de Doutorado.

Aos professores do Departamento de Agricultura da UFLA pelos ensinamentos transmitidos.

A Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais por atender todos pedidos solicitados no decorrer do curso.

À minha esposa por compartilhar este projeto e sempre apoiar nos momentos difíceis nesta empreitada.

De maneira muito especial o professor Dr. José Eduardo Pereira Brasil Pinto pela orientação, paciência, amizade e dedicação; os conhecimentos e experiência por ele repassados foram de grande valia no cumprimento desta etapa e para o meu crescimento profissional, dizendo que os ensinamentos por ele repassados foram muito além do mundo acadêmico.

À minha filha Eduarda Mariana Morais Lopes, pelos os momentos que deixamos de viver juntos em sua infância e sua pré adolescência, que esta conquista seja espelho e sua caminhada.

Obrigado!

## RESUMO GERAL

*Cymbopogon flexuosus* Stapf é uma espécie medicinal pertencente à família Poaceae. O óleo essencial extraído de suas folhas é muito utilizado na indústria alimentícia, farmacêutica, cosmética e de perfumaria. Objetivou-se estudar doses de adubos orgânicos e omissão de macronutrientes da solução nutritiva no crescimento e na produção de constituintes químicos do óleo essencial de *C. flexuosus*. O presente trabalho foi dividido em dois artigos. No primeiro, diferentes doses (0; 30; 60; 90 e 120 t ha<sup>-1</sup>) de esterco bovino, codorna e composto orgânico foram avaliadas. Os adubos orgânicos em diferentes doses alteram o ganho de biomassa seca, o teor, o rendimento e a qualidade do óleo essencial de *C. flexuosus*. A espécie responde positivamente ao aumento de nutrientes no solo tanto em termos de produção de metabolitos secundários como em crescimento. O maior crescimento e rendimento de óleo essencial são obtidos com a adubação entre 60 a 90 t ha<sup>-1</sup> de esterco de codorna. Teor de neral no óleo essencial é aumentado com a utilização de 90 t ha<sup>-1</sup> esterco de codorna e o teor de geranial com 30 e 90 t ha<sup>-1</sup> de composto orgânico. No segundo artigo, estudou-se o efeito da omissão dos macronutrientes no crescimento, diagnose visual, teor e composição química do óleo essencial de *C. flexuosus* em cultivo hidropônico. As omissões de macronutrientes provocaram sintomas visuais de deficiência nutricional, comuns a outras espécies. A ordem de limitação da BST foi K=Mg>N=Ca=P>S. Potássio e magnésio foram os macronutrientes mais limitantes para a produção de biomassa. O maior teor de óleo essencial foi verificado sob omissão de enxofre e o rendimento semelhante à solução completa. A análise química do óleo essencial foi alterada quantitativamente em cultivo hidropônico. A omissão de P e N promoveu aumento dos teores de citral.

Palavras-chave: Capim-limão da Índia. Esterco bovino. Esterco de Codorna. Composto orgânico. Elemento faltante. Hidroponia.

## ABSTRACT

*Cymbopogon flexuosus* Stapf is a medicinal species belonging to the family Poaceae. The essential oil extracted from its leaves is widely used in the food, pharmaceutical, cosmetic and perfumery industries. The objective of this study was to study doses of organic fertilizers and omission of macronutrients in nutrient solution in the growth and production of chemical constituents of essential oil of *C. flexuosus*. The present work was divided in two experiments. In the first, different doses of cattle manure, quail and organic compost were evaluated. Organic fertilizers in different doses change the dry biomass gain, the content, the yield and the quality of the essential oil of *C. flexuosus*. The species responds positively to the increase of nutrients in the soil both in terms of production of secondary metabolites and vegetable growth. The highest growth and essential oil yield is obtained by fertilizing between 60 and 90 t ha<sup>-1</sup> of quail manure. Neral content in the essential oil is increased with the use of 90 t ha<sup>-1</sup> quail manure and geranial content with 30 and 90 t ha<sup>-1</sup> of organic compound. In the second experiment, the effect of omission of macronutrients on growth, visual diagnosis, content and chemical composition of the essential oil of *C. flexuosus* in hydroponic culture was studied. The omissions of macronutrients caused visual symptoms of nutritional deficiency, common to other species. The limiting order of TDW was K = Mg > N = Ca = P > S. Potassium and magnesium were the most limiting macronutrients for biomass production. The highest content of essential oil was verified under omission of sulfur and the yield similar to the complete solution. The chemical analysis of the essential oil was quantitatively altered in hydroponic culture. The omission of P and N promoted an increase of citral contents.

Keywords: Lemon Grass of India. Cattle manure. Quail manure. Organic compound. Nutrient omission. Hydroponic.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### PRIMEIRA PARTE

Figura 1 A espécie *Cymbopogon flexuosus* Stapf..... 12

Figura 2 Estrutura química do neral e geranial..... 14

### ARTIGO 1

Figura 1 Plantas de *C. flexuosus* cultivadas em diferentes doses de esterco bovino, esterco de codorna e composto orgânico..... 28

Figura 2 Efeito de diferentes fontes e doses de adubos orgânicos na: A- biomassa seca da parte aérea no primeiro corte (BSPA1), B- biomassa seca da parte aérea no segundo corte (BSPA2), C- biomassa seca da parte aérea total (BSPAT), D- biomassa seca de raiz (BSR), E- biomassa seca total (BST) e F- relação entre raiz e parte aérea (R:PA) de *C. flexuosus*..... 29

Figura 3 Efeito de diferentes fontes e doses nos teores do 1º e 2º cortes e rendimento total de óleo essencial de *C. flexuosus*..... 35

Figura 4 Análises de Componentes Principais (PCA) das médias dos compostos majoritários do óleo essencial de *C. flexuosus* em diferentes fontes e doses de adubos orgânicos..... 37

### ARTIGO 2

Figura 1 Diagnose visual da parte aérea e sistema radicular de *C. flexuosus* cultivadas por 90 dias em solução completa e omissões de N, P, Ca e S..... 53

Figura 2 Valores médios de teor (%) e rendimento (mg planta<sup>-1</sup>) de óleo essencial da *C. flexuosus* sob omissão de macronutrientes em cultivo hidropônico..... 55

Figura 3 Análise dos componentes principais (PCA) dos constituintes majoritários do óleo essencial de *C. flexuosus*..... 57

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO 1

Tabela 1	Análise foliar de macronutrientes e micronutrientes de <i>C. flexuosus</i> com o uso de diferentes fontes de adubos orgânicos (esterco bovino, codorna e composto orgânico) no 1º e 2º corte.....	33
----------	---	----

### ARTIGO 2

Tabela 1	Valores médios do número de perfilhos (NP), biomassa seca de raiz (BSR), folha (BSF), base foliar (BSB), parte aérea (BSPA) e total (BST), produção relativa da biomassa seca total (PRBST) e relação raiz e parte aérea (R:PA) de <i>C. flexuosus</i> sob omissão de macronutrientes em cultivo hidropônico.....	49
Tabela 2	Análise foliar de <i>C. flexuosus</i> sob omissão de macronutrientes em cultivo hidropônico por 90 dias.....	51
Tabela 3	Teor $\pm$ desvio padrão (%) dos constituintes químicos majoritários do óleo essencial de <i>C. flexuosus</i> .....	56

## SUMÁRIO

	<b>PRIMEIRA PARTE</b>	
1	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
2	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>12</b>
2.1	<b>Descrição da espécie .....</b>	<b>12</b>
2.2	<b>Nutrição de plantas e adubação orgânica.....</b>	<b>14</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>17</b>
	 <b>SEGUNDA PARTE – ARTIGOS</b>	
	<b>ARTIGO 1</b>	
	<b>CRESCIMENTO E ANÁLISE QUÍMICA DO ÓLEO ESSENCIAL DE</b>	
	<b><i>Cymbopogon flexuosus</i> EM FUNÇÃO DE FONTES E DOSES DE</b>	
	<b>ADUBO ORGÂNICO.....</b>	<b>20</b>
1	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>23</b>
2	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>24</b>
3	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>27</b>
4	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>38</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>39</b>
	 <b>ARTIGO 2</b>	
	<b>OMISSÃO DE MACRONUTRIENTES DA SOLUÇÃO NUTRITIVA</b>	
	<b>ALTERA O CRESCIMENTO E O TEOR DE CITRAL DE</b>	
	<b><i>Cymbopogon flexuosus</i>.....</b>	<b>42</b>
1	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>45</b>
2	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>46</b>
3	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>49</b>
4	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>58</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>59</b>

## 1-INTRODUÇÃO GERAL

*Cymbopogon flexuosus* Stapf, conhecida como capim-limão da Índia Oriental, é originária do Sul da Ásia, Sudeste Asiático e Austrália. No Brasil, cultiva-se bem em todas as regiões. A produção comercial ocorre principalmente nas regiões Sul e Sudeste, com destaque ao Estado do Paraná (CARNEIRO GOMES; REJANE BONATO NEGRELLE; DONI FILHO, 2007; LORENZI; MATOS; FRANCISCO, 2002). Apresenta maior produtividade de massa vegetal e de óleo essencial ao comparar com a espécie *C. citratus* (SALERNO; AGOSTINI; SILVA JÚNIOR, 2004).

Fatores genéticos e ambientais podem influenciara produção de biomassa vegetal de plantas medicinais e de princípios ativos (MAPELI et al., 2005). A fertilização é uma prática de cultivo que possui relação direta com a produção de matéria seca e de metabólitos secundários em plantas medicinais (ALMEIDA et al., 2002; COSTA et al., 2008). Assim, estudos são necessários com objetivo de estabelecer práticas de cultivo que visam ampliar os ganhos de materia prima vegetal com a manutenção dos princípios ativos dentro dos padrões de cada espécie.

Além de suprir as demandas nutricionais das plantas, adubação orgânica colabora na melhoria das características químicas, físicas e biológicas do solo (CHAVES, 2001). Segundo Biasi e Deschamps (2009) e Mattos (1996), a deficiência nutricional causa estresse e interfere diretamente na produção de biomassa e de óleos essenciais.

Há pesquisas que constataam os efeitos da fertilização orgânica e mineral na produção de biomassa e metabólitos secundários em plantas medicinais. Costa et al. (2008) observaram aumento no número de perfilhos em plantas de *C. citratus* adubadas com esterco avícola. Plantas de *Achilea millefolium* também responderam positivamente às diferentes dosagens de esterco bovino e avícola (FERRAZ et al., 2014). Em estudo feito com *Origanum vulgare* L., a adubação com esterco avícola proporcionou incremento no teor e rendimento de óleo essencial para a espécie (CORRÊA et al., 2010).

Portanto, objetivou-se verificar os efeitos da adubação com diferentes doses de três adubos orgânicos e a omissão de macronutrientes no crescimento vegetativo e produção dos constituintes químicos da espécie.

## 2- REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1- Descrição da espécie

O Gênero *Cymbopogon*, um dos maiores representantes de plantas aromáticas e medicinais, pertence à tribo Andropogonaeae da família Poaceae (Gramineae) (GANJEWALA; LUTHRA, 2010). De acordo com Marigowda et al. (2016), cerca de 180 espécies desse gênero estão distribuídas em regiões tropicais e sub-tropicais da Ásia, África, América, Austrália e Europa. *Cymbopogon flexuosus* Stapf, espécie representada pela figura 1, é conhecida popularmente como capim-limão da Índia, capim Cochin e capim Malabar (MARIGOWDA et al., 2016). Originária do Sul da Ásia, Sudeste Asiático e Austrália, foi adaptada no Brasil e é comumente encontrada nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Pará, Pernambuco, Maranhão e da Bahia ao Rio de Janeiro (MAY et al., 2008).

Figura 1-A espécie *Cymbopogon flexuosus* Stapf.



Fonte: José Eduardo B. P. Pinto (2017).

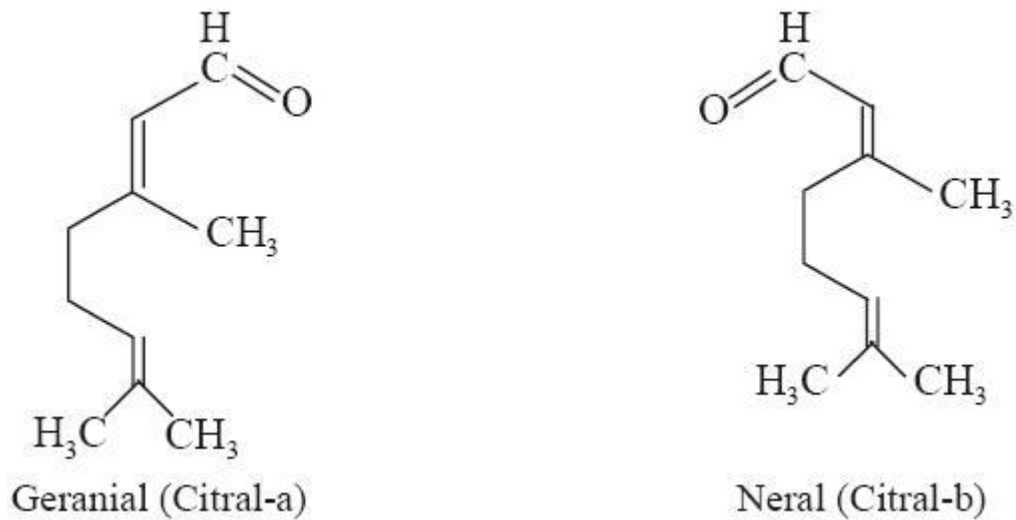
De acordo com May et al. (2008), *C. flexuosus* é uma erva perene, ereta, cespitosa de 0,6 até 3 m de altura, com caule rizomatoso muito ramificado, escuro, curto, semi-subterrâneo e palhoso. Suas raízes são fibrosas, escuras e numerosas. Dos rizomas partem colmos em tufos eretos e folhosos. Suas folhas verde-grisáceas com veias bem visíveis na face inferior e de cor verde-brilhante e lisa na face superior. O florescimento é intenso durante os meses de inverno nas condições climáticas do Brasil. As espiguetas situam-se sobre ráquis que formam racimos curtos de 1 a 1,5 cm. Os frutos são cariópse oblongas, secos e indeiscentes.

*C. flexuosus* é cultivada em vários continentes. Em comparação com as culturas agrícolas tradicionais, é tolerante às condições ambientais adversas (SINGH et al., 2017). Segundo Joyce et al. (2015), Guatemala, Brasil, China, Índia, Indonésia, Haiti, Madagascar e outros países da África Oriental possuem produção significativa dessa espécie. Em lavouras comerciais é possível realizar de três a quatro cortes por ano, produzindo assim, 18 t ha<sup>-1</sup> de folhas frescas no espaçamento de 1 m entre linhas e 0,5 m entre plantas (MAY et al., 2008). Ainda de acordo com esses autores, *C. flexuosus* é mais produtiva que *Cymbopogon citratus* e informações sobre o cultivo e manejo cultural dessas espécies são escassas.

Em relação ao óleo essencial de *C. flexuosus*, a produção mundial estimada é de 800 a 1300 toneladas por ano, sendo que 40% dessa produção são originárias da China e Indonésia (JOYCE et al., 2015). De relevante valor comercial são utilizados em sabores, fragrâncias, perfumaria, cosméticos, sabões, detergentes e na indústria farmacêutica (GANJEWALA; LUTHRA, 2010). Esse óleo possui atividades sedativas, digestivas, anti-reumáticas, calmantes, antifebris, carminativas, estomáticas, analgésicas, antiespasmódicas e antimicrobianas (MAY et al., 2008; MEENA et al., 2016). Além de ser um bom candidato para estratégias terapêuticas inovadoras contra o câncer devido seu potente potencial citotóxico e anticancerígeno (MARIGOWDA et al., 2016; SHARMA et al., 2009).

O óleo é constituído principalmente (75-85%) de uma aldeído monoterpene denominando citral (3,7- dimetil 2,6-octadienal) que é uma mistura racêmica dos isômeros geranial e neral (GUPTA; GANJEWALA, 2015). A estrutura química dos constituintes geranial e neral está demonstrada na figura 2. É atribuído ao citral a atividade inseticida e larvicida contra *Aedes aegypti* (VERA et al., 2014), antifúngica (GANJEWALA; LUTHRA, 2010), bactericida e antimicrobiana (ADUKWU et al., 2016). Ainda segundo Joyce et al. (2015), inibe fermentação de *Saccharomyces cerevisiae* em biorrefinarias de álcool. De acordo com Marigowda et al. (2016), o fornecimento contínuo de óleo essencial e o aumento de cultivares mais produtivas são prioritários para atender à crescente demanda de *C. flexuosus*.

Figura 2 - Estrutura química do geraniale neral



Fonte: [www.e Pharmacognosy.com](http://www.e Pharmacognosy.com)

*C. flexuosus* possui características adequadas para o estudo da biossíntese e regulação de seus monoterpenos por ser uma planta perene de fácil cultivo, óleo essencial de simples extração por hidrodestilação e caracterização por cromatografia (GUPTA; GANJEWALA, 2015). Segundo Ganjewala e Luthra (2010), ontogenia, estágio de desenvolvimento e condições ambientais são alguns fatores que influenciam o metabolismo secundário em *Cymbopogon*. Apesar de seu significado econômico, poucos trabalhos de biossíntese e regulação do óleo essencial foram realizados com esse gênero.

## 2.2-Nutrição de plantas e adubação orgânica

Os elementos essenciais são definidos como componentes intrínsecos na estrutura ou metabolismo de uma planta e na sua ausência causa anormalidades graves no crescimento e desenvolvimento (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Os nutrientes essenciais são classificados em macronutrientes, requeridos em maior quantidade pela planta, e em micronutrientes, em menor quantidade (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Segundo Marschner (2012), os nutrientes são classificados em quatro grupos de acordo com as funções fisiológicas e o comportamento bioquímico nas plantas:

- 1º grupo: N e S. Nutrientes que fazem parte de compostos de carbono;

- 2º grupo: P, B. Composto pelos nutrientes importantes em reações de armazenamento de energia ou na manutenção da integridade estrutural;
- 3º grupo: K, Ca, Mg, Cl, Mn. Estão os que permanecem no tecido vegetal na forma iônica e importantes funções como cofatores enzimáticos e na regulação de potenciais osmóticos;
- 4º grupo: Fe, Zn, Cu, Ni, Mo. Nutrientes com funções importantes em reações que envolvem transporte de elétrons.

Disponibilizar os nutrientes para as plantas é sem dúvida o princípio fundamental de manejo de uma cultura. Como a grande maioria das culturas, as plantas aromáticas respondem positivamente a um adequado programa de produção, envolvendo manejo correto do solo e das próprias espécies. Portanto, o suprimento de nutrientes se deve basear em análises químicas do solo e de tecidos das plantas, associado a outras práticas culturais, promovendo assim, boa produtividade, lucratividade e proteção ambiental (DO AMARAL et al., 2015).

A adubação orgânica consiste a não aplicação de agroquímicos de uso convencional. Vem se destacando em diversos tipos de cultivos até mesmo nos comerciais (VASCONCELOS, 2009). Algumas das vantagens da adubação orgânica é a manutenção da umidade, fertilidade e estrutura física do solo, o favorecimento do controle microbiológico e a dinâmica de nutrientes (CHATTOPADHYAY; SUBRAHMANYAM; SINGH, 1993; CORRÊA et al., 2010; RAM; KUMAR, 1997).

O manejo referente ao fornecimento de nutrientes em plantas medicinais deve ser o mais adequado possível, pois não interfere apenas no crescimento e na aquisição de biomassa, mas também pode alterar a produção de compostos bioativos como os óleos essenciais (BIBIANO, 2015)

A origem do material orgânico deve ser de boa procedência com objetivo de garantir melhor sanidade do produto final, uma vez que as plantas podem ser consumidas *in natura* ou processadas. Dentre os materiais orgânicos, o esterco é o mais encontrado em diferentes regiões do Brasil e muito usado, uma vez que é produzido por diferentes espécies de animais, como: bovino, cavalo, suíno e aves (TRANI, 2008). A região de Lavras, além de ser uma bacia leiteira, destaca-se também pela concentração de diversas granjas, que geram grandes quantidades de esterco de galinha e de codorna.

Sales et al. (2009) ao estudarem o efeito do esterco bovino em *Hyptis marruboides* Epling, verificaram ganho de biomassa vegetal e melhoria na qualidade do solo. Em análises



químicas do solo realizadas após a aplicação das doses do adubo orgânico, esses pesquisadores verificaram aumento de pH, CTC efetiva e potencial, saturação por bases e matéria orgânica.

A solução nutritiva e a técnica do elemento faltante são utilizadas na pesquisa científica principalmente para obtenção de informações sintomatológicas de carência ou toxidez de determinado nutriente nas plantas, auxiliando no aperfeiçoamento do sistema de produção (ALVES et al., 2008; ANDRIOLO; BONINI; BOEMO, 2002). A omissão de nutrientes sob técnica de elemento faltante em solução nutritivas foi relatado para *Achillea millefolium* L. (ALVARENGA et al., 2015), *Rosmarinus officinalis* L. (TOUNEKTI et al., 2011) e *Coriandrum sativum* (DAFLON et al., 2014).

## REFERÊNCIAS

- ADUKWU, E. C. et al. Antimicrobial activity, cytotoxicity and chemical analysis of lemongrass essential oil (*Cymbopogon flexuosus*) and pure citral. **Appl Microbiol Biotechnol**, v. 100, n. 22, p. 9619-9627, Nov 2016.
- ALMEIDA, M. M. B. et al. Determinação de nutrientes minerais em plantas medicinais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n. 1, p. 94-97, 2002.
- ALVARENGA, I. C. A. et al. Effects on growth, essential oil content and composition of the volatile fraction of *Achillea millefolium* L. cultivated in hydroponic systems deficient in macro-and microelements. **Scientia Horticulturae**, v. 197, p. 329-338, 2015.
- ALVES, A. U. et al. Desenvolvimento e estado nutricional da beterraba em função da omissão de nutrientes. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. 292-295, 2008.
- ANDRIOLO, J. L.; BONINI, J. V.; BOEMO, M. P. Acumulação de matéria seca e rendimento de frutos de morangueiro cultivado em substrato com diferentes soluções nutritivas. **Horticultura Brasileira**, v. 20, p. 24-27, 2002.
- BIASI, L. A.; DESCHAMPS, C. **Plantas aromáticas: do cultivo à produção de óleo essencial**. Layer Studio Gráfico e Editora Ltda, 2009. ISBN 8590295427.
- BIBIANO, C. S. **Crescimento vegetativo e análises químicas do óleo essencial de *Chenopodium ambrosioides* L. sob três fontes de adubos orgânicos**. 2015. 75 p. Dissertação (Mestrado em Plantas Medicinais Aromáticas e Condimentares) – UFLA, Lavras.,
- CARNEIRO GOMES, E.; REJANE BONATO NEGRELLE, R.; DONI FILHO, L. Caracterização da produção de capim-limão no estado do Paraná, Brasil. **Scientia Agraria**, v. 8, n. 4, 2007.
- CHATTOPADHYAY, A.; SUBRAHMANYAM, K.; SINGH, D. Recycling of nutrients in Japanese mint-assessment of soil fertility and crop yield. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 35, n. 3, p. 177-181, 1993.
- CHAVES, F. C. M. **Produção de biomassa, rendimento e composição de óleo essencial de alfavaca-cravo (*Ocimum gratissimum* L.) em função da adubação orgânica e épocas de corte**. 2001. 144 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.,
- CORRÊA, R. M. et al. Adubação orgânica na produção de biomassa de plantas, teor e qualidade de óleo essencial de orégano (*Origanum vulgare* L.) em cultivo protegido. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 12, p. 80-89, 2010.
- COSTA, L. C. D. B. et al. Tipos e doses de adubação orgânica no crescimento, no rendimento e na composição química do óleo essencial de elixir paregórico. **Ciência Rural**, v. 38, p. 2173-2180, 2008.

- DAFLON, D. G. et al. Sintomas visuais de deficiência de macronutrientes e boro em coentro. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 01, 2014.
- DO AMARAL, J. F. T. et al. Deficiências de macronutrientes, Fe e B em manjerição (*Ocimum* sp.), em cultivo hidropônico. **Ceres**, v. 46, n. 265, 2015.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. N. M. D. P. **Princípios e perspectivas**. Londrina: Editora Planta, 2006.
- FERRAZ, E. O. et al. Organic systems in the growth and essential-oil production of the yarrow. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 1, p. 111-119, 2014.
- GANJEWALA, D.; LUTHRA, R. Essential oil biosynthesis and regulation in the genus *Cymbopogon*. **Nat Prod Commun**, v. 5, n. 1, p. 163-72, Jan 2010.
- GUPTA, A. K.; GANJEWALA, D. A study on biosynthesis of "citral" in lemongrass (*C. flexuosus*) cv. Suvarna. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 37, n. 11, Nov 2015.
- JOYCE, B. L. et al. Ethanol and High-Value Terpene Co-Production from Lignocellulosic Biomass of *Cymbopogon flexuosus* and *Cymbopogon martinii*. **PLoS One**, v. 10, n. 10. 2015.
- LORENZI, H.; MATOS, F. J.; FRANCISCO, J. M. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. 2002.
- MAPELI, N. C. et al. Produção de biomassa e de óleo essencial dos capítulos florais da camomila em função de nitrogênio e fósforo. **Horticultura Brasileira**, 2005.
- MARIGOWDA, V. et al. Studies on antibacterial, antioxidant and anticancerous activity using essential oil from *Cymbopogon flexuosus* (stapf). **International Journal of Advanced Research** v. 4, p. 1324-1341, 2016.
- MARSCHNER, H. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. : Academic press 2012.
- MATTOS, J. D. A. **Plantas medicinais: aspectos agronômicos**. Brasília: DF, 1996.
- MAY, A. et al. Influência do intervalo entre cortes sobre a produção de biomassa de duas espécies de capim limão. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. 379-382, 2008.
- MEENA, S. et al. De Novo Sequencing and Analysis of Lemongrass Transcriptome Provide First Insights into the Essential Oil Biosynthesis of Aromatic Grasses. **Front Plant Sci**, v. 7, p. 1129, 2016.
- RAM, M.; KUMAR, S. Yield improvement in the regenerated and transplanted mint *Mentha arvensis* by recycling the organic wastes and manures. **Bioresour Technol**, v. 59, n. 2-3, p. 141-149, 1997.
- SALERNO, A.; AGOSTINI, I.; SILVA JÚNIOR, A. **Normas técnicas para cultivo de capim-limão, citronela, palma-rosa e patchuli**. Florianópolis: EPAGRI, 2004. 58.

SALES, J. F. et al. Acúmulo de massa, teor foliar de nutrientes e rendimento de óleo essencial de hortelã-do-campo (*Hyptis marruboides* Epl.) cultivado sob adubação orgânica. **Bioscience Journal**, v. 25, p. 60-68, 2009.

SHARMA, P. R. et al. Anticancer activity of an essential oil from *Cymbopogon flexuosus*. **Chem Biol Interact**, v. 179, n. 2-3, p. 160-8, May 15 2009.

SINGH, M. et al. Proliferating effect of radiolytically depolymerized carrageenan on physiological attributes, plant water relation parameters, essential oil production and active constituents of *Cymbopogon flexuosus* Steud. under drought stress. **PLoS One**, v. 12, n. 7, p. e0180129, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. In: (Ed.): Artmed, 2017.

TOUNEKTI, T. et al. Ionic interactions and salinity affect monoterpene and phenolic diterpene composition in rosemary (*Rosmarinus officinalis*). **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 174, n. 3, p. 504-514, 2011.

TRANI, P. Superfosfato simples com esterco animal: um bom fertilizante organomineral. **Artigo em Hypertexto**, v. 14, n. 2, 2008.

VASCONCELOS, G. **Adubação orgânica e biodinâmica na produção de chicória (*Cichorium endivia*) e de beterraba (*Beta vulgaris*), em sucessão**. 2009. 85 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Horticultura)–Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu

VERA, S. S. et al. Essential oils with insecticidal activity against larvae of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). **Parasitol Res**, v. 113, n. 7, p. 2647-54, Jul 2014.

**ARTIGO 1**

**CRESCIMENTO E ANÁLISE QUÍMICA DO ÓLEO ESSENCIAL DE *Cymbopogon flexuosus* EM FUNÇÃO DE FONTES E DOSES DE ADUBO ORGÂNICO**

**Vauvenargues Lopes<sup>1</sup>, Alexandre Alves de Carvalho<sup>1</sup>, Suzan Kelly Vilela Bertolucci<sup>1</sup>,  
José Eduardo Brasil Pereira Pinto<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Setor de Cultura de Tecidos e Plantas Medicinais, Departamento de Agricultura,  
Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037, Lavras, MG, CEP 37200-000

Preparado Segundo a Norma NBR 6022:2003

## RESUMO

*Cymbopogon flexuosus* Stapf é uma espécie medicinal de relevante valor comercial e muito utilizada em sabores, fragrâncias, perfumaria, cosméticos, sabões, detergentes e na indústria farmacêutica. Neste contexto, tendo por fim avaliar a resposta de plantas de *C. flexuosus*, cultivadas com diferentes doses de três adubos orgânicos, o presente trabalho estudou a produção de biomassa, teor, rendimento e a composição química do óleo essencial. Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial (3x4+1), com quatro repetições. Os tratamentos foram: três fontes de adubo orgânico (esterco bovino, de codorna e composto) aplicados em quatro doses (30, 60, 90 e 120 t ha<sup>-1</sup>) e o tratamento controle (ausência de adubo orgânico). As plantas foram transplantadas individualmente nos vasos e cada repetição foi representada por cinco plantas. Após 120 (1º corte) e 240 (2º corte) dias de cultivo, as plantas foram coletadas e separadas em parte aérea e raiz. As biomassas secas de raiz (BSR) e de parte aérea do 1º corte (BSPA1) e do 2º corte (BSPA2), biomassa de parte aérea total (BSPAT), biomassa seca total (BST), relação raiz e a parte aérea (R:PA), análise foliar, teor, rendimento e composição química do óleo essencial foram avaliadas. Esterco bovino, de codorna e composto em diferentes doses alteram o ganho de biomassa seca, o teor, o rendimento e a qualidade do óleo essencial de *C. flexuosus*. A espécie responde positivamente ao aumento de nutrientes no solo tanto em termos de produção de metabolitos secundários como em crescimento. O maior crescimento e rendimento de óleo essencial são obtidos com a adubação entre 60 a 90 t ha<sup>-1</sup> de esterco de codorna. Teor de neral no óleo essencial é aumentado com a utilização de 90 t ha<sup>-1</sup> esterco de codorna e o teor de geranial com 30 e 90 t ha<sup>-1</sup> de composto orgânico.

Palavras-chave: Esterco bovino. Esterco de Codorna. Composto orgânico. Planta Medicinal.

## ABSTRACT

*Cymbopogon flexuosus* Stapf is a medicinal species of relevant commercial value and widely used in flavors, fragrances, perfumery, cosmetics, soaps, detergents and in the pharmaceutical industry. In this context, in order to evaluate the response of plants of *C. flexuosus*, cultivated with different doses of three organic fertilizers, the present work studied the biomass production, content, yield and chemical composition of the essential oil. The experimental design was completely randomized in a factorial scheme (3x4 + 1), with four replications. The treatments were: three sources of organic fertilizer (cattle manure, quail and compost) applied in four doses (30, 60, 90 and 120 t ha<sup>-1</sup>) and control treatment (absence of organic fertilizer). The plants were transplanted individually into the pots and each replicate was represented by five plants. After 120 (1<sup>st</sup> cut) and 240 (2<sup>nd</sup> cut) days of cultivation, the plants were collected and separated in aerial part and root. The dry biomass of root (DBR) and of aerial section 1<sup>st</sup> cut (DBA1) and 2<sup>nd</sup> cut (DBA2), total shoot biomass (TSB), total dry biomass (TDB), root and shoot ratio (R:S), leaf analysis, content, yield and chemical composition of the essential oil were evaluated. Bovine, quail and compost at different doses alter the dry biomass gain, the content, the yield and the quality of the essential oil of *C. flexuosus*. The species responds positively to the increase of nutrients in the soil both in terms of production of secondary metabolites as in the growth. The highest growth and yield of essential oil is obtained by fertilizing between 60 and 90 t ha<sup>-1</sup> of quail manure. Neral content in the essential oil is increased with the use of 90 t ha<sup>-1</sup> quail manure and the geranial content with 30 and 90 t ha<sup>-1</sup> of organic compost.

Keywords: Cattle manure. Quail manure. Organic compound. Medicinal Plant.

## 1- INTRODUÇÃO

*Cymbopogon flexuosus* Stapf, conhecida vulgarmente como capim-limão da Índia, capim Cochin e capim Malabar, é uma espécie medicinal originária do Sul da Ásia, Sudeste Asiático e Austrália (MAY et al., 2008; MARIGOWDA et al., 2016). De relevante valor comercial e mais produtiva que *Cymbopogon citratus*, a espécie é utilizada em sabores, fragrâncias, perfumaria, cosméticos, sabões, detergentes e na indústria farmacêutica (MAY et al., 2008; GANJEWALA e LUTHRA, 2010). China e Indonésia são os principais países produtores do óleo essencial de *C. flexuosus*, porém, produções significativas da planta ocorrem também na Guatemala, Brasil, Índia, Haiti, Madagáscar e outros países da África Oriental (GANJEWALA e LUTHRA, 2010; JOYCE et al., 2015).

Atividades sedativas, digestivas, antirreumáticas, calmantes, antifebris, carminativas, estomáticas, analgésicas, antiespasmódicas e antimicrobianas são atribuídas ao seu óleo essencial (MAY et al., 2008; MEENA et al., 2016). Potencial citotóxico e anticancerígeno foram relatados por Marigowda et al. (2016) e por Sharma et al. (2009), sendo assim, um bom candidato para estratégias terapêuticas inovadoras contra o câncer.

O óleo é constituído principalmente de citral, formado pela mistura racêmica de geranial e neral (GUPTA e GANJEWALA, 2015). É atribuído ao citral à atividade inseticida e larvicida contra *Aedes aegypti* (VERA et al., 2014), antifúngica (GANJEWALA e LUTHRA, 2010), bactericida e antimicrobiana (ADUKWU et al., 2016). Ainda segundo Joyce et al. (2015), inibe fermentação de *Saccharomyces cerevisiae* em biorrefinarias de álcool. De acordo com Marigowda et al. (2016), o fornecimento contínuo de óleo essencial e o aumento de cultivares mais produtivas são prioritários para atender à crescente demanda de *C. flexuosus*.

A produção de biomassa e a síntese de princípios ativos nas plantas medicinais, aromáticas e condimentares dependem de vários fatores, dentre eles o fator genético, clima, condições edáficas e manejos culturais (ROSAL et al., 2011). O estudo da nutrição mineral de plantas é essencial, pois os nutrientes minerais são fundamentais para o crescimento e o desenvolvimento de plantas, assim como a produção de metabólitos secundários (GARLET e SANTOS, 2008).

Segundo Rosal et al. (2011), possíveis variações quantitativas e qualitativas podem ocorrer na biossíntese dos metabólitos secundários em resposta à aplicação de técnicas agronômicas. Ainda de acordo com esses autores, estudos que envolvem a adubação em espécies produtoras de óleos essenciais, não objetivam apenas a produção de biomassa, mas,



conjuntamente busca-se esclarecer as alterações que esses insumos podem ocasionar ao rendimento e à composição química do óleo. A prática da adubação orgânica, além de fornecer nutrientes para as plantas, proporciona a melhoria da estrutura física do solo, aumenta a retenção de água, diminui as perdas por erosão e favorece o controle biológico (COSTA et al., 2008).

Nesse sentido, estudos sobre o efeito da adubação orgânica no ganho de biomassa e na biossíntese de óleo essencial vêm sendo realizados com diversas espécies medicinais, tais como: *Aloysia triphylla* (BRANT et al., 2010); *Mentha arvensis* (CHAGAS et al., 2011); *Plectranthus neochilus* (ROSAL et al., 2011); *Ocimum selloi* (COSTA et al., 2008); *Hyptis suaveolens* (MAIA et al., 2008); *Mentha piperita* (COSTA et al., 2008) e *Origanum vulgare* (CORRÊA et al., 2010).

Assim, objetivou-se estudar o efeito de diferentes doses de três adubos orgânicos no crescimento, no teor, no rendimento e na composição química do óleo essencial de *C. flexuosus*.

## **2- MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1- Instalação do experimento e preparo das mudas**

O experimento foi instalado em estufa plástica de 18,5 x 13 m, posição norte-sul, do Laboratório de Cultura de Tecidos Vegetais e Plantas Medicinais do Departamento de Agricultura, da Universidade Federal de Lavras (DAG/UFLA), situada na região sul de Minas Gerais, a 918 m de altitude, latitude 21° 14'S e longitude 45° 00'W.

Plantas matrizes de *C. flexuosus* pertencentes ao Horto de Plantas Medicinais da UFLA foram identificadas e comparadas com a excitada depositada pelo Herbário do IAC, mantida pelo número 45335. As mudas foram propagadas por divisão de touceira, tendo cada perfilho tamanho aproximado de 7 cm de altura. Os propágulos foram cultivados em bandejas de poliestireno expandido de 128 células, contendo substrato comercial Plantmax Hortaliças HT® e mantidos em casa de vegetação, com 60% de sombreamento, até atingirem cerca de 12 cm de altura. Após 50 dias, as mudas foram transplantadas para vasos de plásticos de 8 litros de capacidade contendo solo e os tratamentos com adubação orgânica. A irrigação foi realizada até o solo atingir a capacidade de campo, três vezes por semana.

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial (3x4+1), com quatro repetições. Os tratamentos foram: três fontes de adubo orgânico (esterco

bovino, de codorna e composto) aplicados em quatro doses (30, 60, 90 e 120 t ha<sup>-1</sup>) e o tratamento controle (ausência de adubo orgânico). As plantas foram transplantadas individualmente nos vasos e cada repetição foi representada por cinco plantas.

Os adubos orgânicos foram coletados em granjas localizadas próximo ao município de execução do experimento. Foram estabilizados e secos para a condução dos ensaios. O composto orgânico representa a mistura de esterco de codorna e resíduos de frigorífico. Foram adicionados em cada vaso 150, 300, 450 e 600 g de adubo orgânico correspondendo, respectivamente, aos tratamentos 30, 60, 90 e 120 t ha<sup>-1</sup>. O tratamento 0 t ha<sup>-1</sup> não foi suplementado com adubo.

O solo (Latosolo Vermelho-amarelo distrófico - LVAd) utilizado como substrato foi coletado, no município de Lavras/MG, na profundidade de 0 - 20 cm (EMBRAPA, 2013). As análises do solo foram realizadas no Laboratório de Análises Químicas e Físicas do Solo do Departamento de Ciência do Solo da UFLA. Enquanto, as análises dos adubos orgânicos foram realizadas no laboratório de análises químicas da Cooperativa Regional de Cafeicultores em Guaxupé Ltda – Cooxupé. As análises químicas e físicas das amostras de solo e de adubos foram realizadas conforme metodologia proposta por EMBRAPA (1997) e Silva (2009), respectivamente.

As características químicas dos solos foram: pH em água = 5,6; P e K (mg dm<sup>-3</sup>) = 0,6 e 14; Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, H+Al (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) = 0,5; 0,1; 0,0; 2,1; saturação de bases V (%) = 23,4; matéria orgânica (dag kg<sup>-1</sup>) = 1,4. Os substratos utilizados como adubos, também analisados, geraram os seguintes valores: a) Esterco Bovino: pH em água = 8,2; N, P, K, Ca, Mg, S (g kg<sup>-1</sup>) = 18; 5,1; 13; 4,1; 3,2; 2,6; e; B, Cu, Fe, Mn, Zn (mg kg<sup>-1</sup>) = 5,6; 39; 128; 461; 150; b) Esterco Codorna: pH em água = 7,4; N, P, K, Ca, Mg, S (g kg<sup>-1</sup>) = 26; 17,9; 40,5; 57,2; 7,8; 7,2; B, Cu, Fe, Mn, Zn (mg kg<sup>-1</sup>) = 66; 71; 811; 515; 680; e c) Composto Orgânico: pH em água = 7,3; N, P, K, Ca, Mg, S (g kg<sup>-1</sup>) = 7,4; 5,1; 5,5; 41; 2; 1,4; B, Cu, Fe, Mn, Zn (mg kg<sup>-1</sup>) = 46; 27; 811; 204; 112.

Após 120 (1º corte) e 240 (2º corte) dias de cultivo as plantas foram coletadas e separadas em parte aérea e raiz. Foram secadas em estufa com circulação forçada de ar a 36±2°C por três dias. As biomassas secas de raiz (BSR) e de parte aérea do 1º corte (BSPA1) e do 2º corte (BSPA2) foram mensuradas, em grama por planta, com o auxílio de balança de precisão. A biomassa de parte aérea total (BSPAT) representa a soma das biomassas secas de parte aérea do 1º e do 2º corte (BSPA1+BSPA2) e a biomassa seca total (BST) representa o somatório da biomassa seca de parte aérea total e biomassa seca de raiz (BSPAT+BSR). A

relação entre a raiz e a parte aérea (R:PA) foi obtida através da divisão da biomassa seca de raiz pela biomassa seca de parte aérea total (BSR/BSPAT).

## 2.2- Análise Foliar

As amostras retiradas para avaliação da biomassa seca foram moídas em moinho tipo Wiley e enviadas ao Laboratório de Análise Foliar do Departamento de Química da UFLA, para determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Mn, Zn e Fe de acordo com metodologia proposta por Malavolta et al. (1997).

## 2.3-Extração e análise química do óleo essencial

A extração do óleo essencial de *C. flexuosus* foi realizada pelo processo de hidrodestilação em aparelho de Clevenger modificado, utilizando-se uma amostra de 10 g de biomassa seca das folhas em 1L de água destilada por um período de 90 min. O óleo essencial foi purificado por partição líquido-líquido com diclorometano ( $3 \times 5$  mL). A fase orgânica foi reunida e tratada com cerca de 5 g de sulfato de magnésio anidro durante 30 min. Após esse período a solução foi filtrada e o solvente evaporado a temperatura ambiente, sob capela de exaustão de gases. Foi obtido cinco repetição por tratamento de óleo essencial de amostras compostas de biomassa seca, as quais foram armazenadas em frascos âmbar. Desta forma, foi determinado o teor (%) e o rendimento ( $\text{mg planta}^{-1}$ ) do óleo essencial.

As análises da composição química foram realizadas por meio de uma amostra composta de alíquotas equivolúmetricas do óleo essencial das repetições de cada tratamento. As análises quantitativas do óleo foram realizadas por cromatografia em fase gasosa acoplado a um detector de ionização de chama de hidrogênio (CG-DIC) em um sistema Agilent® 7890A equipado com coluna capilar de sílica fundida HP-5 (30 m de comprimento, 0,25 mm de diâmetro interno e 0,25  $\mu\text{m}$  de espessura do filme) (Califórnia, EUA). O gás Hélio foi utilizado como gás de arraste com fluxo de 1,0 mL/min; as temperaturas do injetor e do detector foram mantidas em 220°C e 240°C, respectivamente. A temperatura inicial do forno foi de 60°C, isotérmico por 1,5 min, seguido por uma rampa de temperatura de 3°C/min até 240°C, seguida de uma rampa de 10°C/min até 270°C. O óleo foi diluído em acetato de etila (1%, v/v) e injetado automaticamente no cromatógrafo empregando volume de injeção de 1,0  $\mu\text{L}$ , no modo *split* a uma razão de injeção de 1:50. A análise quantitativa foi obtida pela integração do

cromatograma total de íons (TIC) e o teor dos constituintes eluídos expressos como porcentagem de área relativa das áreas dos picos.

As análises qualitativas do óleo foram realizadas por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM), utilizando-se um equipamento Agilent® 5975C, operado por ionização de impacto eletrônico a 70 eV, em modo varredura, a uma velocidade de 1,0 scan/s, com um intervalo de aquisição de massas de 40 - 400  $m/z$ . As condições cromatográficas foram as mesmas empregadas nas análises quantitativas.

Os componentes foram identificados por comparação de seus índices de retenção calculados ( $IK_c$ ) com dados de espectros de massas e índices de retenção (IK) de literaturas (DAVIES, 1990; ADAMS, 2007) e por comparação dos espectros de massas com o banco de dados da biblioteca NIST/EPA/NHI (NIST, 2008). Os índices de retenção de Kovats ( $IK_c$ ) relativos a co-injeção de padrão de  $n$ -alcanos,  $C_8$ - $C_{20}$  (Sigma Chemical Co., St. Louis, MO) foram calculados com a aplicação da equação de Van Den Dool e Kratz (1963).

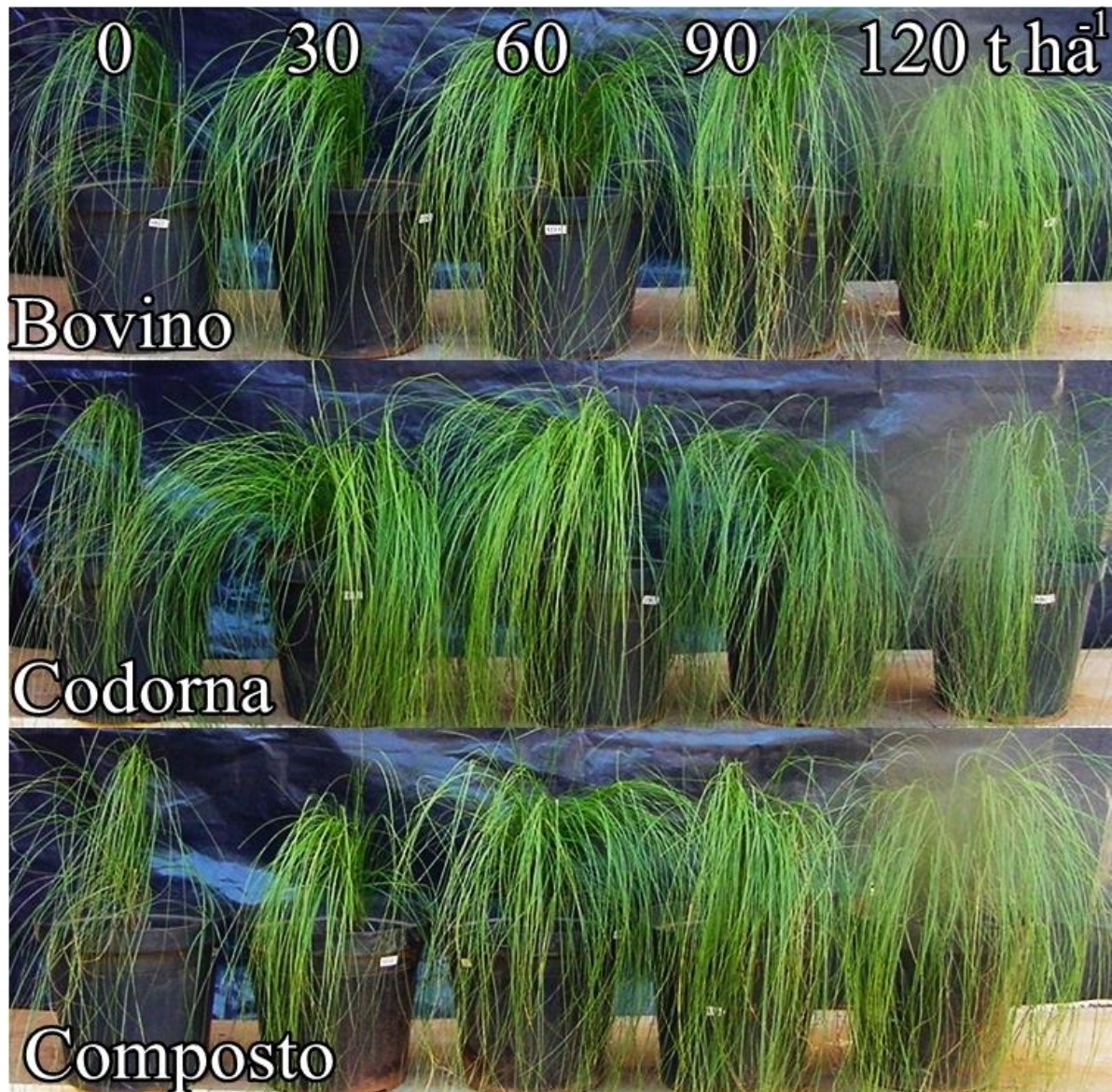
### 2.3- Análise estatística

Utilizou-se o software Statistica®, versão 12 (StatSoft – trial version) para as análises estatísticas dos dados experimentais. Os valores observados foram submetidos à análise de variância (ANOVA,  $p < 0,05$ ). A análise de regressão foi empregada para os dados de biomassa seca e de R:PA. As médias dos teores e dos rendimentos de óleo essencial foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). A análise de componentes principais (PCA) foi utilizada para estudar os compostos majoritários do óleo essencial em relação às fontes e doses dos adubos orgânicos.

## 3-RESULTADOS E DISCUSSÃO

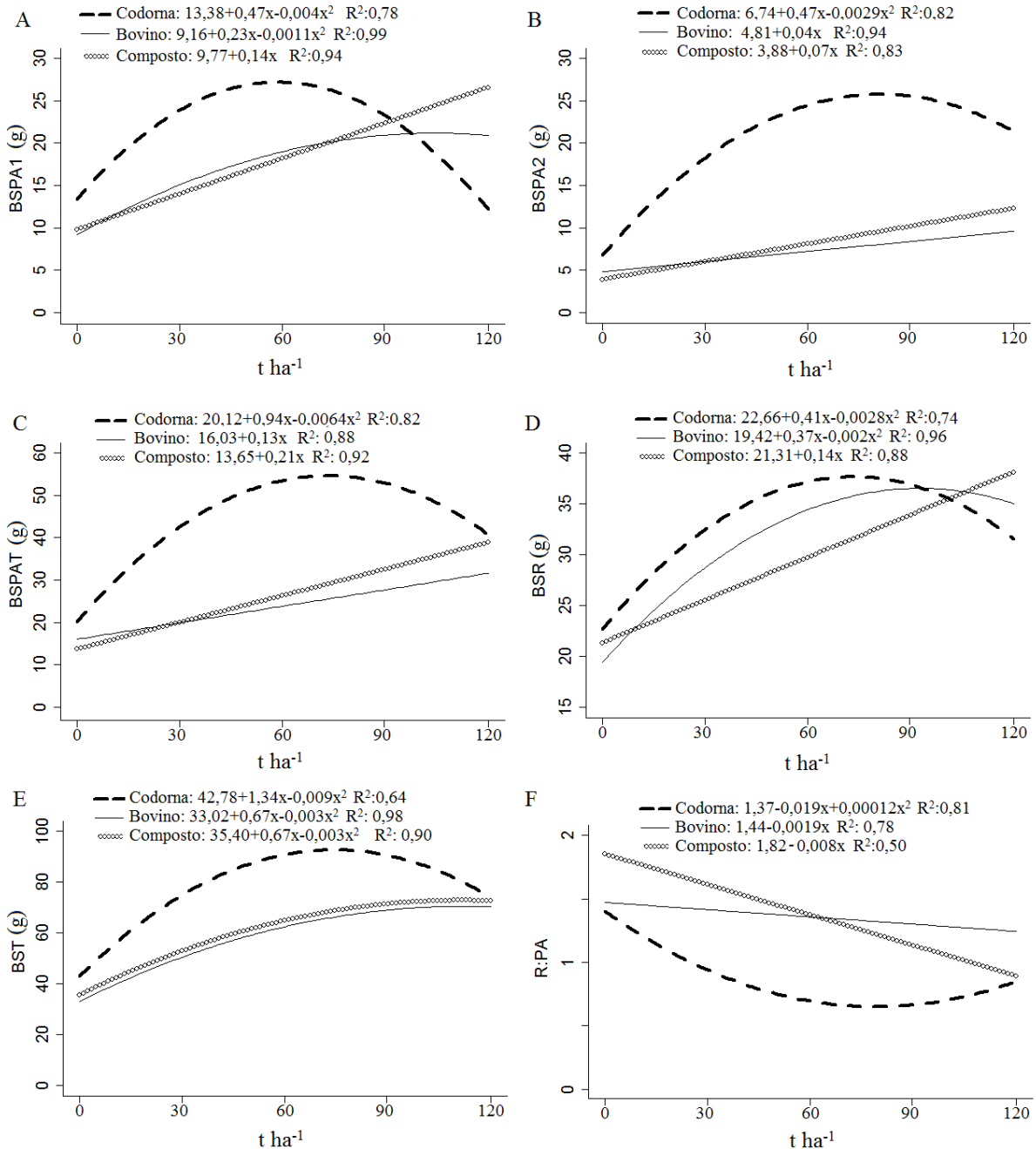
As fontes de adubo orgânico (esterco bovino, de codorna e composto) e suas respectivas doses (30, 60, 90 e 120 t  $ha^{-1}$ ) influenciaram positivamente a produção de biomassa de *C. flexuosus* (Figura 1).

Figura 1 - Plantas de *C. flexuosus* cultivadas em diferentes doses de esterco bovino, esterco de codorna e composto orgânico.



Observou-se, na análise de variância, significância para a interação entre as fontes e as doses de adubo orgânico sobre as biomassas secas e a R:PA. Curvas de resposta foram ajustadas pela análise de regressão para essas variáveis (Figura 2).

Figura 2 – Efeito de diferentes fontes e doses de adubos orgânicos na: A- biomassa seca da parte aérea no primeiro corte (BSPA1), B- biomassa seca da parte aérea no segundo corte (BSPA2), C- biomassa seca da parte aérea total (BSPAT), D- biomassa seca de raiz (BSR), E- biomassa seca total (BST) e F- relação entre raiz e parte aérea (R:PA) de *C. flexuosus*.



As doses de esterco de codorna aumentaram, com efeito quadrático, todas as biomassas secas (Figura 2). Observa-se ainda, a superioridade da curva representativa da codorna em relação aos demais adubos orgânicos. Portanto, é possível inferir que o esterco de codorna foi mais eficiente aos demais adubos estudados e que em doses específicas, a máxima produção de biomassas secas é obtida. As doses 58,75; 81,03; 73,44; 73,21 e 74,44 t ha<sup>-1</sup> de



esterco de codorna proporcionaram as maiores médias de biomassa 27,19; 47,66; 54,63; 37,67 e 92,66 g planta<sup>-1</sup> para BSPA1; BSPA2; BSPAT; BSR e BST, respectivamente.

O esterco proveniente da avicultura de criações intensivas, nas quais os animais são alimentados com ração é rico em nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, mas pobre em celulose e em lignina (ROSAL et al., 2011). Portanto, a decomposição e a disponibilidade dos nutrientes são mais rápidas no esterco de codorna em comparação ao esterco bovino e composto orgânico.

Por outro lado, como observado na tendência quadrática das curvas, doses elevadas de esterco de codorna influenciaram negativamente o ganho de biomassa. Os adubos orgânicos disponibilizam uma gama altamente heterogênea de íons na solução do solo, podendo assim, a presença de um modificar a velocidade de absorção de outro por meio de interações sinérgicas e inibitórias. De acordo com Paula et al. (2015), a absorção de K é inibida de maneira competitiva quando a concentração de Mg é elevada. Inibição não competitiva é relatada para H<sub>2</sub>BO<sub>3</sub> na presença de NO<sup>3-</sup> e NH<sup>4+</sup> (MARSCHNER, 2012).

Em relação ao esterco bovino, a BSPA2 e a BSPAT aumentaram linearmente em doses crescentes. As maiores médias de BSPA1 (21,18g); BSR (36,53g) e BST (70,43g) foram observadas nas doses 104,55; 92,50 e 111,67 t ha<sup>-1</sup> de esterco bovino. Na dose de 111,67 t ha<sup>-1</sup> do composto orgânico observou-se a máxima biomassa seca total de 72,81 g e para as demais biomassas houve incrementos lineares com o aumento das doses do composto.

Quanto à relação R:PA, nas diferentes fontes de adubos orgânico, os maiores valores foram obtidos no tratamento sem adubação (Figura 2). Verifica-se diminuição desse índice com o uso de 79 t ha<sup>-1</sup> de esterco de codorna (0,62) e de 120 t ha<sup>-1</sup> de composto orgânico (0,86) e de esterco bovino (1,21). Este resultado indica que a fonte de adubo orgânico com mais nutrientes direciona a distribuição de biomassa para a parte aérea da planta.

Rosal et al. (2011) ao estudar o efeito da adubação orgânica no cultivo de *Plectranthus neochilus*, observaram que o aporte de maior teor de nutrientes, proporcionado pela adubação com esterco avícola, gerou um crescimento na parte aérea das plantas que se destacou da biomassa seca da raiz. Ainda de acordo com esses pesquisadores, os resultados evidenciaram um forte dreno da parte aérea para a raiz, à medida que o adubo apresentou menor teor de nutrientes. Tal fato pode estar relacionado com um mecanismo de sobrevivência, desenvolvido pelas plantas, com maior investimento no sistema radicular, tendo em vista a maior exploração do solo, em vista dos baixos níveis de nutrientes no ambiente de cultivo.

O efeito das doses de matéria orgânica no aumento de produção de biomassa já foi registrado para *Ocimum selloi* (COSTA et al., 2008), atribuindo-se a crescente disponibilidade

de nutrientes. Por outro lado, em *Justicia pectoralis* as doses de adubações orgânicas e minerais não influenciaram a produção de biomassa da planta (BEZERRA et al., 2006). Portanto, as possibilidades de resultados contraditórios são expressivas, assim, pesquisas que relacionam fontes e doses de adubos orgânicos, suficientes para garantir produções elevadas com viabilidade econômica, devem ser realizadas para cada genótipo.

Na dose de 60 t ha<sup>-1</sup> dos adubos orgânicos, observa-se que a utilização do esterco de codorna, bovino e composto resultou, respectivamente em 52,18; 26,73 e 31,01 g de biomassa seca da parte aérea nos dois cortes. Sendo assim, o esterco de codorna foi aproximadamente 95% superior ao de bovino e 68% em relação ao composto orgânico. Vale a pena observar ainda, nessa mesma dose, o ganho de biomassa de parte aérea se mostrou estável com uso do esterco de codorna entre os cortes, com média de 28 g no 1º corte e 24 g no 2º corte. Entretanto, para o esterco bovino e composto orgânico verifica-se que a média de ambos foi de 20 g para o 1º corte e 9 g para o 2º corte, resultando uma redução de 45 % na matéria seca de folhas rebrotadas.

A comparação da composição química dos estercos pode possivelmente esclarecer o aumento da produção de biomassa seca proporcionada pelas diferentes fontes de adubo. Observa-se que o esterco de codorna continha maior concentração de macronutrientes quando comparado aos outros adubos. A concentração de nitrogênio no esterco de codorna foi 2,2 maiores em relação ao esterco bovino e 5,2 maiores em relação ao composto orgânico. Esse nutriente está relacionado à síntese de compostos estruturais como as proteínas (MARSCHNER, 2012).

O fósforo controla diretamente a capacidade de resposta da fotossíntese, desempenha um papel vital na formação de ligações de alta energia e da membrana fosfolipídica, e é um componente integral de várias reações metabólicas e vias de transdução de sinal (PANDEY et al., 2015). No esterco de codorna foi observado um valor de 3,5 a mais desse elemento em relação aos outros estercos. Estudos mostram que o aumento do fósforo no solo afetou o crescimento das plantas medicinais tais como *Calendula officinalis* (MOREIRA et al., 2005), *Pfafia glomerata* (SERRA et al., 2011), *Pimpinella anisum*, *Coriandrum sativum* e *Foeniculum vulgare* (KHALID, 2012).

Outro elemento que foi superior no esterco de codorna foi o potássio, com 3 vezes superior em relação ao bovino e 7 em relação ao composto orgânico. O potássio é um dos poucos cátions que não são componentes de estruturas orgânicas. É bastante envolvido na regulação osmótica, na manutenção do equilíbrio eletroquímico em células e seus compartimentos, e na regulação da atividade enzimática (PINTO e FERREIRA, 2015).



Cálcio, magnésio e enxofre também tiveram níveis superiores no esterco de codorna. O cálcio desempenha papel importante na morfogênese e exerce também função estrutural, por atuar na formação da parede e nos processos de divisão celular (ARRUDA et al., 2000). O magnésio é considerado o maior ativador de enzimas, especialmente daquelas associadas ao metabolismo energético das plantas (PAULA et al., 2015) e é o átomo central da molécula de clorofila (SHAUL, 2002). O enxofre tem por função ser grupo ativo de enzimas e coenzimas, sendo também componente de coenzimas (MALAVOLTA, VITTI e OLIVEIRA, 1997).

### 3.1- Análise foliar

Por meio da análise foliar observa-se que as plantas de *C. flexuosus* possuíram maiores teores de macro e micronutrientes quando cultivadas em substrato com esterco de codorna em relação ao esterco bovino e composto orgânico (Tabela 1).

De acordo com Malavolta et al. (1997), a faixa de suficiência de nitrogênio para Poaceas variam de 1,2–1,5%. Observou-se, valores entre 1,52–1,79% nas plantas adubadas com esterco de codorna, indicando assim, um bom suprimento. Para o fósforo, com exceção da testemunha, todos os tratamentos obtiveram valores superiores à faixa de suficiência.

Malavolta et al. (1997) sugere ainda que o teor de potássio varie entre 1,1–1,5% e somente o esterco de codorna proporcionou teores dentro da faixa de suficiência adequada. Para o magnésio, a faixa de 0,1 – 0,2% foi verificada as doses de 90 e 120 t ha<sup>-1</sup> de esterco bovino e todas as doses do esterco de codorna. Com relação ao cálcio e enxofre, todos os tratamentos obtiveram valores dentro do limite sugerido.

Tabela 1 - Análise foliar de macronutrientes e micronutrientes de *C. flexuosus* com o uso de diferentes fontes de adubos orgânicos (esterco bovino, codorna e composto orgânico) no 1º e 2º corte

Fonte e dose (t/ha)	C <sub>0</sub>	%						mg kg <sup>-1</sup>						
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn	Fe		
Bovino	0	1º	1,1	0,1	1,0	0,4	0,1	0,1	23	5	23	13	345	
		2º	1,1	0,1	0,9	0,4	0,1	0,1	13	2	25	9	334	
	30	1º	1,1	0,1	1,0	0,4	0,1	0,1	23	4	27	14	276	
		2º	0,9	0,2	0,7	0,4	0,1	0,1	13	1	27	6	316	
	60	1º	1,1	0,2	1,0	0,4	0,1	0,1	25	4	22	13	301	
		2º	0,9	0,2	0,8	0,5	0,1	0,1	10	-	28	7	222	
	90	1º	1,1	0,2	0,9	0,5	0,1	0,1	24	4	33	14	406	
		2º	0,9	0,3	0,8	0,4	0,1	0,1	13	1	26	10	193	
	12	1º	1,1	0,2	0,7	0,5	0,1	0,1	26	4	36	14	420	
	0	2º	0,8	0,3	0,8	0,4	0,1	0,1	19	1	30	9	176	
	Codorna	30	1º	1,5	0,2	1,1	0,5	0,1	0,1	27	6	41	25	300
			2º	1,5	0,2	1,1	0,3	0,1	0,2	18	4	43	20	167
60		1º	1,7	0,2	1,2	0,6	0,1	0,2	31	8	51	33	297	
		2º	1,7	0,2	1,4	0,4	0,1	0,2	36	5	29	24	103	
90		1º	1,7	0,1	1,3	0,4	0,1	0,2	29	6	32	25	291	
		2º	1,8	0,2	1,3	0,3	0,1	0,2	62	5	31	21	124	
12		1º	1,6	0,2	1,3	0,4	0,1	0,1	27	6	37	25	310	
0		2º	1,7	0,2	1,3	0,3	0,2	0,2	43	4	26	20	123	
Composto		30	1º	1,0	0,1	0,7	0,4	0,1	0,1	24	3	27	11	634
			2º	0,8	0,3	1,1	0,5	0,1	0,1	41	1	27	9	204
		60	1º	1,1	0,2	1,0	0,5	0,1	0,1	25	4	31	15	434
			2º	0,9	0,3	1,0	0,5	0,1	0,1	44	1	30	11	192
	90	1º	1,2	0,2	0,9	0,5	0,1	0,1	23	4	27	18	570	
		2º	0,9	0,4	1,0	0,4	0,1	0,1	62	2	23	15	200	
	12	1º	1,4	0,3	0,8	0,5	0,1	0,1	26	6	38	23	796	
	0	2º	0,9	0,4	1,3	0,5	0,1	0,1	44	2	29	27	242	
	Faixa de suficiência*	Inferior	1,2	0,08	1,1 0	0,3	0,1	0,1	15	5	80	20	100	
		Superior	1,5	0,12	1,5 0	0,6	0,2	0,2	30	15	300	50	200	

\* Malavolta, 1997

Ao considerar que as melhores doses de esterco de codorna para o ganho de biomassa foi entre 60 a 90 t ha<sup>-1</sup>, os teores de macronutrientes foliares adequados são de 1,7 a 1,8 (N); 0,2 (P); 1,1 (K); 0,5 (Ca); Mg (0,1) e 0,1 (S) e de micronutrientes 27 a 31 (B); 6 a 8 (Cu); 41 a 51 (Mn); 25 a 33 (Zn) e 300 (Fe). Portanto, infere-se que os nutrientes que mais diferenciam o

ganho de biomassa seca total foi o N e o Mn em que teores de 1,5 a 1,7 % de N e 41 a 51 mg kg<sup>-1</sup> de Mn estão relacionados as maiores biomassas secas.

### 3.2- Teor e rendimento de óleo essencial

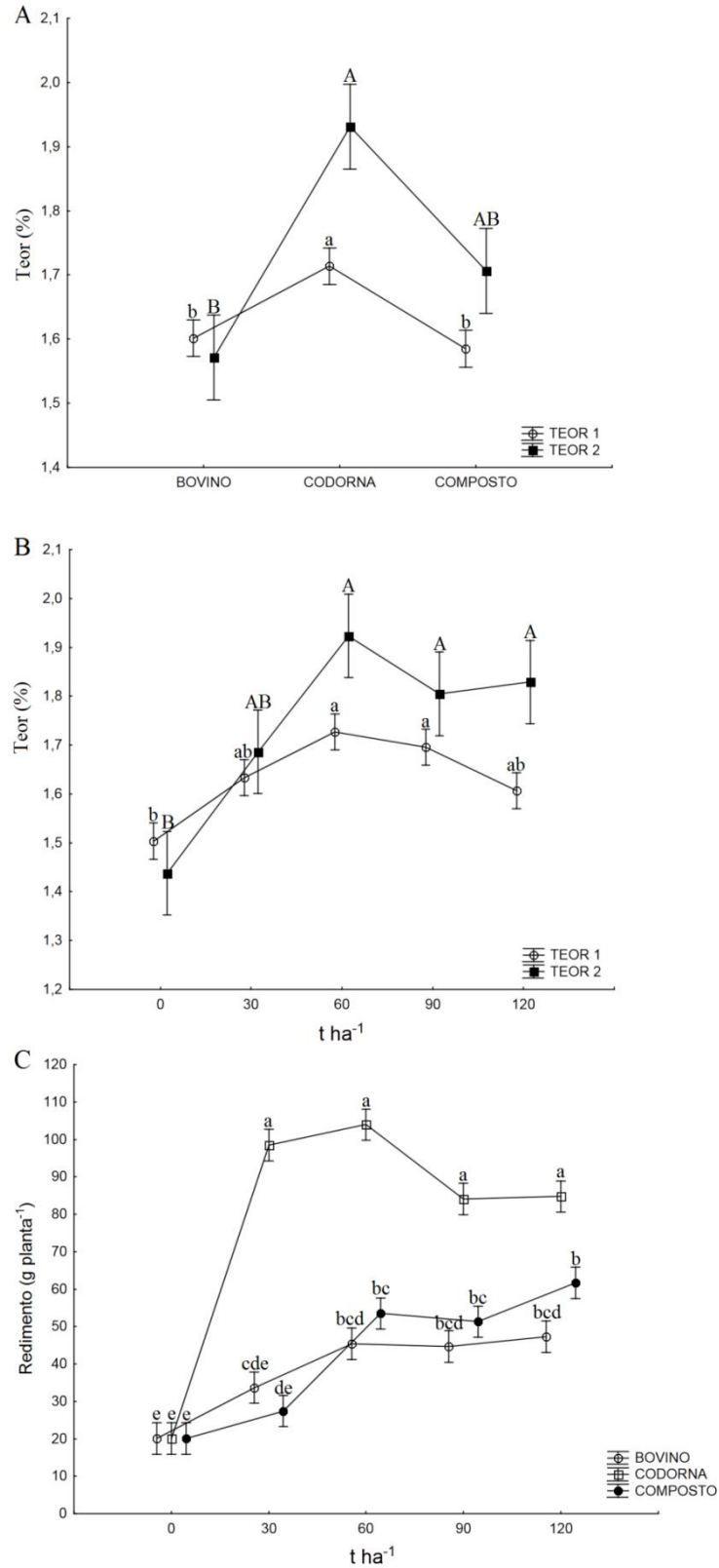
A interação entre as fontes e doses de adubos orgânicos não foi significativa para os teores de óleo essencial de *C. flexuosus*, portanto, os fatores foram estudados isoladamente. Por outro lado, para o rendimento de óleo essencial observa-se significância para essa interação (Figura 3).

O esterco de codorna proporcionou os maiores teores de óleo essencial no 1º (1,71%) e no 2º (1,93%) cortes (Figura 3). Observa-se ainda, o teor do 2º corte foi maior em relação ao 1º corte com a utilização de esterco de codorna e composto orgânico. Em relação às doses, verifica-se que a suplementação com adubos orgânicos influenciam positivamente o teor de óleo essencial, sendo que o menor teor ocorreu na dose 0 (sem adubação). Em valores absolutos, a maior média de teor no 1º (1,73%) e no 2º (1,92%) corte foi obtida com 60 t ha<sup>-1</sup> de adubo orgânico.

Esses resultados corroboram com Correa et al. (2010) que verificaram maior teor de óleo essencial de *Origanum vulgare* com maiores doses de adubo orgânico. Entretanto Silva et al. (2007), ao avaliar o efeito da ausência de adubação sobre a produção de óleo essencial de *Baccharis trimera*, verificaram que, quando não se utilizou nenhuma adubação, houve tendência de aumento no teor de óleo.

Em relação ao rendimento de óleo essencial de *C. flexuosus*, a adubação orgânica com esterco de codorna, em todas as dosagens testadas, proporcionou as maiores médias em comparação ao esterco bovino e composto (Figura 3). Na dose de 60 t ha<sup>-1</sup> de esterco de codorna verifica-se o maior intervalo de rendimento de óleo essencial (99,77 a 108,15 g planta<sup>-1</sup>). Doses iguais e superiores 60 t ha<sup>-1</sup> resultaram em maior rendimento de óleo essencial para esterco bovino e composto, sendo estatisticamente semelhantes.

Figura 3– Efeito de diferentes fontes (A) e doses (B) nos teores do 1° e 2° cortes e (C) rendimento total de óleo essencial de *C. flexuosus*. (Letras maiúsculas no segundo corte e minúsculas no primeiro corte não diferenciam entre si pelo teste de Tukey  $p < 0,05$ )



Como já discutido, *C. flexuosus* respondeu positivamente ao aumento de nutrientes no solo tanto em termos de produção de metabólitos secundários como em crescimento. O rendimento de óleo essencial extraído das folhas aumentou com a utilização de esterco de codorna, por causa da relação direta com a produção de biomassa vegetal. Essa mesma correlação foi observada por Sales et al. (2009) em *Hyptis marrubioides*, Rosal et al. (2011) em *Plectranthus neochilius* e por Corrêa et al. (2010) em *Origanum vulgare*.

De acordo com Rosal et al. (2011), não há na literatura um consenso em relação à resposta do rendimento de óleo essencial frente ao uso de diferentes tipos de adubos e, muito menos, de doses. Isso pode estar relacionado com o fato de as plantas medicinais compreenderem um amplo e diversificado grupo de espécies, com grande variabilidade quanto à produção de metabólitos secundários, cuja biossíntese varia em função de fatores extrínsecos e intrínsecos à espécie.

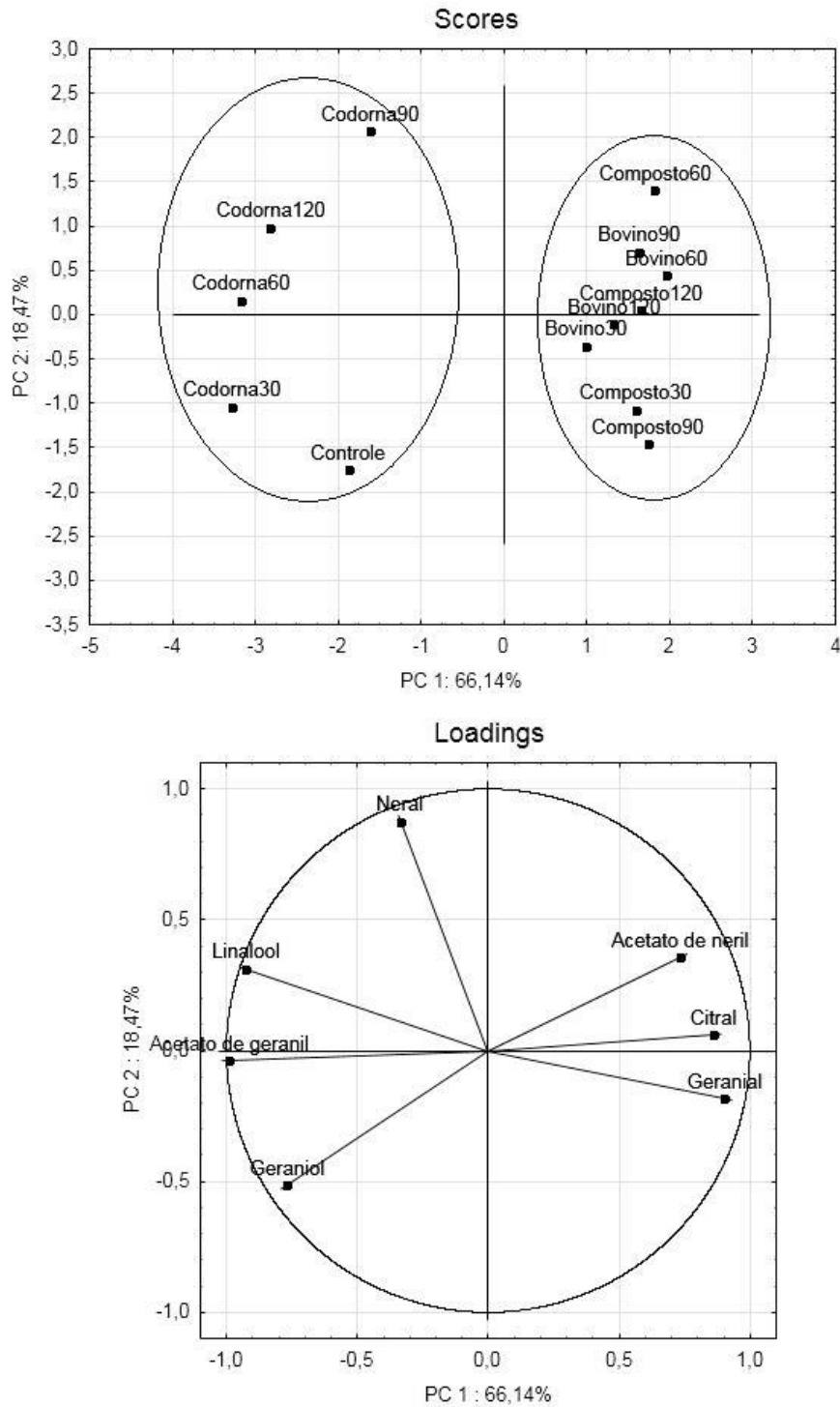
### 3.3- Análise dos constituintes químicos do óleo essencial

A análise química do óleo essencial de *C. flexuosus* resultou na identificação de 16 compostos, dos quais 14 são monoterpenos. Os constituintes linalool, neral, geraniol, geranial, acetato de neril e acetato de geranil corresponderam juntos a 80% da área relativa dos picos.

O óleo é constituído principalmente (75-85%) de um aldeído monoterpeno denominando citral (3,7- dimetil2,6-octadienal) que é uma mistura racêmica dos isômeros geranial e neral (GUPTA e GANJEWALA, 2015). São atribuídas a esse monoterpeno as principais atividades terapêuticas e biológicas (GANJEWALA e LUTHRA, 2010; VERA et al., 2014; ADUKWU et al., 2016). Observou-se que o teor médio de neral (24,08%) e geranial (48,81%) contribuiu com mais de 72%. Silva et al. (2015) em análise de óleo de *Cymbopogon flexuosus*, também identificou estes constituintes como os principais, sendo que o neral com 33,40% e geranial com 46,86% e Adukwu et. al. (2016) encontrou 89% de citral no óleo, sendo 38,5% de neral e 50,5% de geranial.

Observa-se pela análise dos componentes principais (PCA) dos seis compostos químicos majoritários e o citral um ajuste de 84,61% (PC1+PC2). As PCs separaram esses tratamentos em dois grupos. O tratamento controle e o esterco de codorna em todas as dosagens foram distinguidos do esterco bovino e composto (Figura 4).

Figura 4 – Análises de Componentes Principais (PCA) das médias dos compostos majoritários do óleo essencial de *C. flexuosus* em diferentes fontes e doses de adubos orgânicos.



É possível verificar que os constituintes acetato de neril, citral e geranial apresentaram em maior teor no esterco bovino e composto, independente da dose. Por outro lado, observa-se ainda o substrato sem adubação orgânica influenciou positivamente o teor de geraniol e o esterco de codorna os teores de neral, linalool e acetato de geranil (Figura 4).

Por meio dessa análise multivariada infere-se ainda que geranial, citral e acetato de neril apresentam correlação negativa com linalool, acetato de geranil, geraniol, respectivamente. Ganjewala e Luthra(2010) estudaram a rota biossintética de *C. flexuosus* e concluíram que o geraniol é submetido à oxidação por uma enzima geraniol desidrogenase para produzir geranial, que através de uma isomerase se transforma em neral.

#### **4-CONCLUSÕES**

Esterco bovino, de codorna e composto em diferentes doses alteram o ganho de biomassa seca, o teor, o rendimento e a qualidade do óleo essencial de *Cymbopogon flexuosus*. A espécie responde positivamente ao aumento de nutrientes no solo tanto em termos de produção de metabolitos secundários como em crescimento. O maior crescimento e rendimento de óleo essencial são obtidos com a adubação entre 60 a 90 t ha<sup>-1</sup> de esterco de codorna. Teor de neral no óleo essencial é aumentado com a utilização de 90 t ha<sup>-1</sup> esterco de codorna e o teor de geranial com 30 e 90 t ha<sup>-1</sup> de composto orgânico.

**AGRADECIMENTOS:** Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de nível Superior (CAPES) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

- ADAMS, R. P. **Identification of essential oils by ion trap mass spectroscopy**. Academic Press, 2007. ISBN 0323137946.
- ADUKWU, E. C. et al. Antimicrobial activity, cytotoxicity and chemical analysis of lemongrass essential oil (*Cymbopogon flexuosus*) and pure citral. **Appl Microbiol Biotechnol**, v. 100, n. 22, p. 9619-9627, Nov 2016.
- ARRUDA, S. et al. Anatomical and biochemical characterization of the calcium effect on *Eucalyptus urophylla* callus morphogenesis in vitro. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 63, n. 2, p. 142-154, 2000.
- BEZERRA, A. M. E. et al. Rendimento de biomassa, óleo essencial, teores de fósforo e potássio de cambá em resposta à adubação orgânica e mineral. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n. 2, p. 124-129, 2006.
- BRANT, R. D. S. et al. Produção de biomassa e teor do óleo essencial de cidrão em função da adubação orgânica. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. 111-114, 2010.
- CHAGAS, J. H. et al. Produção da hortelã-japonesa em função da adubação orgânica no plantio e em cobertura. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p. 412-417, 2011.
- CORRÊA, R. M. et al. Adubação orgânica na produção de biomassa de plantas, teor e qualidade de óleo essencial de orégano (*Origanum vulgare* L.) em cultivo protegido. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 12, p. 80-89, 2010.
- COSTA, L. C. D. B. et al. Tipos e doses de adubação orgânica no crescimento, no rendimento e na composição química do óleo essencial de elixir paregórico. **Ciência Rural**, v. 38, p. 2173-2180, 2008.
- DAVIES, N. W. Gas chromatographic retention indices of monoterpenes and sesquiterpenes on methyl silicon and Carbowax 20M phases. **Journal of Chromatography A**, v. 503, p. 1-24, 1990.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. **Rio de Janeiro: Embrapa Solos**, 1997.
- \_\_\_\_\_. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro**, 2013.
- GANJEWALA, D.; LUTHRA, R. Essential oil biosynthesis and regulation in the genus *Cymbopogon*. **Nat Prod Commun**, v. 5, n. 1, p. 163-72, Jan 2010.
- GARLET, T. M. B.; SANTOS, O. S. D. Solução nutritiva e composição mineral de três espécies de menta cultivadas no sistema hidropônico. **Ciência Rural**, v. 38, p. 1233-1239, 2008.
- GUPTA, A. K.; GANJEWALA, D. A study on biosynthesis of "citral" in lemongrass (*C. flexuosus*) cv. Suvarna. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 37, n. 11, Nov 2015.
- JOYCE, B. L. et al. Ethanol and High-Value Terpene Co-Production from Lignocellulosic Biomass of *Cymbopogon flexuosus* and *Cymbopogon martinii*. **PLoS One**, v. 10, n. 10, p. e0139195, 2015.



- KHALID, K. A. Effect of NP and foliar spray on growth and chemical compositions of some medicinal *Apiaceae* plants grow in arid regions in Egypt. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 12, n. 3, p. 581-596, 2012.
- MAIA, S. S. S. et al. Influência da adubação orgânica e mineral no cultivo do bamburral (*Hyptis suaveolens* (L.) Poit.) (Lamiaceae). **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, n. 4, p. 327-331, 2008.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. D. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. 1997.
- MARIGOWDA, V. et al. Studies on antibacterial, antioxidant and anticancerous activity using essential oil from *Cymbopogon flexuosus* (stapf). **International Journal of Advanced Research** v. 4, p. 1324-1341, 2016.
- MARSCHNER, H. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. : Academic press 2012.
- MAY, A. et al. Influência do intervalo entre cortes sobre a produção de biomassa de duas espécies de capim limão. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. 379-382, 2008.
- MEENA, S. et al. De Novo Sequencing and Analysis of Lemongrass Transcriptome Provide First Insights into the Essential Oil Biosynthesis of Aromatic Grasses. **Front Plant Sci**, v. 7, p. 1129, 2016.
- MOREIRA, P. A. et al. Desenvolvimento vegetativo e teor foliar de macronutrientes da calêndula (*Calendula officinalis* L.) adubada com nitrogênio e fósforo. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 8, n. 1, 2005.
- NIST, N. I. O. S. A. T.-. **PC version 2.0 of the NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library**. Gaithersburg: U.S. 2008.
- PANDEY, R. et al. Physiological and molecular alterations in plants exposed to high [CO<sub>2</sub>] under phosphorus stress. **Biotechnology Advances**, v. 33, n. 3, p. 303-316, 2015/05/01/ 2015.
- PAULA, Y. C. M. et al. Micropropagação de bananeira sob diferentes concentrações de potássio e magnésio. **Tecnologia & Ciencia Agropecuária**, v. 9, n. 3, p. 43-47, 2015.
- PINTO, E.; FERREIRA, I. Cation transporters/channels in plants: tools for nutrient biofortification. **Journal of plant physiology**, v. 179, p. 64-82, 2015.
- ROSAL, L. F. et al. Produção vegetal e de óleo essencial de boldo pequeno em função de fontes de adubos orgânicos. **Revista Ceres**, v. 58, n. 5, p. 670-678, 2011.
- SALES, J. F. et al. Acúmulo de massa, teor foliar de nutrientes e rendimento de óleo essencial de hortelã-do-campo (*Hyptis marruboides* Epl.) cultivado sob adubação orgânica. **Bioscience Journal**, v. 25, p. 60-68, 2009.
- SERRA, A. P. et al. Produção de biomassa e absorção de N e P pela *Pfaffia glomerata* (Spreng.) Pedersen em função de doses de N e P em condições de casa de vegetação. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 13, n. 3, p. 265-270, 2011.
- SHARMA, P. R. et al. Anticancer activity of an essential oil from *Cymbopogon flexuosus*. **Chem Biol Interact**, v. 179, n. 2-3, p. 160-8, May 15 2009.

SHAUL, O. Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg. **Biometals**, v. 15, n. 3, p. 307-321, 2002.

SILVA, F. C. D. S. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. ISBN 8573834307.

SILVA, F. G. et al. Influence of manure and fertilizer on *Baccharis trimera* (Less.) D.C. growth and essential oil yield. **Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants**, v. 13, n. 1, p. 83-92

SILVA, J. et al. Essential oil of *Cymbopogon flexuosus*, *Vernonia polyanthes* and potassium phosphite in control of bean anthracnose. Ebène. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 9, n. 8, p. 243-253, 2015.

VAN DEN DOOL, H.; KRATZ, P. D. A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas—liquid partition chromatography. **Journal of Chromatography A**, v. 11, p. 463-471, 1963.

VERA, S. S. et al. Essential oils with insecticidal activity against larvae of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). **Parasitol Res**, v. 113, n. 7, p. 2647-54, Jul 2014.

**ARTIGO 2****OMISSÃO DE MACRONUTRIENTES DA SOLUÇÃO NUTRITIVA ALTERA O  
CRESCIMENTO E O TEOR DE CITRAL DE *Cymbopogon flexuosus***

**Vauvenargues Lopes<sup>1</sup>, Alexandre Alves de Carvalho<sup>1</sup>, Suzan Kelly Vilela Bertolucci<sup>1</sup>,  
José Eduardo Brasil Pereira Pinto<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Setor de Cultura de Tecidos e Plantas Mediciniais, Departamento de Agricultura,  
Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037, Lavras, MG, CEP 37200-000

Preparado Segundo a Norma NBR 6022:2003

## RESUMO

*Cymbopogon flexuosus* Stapf é uma espécie medicinal cultivada em vários continentes. O óleo essencial extraído de suas folhas possui relevante valor comercial e muito utilizado em sabores, fragrâncias, perfumaria, cosméticos, sabões, detergentes e na indústria farmacêutica. Objetivou-se estudar o efeito da omissão dos macronutrientes no crescimento, diagnose visual, teor e composição química do óleo essencial de *C. flexuosus* em cultivo hidropônico. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições e três plantas por vaso para cada repetição. Os tratamentos foram caracterizados, sob a técnica do elemento faltante, pela omissão dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S. Após 90 dias de cultivo, os sintomas de deficiência foram fotografados e caracterizados. As biomassas secas de raiz e de parte aérea, relação raiz e parte aérea, número de perfilhos, análise foliar, teor, rendimento e composição química do óleo essencial foram avaliadas. As omissões de macronutrientes provocaram sintomas visuais de deficiência nutricional, comuns a outras espécies. A ordem de limitação da BST foi  $K=Mg>N=Ca=P>S$ . Potássio e magnésio foram os macronutrientes mais limitantes para a produção de biomassa. O maior teor de óleo essencial foi verificado sob omissão de enxofre e o rendimento semelhante à solução completa. A análise química do óleo essencial foi alterada quantitativamente em cultivo hidropônico. A omissão de P e N promoveu aumento dos teores de citral.

Palavras-chave: Planta aromática, nutrição, hidroponia, capim-limão.

## ABSTRACT

*Cymbopogon flexuosus* Stapf is a medicinal species cultivated in several continents. The essential oil extracted from its leaves has relevant commercial value and is widely used in flavors, fragrances, perfumery, cosmetics, soaps, detergents and in the pharmaceutical industry. The objective of this study was to evaluate the effect of macronutrients omission on growth, visual diagnosis, content and chemical composition of *C. flexuosus* essential oil in hydroponic cultivation. A completely randomized design with four replicates and three plants per pot was used for each replicate. The treatments were characterized by the omission of macronutrients N, P, K, Ca, Mg and S. After 90 days of cultivation, the deficiency symptoms were photographed and characterized. Root and shoot dry weight, root and shoot ratio, number of tillers, leaf analysis, content, yield and chemical composition of the essential oil were evaluated. Macronutrient omissions caused visual symptoms of nutritional deficiency common to other species. The limiting order of TDW was  $K = Mg > N = Ca = P > S$ . Potassium and magnesium were the most limiting macronutrients for biomass production. The highest content of essential oil was verified under omission of sulfur and the yield similar to the complete solution. The chemical analysis of the essential oil was quantitatively changed in hydroponic culture. The omission of P and N promoted an increase of citral contents

Keywords: Aromatic plant, nutrition, hydroponics, lemongrass.

## 1-INTRODUÇÃO

*Cymbopogon flexuosus* Stapf, família Poaceae (Gramineae), é conhecida popularmente como capim-limão da Índia, capim Cochin e capim Malabar (MARIGOWDA et al., 2016). Cultivada em vários continentes, possui origem no Sul da Ásia, Sudeste Asiático e Austrália (MAY et al., 2008). O óleo essencial extraído dessa espécie é amplamente utilizado e comercializado pela indústria farmacêutica, alimentícia, higiene e cosmética (GANJEWALA e LUTHRA, 2010). A produção mundial estimada é de 800 a 1300 toneladas de óleo por ano, sendo que 40% dessa produção é originária da China e Indonésia (JOYCE et al., 2015).

O óleo de *C. flexuosus* possui atividades sedativas, digestivas, antirreumáticas, calmantes, antifebris, carminativas, estomáticas, analgésicas, antiespasmódicas e antimicrobianas (MAY et al., 2008; MEENA et al., 2016). Além de ser um bom candidato para estratégias terapêuticas inovadoras contra o câncer devido seu potencial citotóxico e anticancerígeno (SHARMA et al., 2009; MARIGOWDA et al., 2016). O monoterpene citral, mistura racêmica dos isômeros geranial e neral, corresponde de 75 a 85% da composição química do óleo. Propriedades biológicas como atividade inseticida e larvicida contra *Aedes aegypti* (VERA et al., 2014), antifúngica (GANJEWALA e LUTHRA, 2010), bactericida e antimicrobiana (ADUKWU et al., 2016) são atribuídas a esse constituinte majoritário. Ainda segundo Joyce et al. (2015), inibe fermentação de *Saccharomyces cerevisiae* em biorrefinarias de álcool.

Os nutrientes minerais desempenham funções essenciais e específicas, portanto sua deficiência ou toxidez é observada através de quadros sintomatológicos, muitas vezes característicos para cada nutriente (OLIVEIRA et al., 2009). A solução nutritiva e a técnica do elemento faltante são utilizadas na pesquisa científica principalmente para obtenção de informações sintomatológicas de carência ou toxidez de determinado nutriente nas plantas, auxiliando no aperfeiçoamento do sistema de produção (ANDRIOLO, BONINI e BOEMO, 2002; ALVES et al., 2008).

Maia et al. (2014) observaram que o número de pesquisas em relação ao cultivo de plantas medicinais em hidroponia é um assunto crescente no meio científico, sendo seu manejo viável. Ainda de acordo com esses autores, o sistema hidropônico possibilita a produção de mudas sem resíduos agroquímicos, além de incrementar o teor de princípios ativos de interesse. Estudos em solução nutritiva vêm sendo realizados com diversas espécies medicinais, tais como: *Mentha arvensis* (CARVALHO et al., 2016); *Achillea millefolium*

(ALVARENGA et al., 2015); *Coriandrum sativum* (DAFLON et al., 2014); *Ocimum sp.*(DO AMARAL et al., 2015); *Maytenus ilicifolia* (BENEDETTI et al., 2009); *Arrabidaea achica* (DA SILVA JÚNIOR et al., 2011).

Neste contexto, objetivou-se avaliar o crescimento, a produção e a composição química do óleo essencial de *C. flexuosus* e caracterizar os sintomas visuais de deficiência dos macronutrientes em cultivo hidropônico, empregando a técnica do elemento faltante.

## 2-MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 - Condução, colheita e análise vegetativa

O experimento foi instalado em estufa plástica de 18,5 x 13 m, posição norte-sul, do Laboratório de Cultura de Tecidos Vegetais e Plantas Medicinais do Departamento de Agricultura, da Universidade Federal de Lavras (DAG/UFLA), situada na região sul de Minas Gerais, a 918 m de altitude, latitude 21° 14'S e longitude 45° 00'W.

Plantas matrizes de *C. flexuosus pertencentes ao* Horto de Plantas Medicinais da UFLA foram identificadas e comparadas com a excitada depositada pelo Herbário do IAC, mantida pelo número 45335. As mudas foram propagadas por divisão de touceira, tendo cada perfilho tamanho aproximado de 8 cm de altura. Os propágulos foram cultivados em bandejas de poliestireno expandido contendo substrato comercial Plantmax Hortaliças HT<sup>®</sup>, e mantidos em casa de vegetação com 60% de sombreamento. Após 60 dias, as plantas foram adaptadas em 25 e 50% da solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950), por uma semana cada. Em seguida, foram individualizadas em vasos com capacidade de seis litros com 100% da força iônica dessa solução, aplicando-se a técnica do elemento faltante, durante 90 dias.

Foi utilizado delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), com sete tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram: a solução completa (testemunha) e omissões de macronutrientes (-N, -P, -K, -Ca, -Mg e -S). A parcela experimental foi composta de três plantas por vaso.

As soluções foram preparadas com reagentes puros. A composição química da solução nutritiva completa foi de 210,1 mg L<sup>-1</sup> de N; 31 mg L<sup>-1</sup> de P; 234,6 mg L<sup>-1</sup> de K; 200,4 mg L<sup>-1</sup> de Ca; 48,6 mg L<sup>-1</sup> de Mg; 64,2 mg L<sup>-1</sup> de S; 500 µg L<sup>-1</sup> de B; 20 µg L<sup>-1</sup> de Cu; 648 µg L<sup>-1</sup> de Cl; 5,022 µg L<sup>-1</sup> de Fe; 502 µg L<sup>-1</sup> de Mn; 11 µg L<sup>-1</sup> de Mo e 50 µg L<sup>-1</sup> de Zn por litro de solução. Nas soluções relativas aos tratamentos, as concentrações dos nutrientes foram idênticas às da solução completa, exceto quanto ao nutriente omitido.

As soluções foram renovadas quinzenalmente e completadas com adição de água deionizada, sempre que necessário. Os vasos utilizados eram de plástico preto e seu exterior foi pintado com tinta alumínio, para impedir o aquecimento da solução nutritiva. A aeração foi realizada por compressor de ar e na extremidade de cada mangueira, instalou-se uma pedra porosa cilíndrica com 1cm de diâmetro e 2 cm de comprimento.

Os sintomas foram observados, descritos e fotografados ao final do período experimental. O material colhido foi desidratado em estufa com ventilação forçada a 40 °C por três dias. Avaliou-se, em grama por planta, biomassa seca da folha (BSF), base foliar (BSB), parte aérea (BSPA), raiz (BSR) e total (BST). A biomassa seca da base foliar (BSB) corresponde à região seccionada entre a raiz e a folha. A biomassa seca da parte aérea (BSPA) foi calculada pelo somatório das biomassas secas da folha e da base foliar (BSF+BSB). Determinou-se ainda, relação raiz e parte aérea (R:PA), número de perfilhos (NP) e porcentagem das produções relativas da biomassa seca total (PRBST), sendo o tratamento completo correspondente a 100%. A relação entre a raiz e a parte aérea (R:PA) foi obtida por meio da divisão da biomassa seca de raiz pela biomassa seca de parte aérea (BSR/BSPA).

## **2.2- Análise Foliar**

As amostras retiradas para avaliação da biomassa seca foram moídas em moinho tipo Wiley e enviadas ao Laboratório de Análise Foliar do Departamento de Química da UFLA, para determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Mn, Zn e Fe de acordo com metodologia proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

## **2.3- Extração e análises químicas do óleo essencial**

A extração do óleo essencial de *C. flexuosus* foi realizada pelo processo de hidrodestilação em aparelho de Clevenger modificado, utilizando-se uma amostra de 10 g de biomassa seca das folhas em 1L de água destilada por um período de 90 min. O óleo essencial foi purificado por partição líquido-líquido com diclorometano (3 × 5 mL). A fase orgânica foi reunida e tratada com cerca de 5 g de sulfato de magnésio anidro durante 30 min. Após esse período a solução foi filtrada e o solvente evaporado a temperatura ambiente, sob capela de exaustão de gases. Foi obtido cinco repetição por tratamento de óleo essencial de amostras compostas de biomassa seca, as quais foram armazenadas em frascos âmbar. Desta forma, determinou-se o teor (%) e o rendimento (mg planta<sup>-1</sup>) do óleo essencial. O teor de cada



amostra representa o peso do óleo (mg) em 100 mg de biomassa seca foliar e o rendimento, a multiplicação entre teor e biomassa seca foliar.

Para as análises quantitativas, o óleo essencial foi analisado em sistema Agilent 5890A equipado com detector de ionização em chama (DIC), empregando coluna HP-5MS (30 cm de comprimento x 250  $\mu\text{m}$  de diâmetro interno x 0,25  $\mu\text{m}$  de espessura). Utilizou-se hélio como gás de arraste com fluxo de 1,0  $\text{mL min}^{-1}$ . As temperaturas do injetor e do detector foram 220 e 240  $^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. A temperatura inicial do forno foi de 60  $^{\circ}\text{C}$ , mantida por 1 min, seguida por uma rampa de temperatura de 3  $^{\circ}\text{C min}^{-1}$  até 150  $^{\circ}\text{C}$ , e posteriormente, por uma rampa de 10  $^{\circ}\text{C min}^{-1}$  até 250 $^{\circ}\text{C}$ . O óleo essencial foi diluído em acetato de etila (1%, v/v) e 1  $\mu\text{l}$  foi injetado no modo *split* a uma razão de 1:50. As análises foram realizadas em triplicata e os resultados expressos pela média da porcentagem de área normalizada relativa dos picos cromatográficos  $\pm$  o desvio padrão.

As análises qualitativas foram realizadas em Cromatógrafo Agilent<sup>®</sup> 7890A acoplado a um detector seletivo de massas Agilent<sup>®</sup> MSD 5975C (Agilent Technologies, Califórnia, EUA), operado por ionização de impacto eletrônico a 70 eV, em modo varredura, a uma velocidade de 1,0 scan/s, com intervalo de aquisição de massas de 40-400 m/z. As condições operacionais foram as mesmas empregadas nas análises por CG-DIC.

Os componentes foram identificados por comparação de seus índices de retenção calculados ( $\text{IK}_c$ ) com dados de espectros de massas e índices de retenção (IK) de literaturas (DAVIES, 1990; ADAMS, 2007) e por comparação dos espectros de massas do banco de dados da biblioteca NIST/EPA/NHI (NIST, 2008) e de literatura (ADAMS, 2007). Os índices de retenção foram calculados usando-se a equação de Van den Dool e Kratz (1963) e para as atribuições foram consultados índices de retenção citados em literatura (ADAMS, 2007).

#### **2.4- Análise estatística**

Utilizou-se o software Statistica<sup>®</sup>, versão 12 (StatSoft – trial version) para as análises estatísticas dos dados experimentais. Os valores observados foram submetidos à análise de variância (ANOVA,  $p < 0,05$ ) e comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). A análise de componentes principais (PCA) foi utilizada para estudar os compostos majoritários do óleo essencial.

### 3-RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de biomassa seca foi maior nas plantas cultivadas em solução nutritiva completa. Todas as médias das variáveis analisadas diferiram estatisticamente em função das omissões de macronutrientes (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores médios do número de perfilhos (NP), biomassa seca de raiz (BSR), folha (BSF), base foliar (BSB), parte aérea (BSPA) e total (BST), produção relativa da biomassa seca total (PRBST) e relação raiz e parte aérea (R:PA) de *C. flexuosus* sob omissão de macronutrientes em cultivo hidropônico.

	NP	BSR	BSF	BSB	BSPA	BST	PRBST	R:PA
	-----g planta <sup>-1</sup> -----						%	
<b>Completo</b>	76 a	13,22 a	44,24 a	7,56 a	51,80 a	65,02 a	100	0,26 c
<b>-N</b>	18 b	6,36 b	5,47d	2,80 b	8,27 d	14,36 c	22,1	0,76 b
<b>-P</b>	23 b	12,53 a	8,76c	3,81 b	12,58 c	25,11 c	38,6	1,00 a
<b>-K</b>	7 b	0,94 c	2,40d	0,91c	3,31 d	4,25d	6,5	0,29 c
<b>-Ca</b>	20 b	3,37 c	10,38c	3,23 b	13,60 c	16,97 c	26,1	0,24 c
<b>-Mg</b>	11 b	1,39 c	3,12d	1,03c	4,15 d	5,54d	8,5	0,34 c
<b>-S</b>	67 a	12,35 a	36,77b	6,04 a	42,76 b	55,11 b	84,8	0,29 c
<b>CV(%)</b>	27,15	28,55	22,17	36,28	24,41	22,41	-	24,19

As médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O número de perfilhos com omissão de S (67) foi semelhante à solução completa (76). As outras omissões reduziram muito a capacidade de perfilhamento de *C. flexuosus* (Tabela 1). A maior limitação ao crescimento das raízes (BSR) foi verificada na omissão das bases K, Ca e Mg com redução, em relação ao tratamento completo, de 93, 75 e 89%, respectivamente. No entanto, a BSR não foi afetada pela ausência de P e S (Tabela 1). Daflon et al. (2014) também observaram que a omissão de S não provocou reduções na matéria seca das raízes de *Coriandrum sativum*.

A produção da BSF e BSB foram mais afetadas pelos macronutrientes N, K e Mg. Consequentemente, a BSPA apresentou maior limitação nas omissões dos mesmos nutrientes (Tabela 1). A redução da produção de biomassa seca está relacionada à função desses nutrientes nas estruturas do aparato fotossintético e na fotossíntese. A deficiência de N inibe o crescimento vegetal, pelo fato desse nutriente ser constituinte de muitos componentes da

célula vegetal, incluindo aminoácidos e ácidos nucléicos (CARVALHO et al., 2016). O potássio atua principalmente na regulação do potencial osmótico e manutenção do pH na célula, controla a abertura e fechamento de estômatos (MALAVOLTA, 2006). O magnésio é o átomo central da molécula de clorofila (SHAUL, 2002).

Todos os tratamentos com omissão de macronutrientes apresentaram biomassa seca total inferior à do tratamento completo. A ordem de limitação de nutrientes para a BST foi  $K=Mg>N=Ca=P>S$ . As produções relativas da biomassa seca total (PRBST) apresentaram menores porcentagens para K (6,5%) e Mg (8,5%), reduzindo o ganho de biomassa em 93,5 e 91,5%, respectivamente (Tabela 1). Puga et al. (2010), ao estudar efeito da omissão de macronutrientes em chicória, verificaram também melhor rendimento de biomassa seca total na solução completa e na omissão do enxofre.

De acordo com Sanchez e Uehara (1980), considera-se como deficiência severa quando a produção de massa seca cai a 40% em relação ao tratamento completo. Portanto, com base na afirmação desses pesquisadores, pode-se concluir que a omissão de N, P, K, Ca e Mg induziram deficiências severas em *C. flexuosus* aos 90 dias.

A relação R:PA foi maior nas plantas cultivadas sob omissão de fósforo seguido de nitrogênio. Os demais tratamentos apresentaram valores menores e estatisticamente semelhantes (Tabela 1). Esse resultado indica que a solução completa e as omissões de K, Ca, Mg e S direcionam a distribuição de biomassa para a parte aérea da planta.

Por meio da análise foliar, verifica-se que a porcentagem de cada macro omitido, exceção do S, se encontra inferior ao limite sugerido para as gramíneas de acordo com Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) (Tabela 2).

Tabela 2- Análise foliar de *C. flexuosus* sob omissão de macronutrientes em cultivo hidropônico por 90 dias.

	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Zn	Fe	
	-----%-----						-----mg kg <sup>-1</sup> -----					
<b>Completo</b>	2,19	0,99	2,40	0,35	0,25	0,22	19,18	7,39	37,58	12,33	165,23	
<b>-N</b>	0,72	0,72	1,77	0,24	0,17	0,42	38,19	3,89	146,12	17,69	263,93	
<b>-P</b>	0,66	0,04	1,66	0,98	0,33	0,28	52,53	4,28	50,72	13,29	307,41	
<b>-K</b>	2,46	1,99	0,19	0,86	0,59	0,43	41,69	8,75	70,73	18,55	339,12	
<b>-Ca</b>	2,26	1,73	2,83	0,09	0,51	0,43	65,03	7,24	95,31	16,74	251,64	
<b>-Mg</b>	1,98	1,29	2,60	0,86	0,08	0,21	44,52	6,27	64,83	13,79	244,29	
<b>-S</b>	2,32	1,23	2,17	0,49	0,32	0,20	34,19	8,37	46,12	12,09	153,78	
<b>Faixa de suficiência*</b>	<b>Inferior</b>	1,2	0,08	1,10	0,3	0,1	0,1	15	5	80	20	100
	<b>Superior</b>	1,5	0,12	1,50	0,6	0,2	0,2	30	15	300	50	200

\* Malavolta, 1997

Observa-se que no tratamento com omissão de enxofre, o teor foliar desse nutriente (0,2%) foi semelhante à solução completa (0,22). A mobilidade do enxofre na planta é praticamente inexistente, além de ser elemento constituinte de proteínas, aminoácidos essenciais, membranas celulares e outros compostos (MARSCHNER, 2012). Desta forma, possivelmente, pode ter ocorrido incorporação precoce de S, no período de adaptação, em moléculas orgânicas essenciais ao desenvolvimento inicial da planta.

Vale a pena ressaltar ainda que o teor foliar de N reduziu consideravelmente com omissão de P (0,66) em comparação a solução completa (2,19). A relação oposta também foi verificada, com a omissão de N o teor de P reduziu em relação aos demais tratamentos. Ågren, Wetterstedt e Billberger (2012) relatam que a adubação nitrogenada pode estimular a atividade da fosfatase extracelular e, portanto, aumentar a absorção de P.

A importância da avaliação dos teores nutricionais no tecido vegetal é relatada por Daflon et al. (2014). Esses pesquisadores observaram, uma vez que, mesmo sem sintomas visuais, os teores de potássio na planta do tratamento -K foram inferiores aos teores

encontrados no tratamento completo. Portanto, a partir de análises foliares é possível realizar inferências mais precisas de um fato.

Os sintomas de deficiência de N, P, Ca e S, nas folhas e raízes, foram fotografados aos 90 dias após a aplicação dos tratamentos (Figura 1). As plantas com omissão de K e Mg morreram após 35 dias, não sendo possível o seu registro ao final do período experimental.

A solução completa proporcionou plantas com folhas verdes escuras e sistema radicular abundante, em comparação aos demais tratamentos, durante os 90 dias de execução do ensaio (Figura 1).

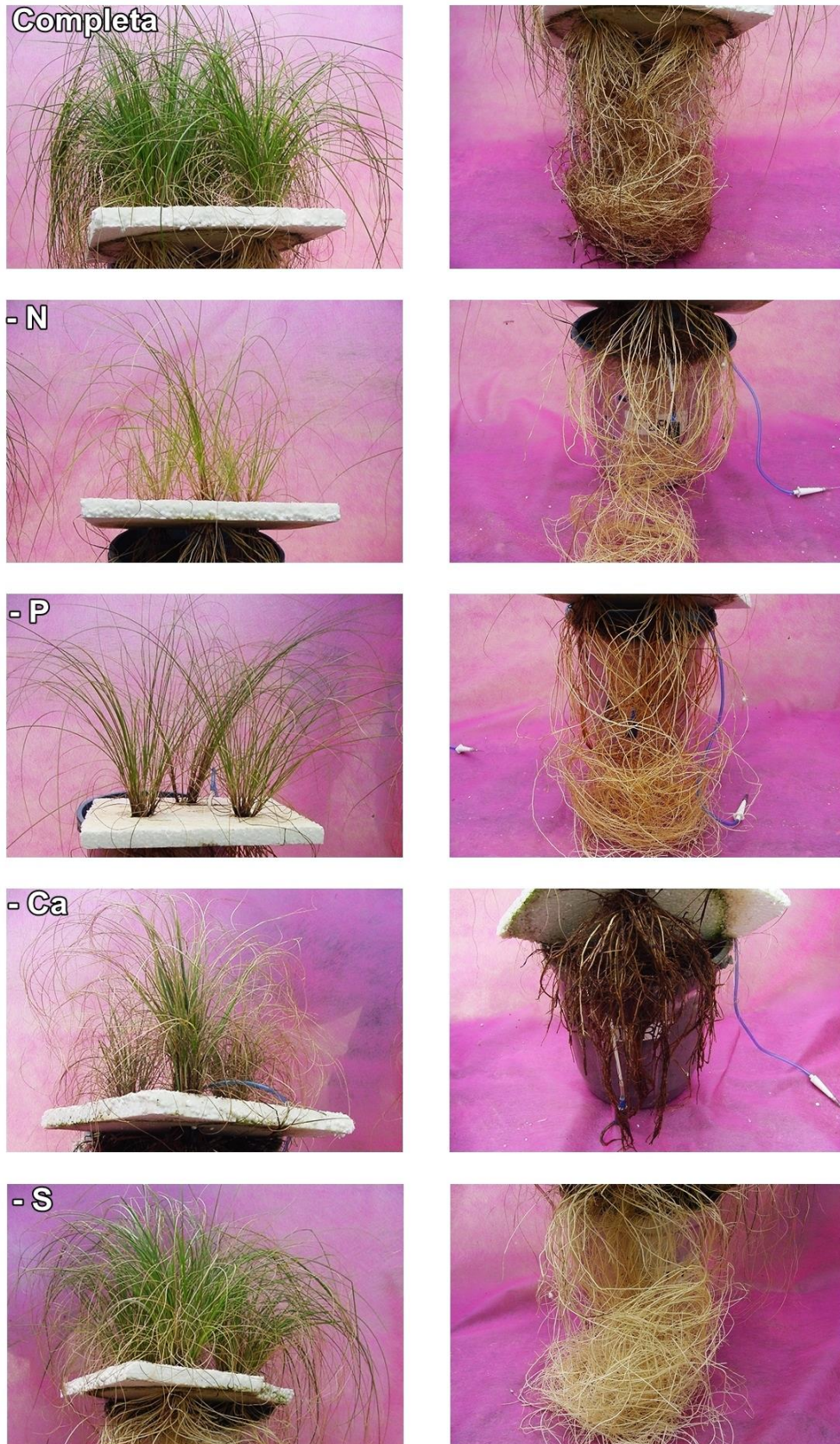
A omissão de nitrogênio resultou em clorose generalizada de folhas velhas após 40 dias. Toda a planta mostrou-se clorótica, menor número de perfilhos e sistema radicular menos abundante com o avanço do cultivo (Figura 1). A clorose generalizada em folha velha foi observada devido à menor produção de clorofila e à alta mobilidade do nutriente na planta (MARSCHNER, 2012).

As plantas deficientes em P também apresentaram menor tamanho e número de perfilhos. Após 30 dias, observou-se uma coloração verde escura intensa nas folhas (Figura 1). Segundo Coelho et al. (2011), essa coloração aparece devido ao decréscimo da síntese de proteína. A deficiência de P resulta no aumento da quantidade de açúcares nos órgãos vegetativos, favorecendo a síntese de antocianina.

Sintomas de deficiência de K foram observados aos 16 dias. Neste período as folhas apresentaram clorose foliar intensa e, posteriormente, morte das plantas aos 35 dias. De acordo com Pulga et al. (2010), a deficiência de K induz acúmulo de putrescina tetrametilenodiamina que resulta em clorose e posterior necrose dos ápices foliares.

A ausência de Ca provocou coloração verde clara das bordas externas das folhas, estendendo por toda a folha aos 23 dias. O sistema radicular apresentou coloração escura e menor densidade (Figura 1). Carvalho et al. (2016) também observaram crescimento reduzido do sistema radicular e coloração escura nas raízes de *Mentha arvensis*. De acordo com as discussões desses autores, a deficiência de Ca ocorre em regiões meristemáticas e, conseqüentemente, os pontos de crescimento são mais afetados, principalmente por ser um nutriente que não redistribui na planta.

Figura 1 – Diagnose visual da parte aérea e sistema radicular de *C. flexuosus* cultivadas por 90 dias em solução completa e omissões de N, P, Ca e S.



Assim como na omissão de K, a ausência do Mg resultou em morte das plantas aos 35 dias. Inicialmente as folhas desenvolveram sintoma típico, com clorose internerval de folhas velhas. Segundo Taiz e Zeiger (2017), esse tipo de clorose ocorre porque a clorofila nos feixes vasculares permanece inalterada por períodos mais longos do que a clorofila nas células entre os feixes.

Folhas novas cloróticas e sistema radicular abundante com coloração esbranquiçada foram observados com a omissão de S, ao final do cultivo (Figura 1). De acordo com Marschner (2012), o S é elemento constituinte de aminoácidos essenciais e possui pouca mobilidade, logo seus sintomas ocorrem em folhas mais jovens.

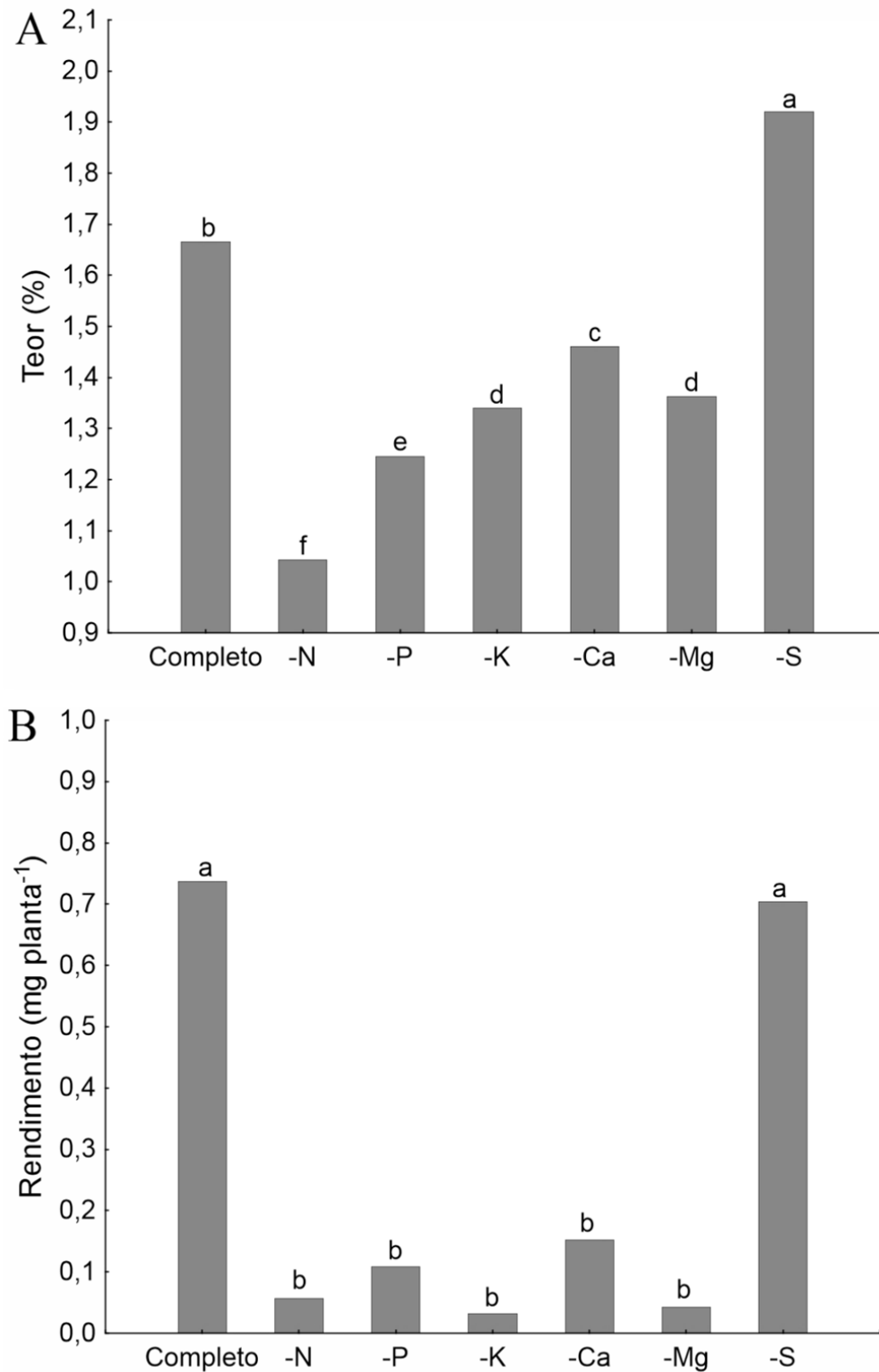
Além disso, a omissão de macronutrientes em solução nutritiva influenciou o teor de óleo essencial de *C. flexuosus* (Figura 2). A maior média de teor de óleo essencial foi verificada na omissão de enxofre (1,92%), seguida pela solução completa (1,67%) (Figura 2 - A). Possivelmente, o aumento da produção de óleo essencial na omissão de S pode estar relacionado à sua incorporação durante o período de adaptação. Como já discutido, o teor foliar de S encontra-se dentro do sugerido por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Pode-se inferir ainda que a espécie produz metabolitos secundários ainda no período juvenil.

Por outro lado, a solução nutritiva com omissão de N foi a que mais afetou o teor de óleo essencial, reduzindo em 38% (Figura 2 - A). Apesar do maior teor de óleo essencial na omissão de S, a solução completa resultou no rendimento de óleo estatisticamente semelhante a esse tratamento (Figura 2 - B). No cálculo do rendimento de óleo, relacionar-se o teor de óleo e a produção de biomassa seca foliar. Como já discutido, a solução completa proporcionou a maior média de BSF.

As omissões de N, P, K, Ca e Mg proporcionaram menores rendimentos de óleo essencial, ao comparar a solução completa, reduzindo em 92, 85, 96, 80 e 95%, respectivamente (Figura 2 - B).



Figura 2 - Valores médios de A- teor (%) e B- rendimento ( $\text{mg planta}^{-1}$ ) de óleo essencial da *C. flexuosus* sob omissão de macronutrientes em cultivo hidropônico.



As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.



Foram identificados cinco constituintes majoritários na análise química do óleo essencial de *C. flexuosus*. Neral (9,54-27,79%), geraniol (3,31-16,21%), geranial (14,31-50,83%), citral (23,85-78,62%) e o acetato de geranial (6,56-45,50%) foram os constituintes analisados (Tabela 3).

Tabela 3 - Teor  $\pm$  desvio padrão (%) dos constituintes químicos majoritários do óleo essencial de *C. flexuosus*

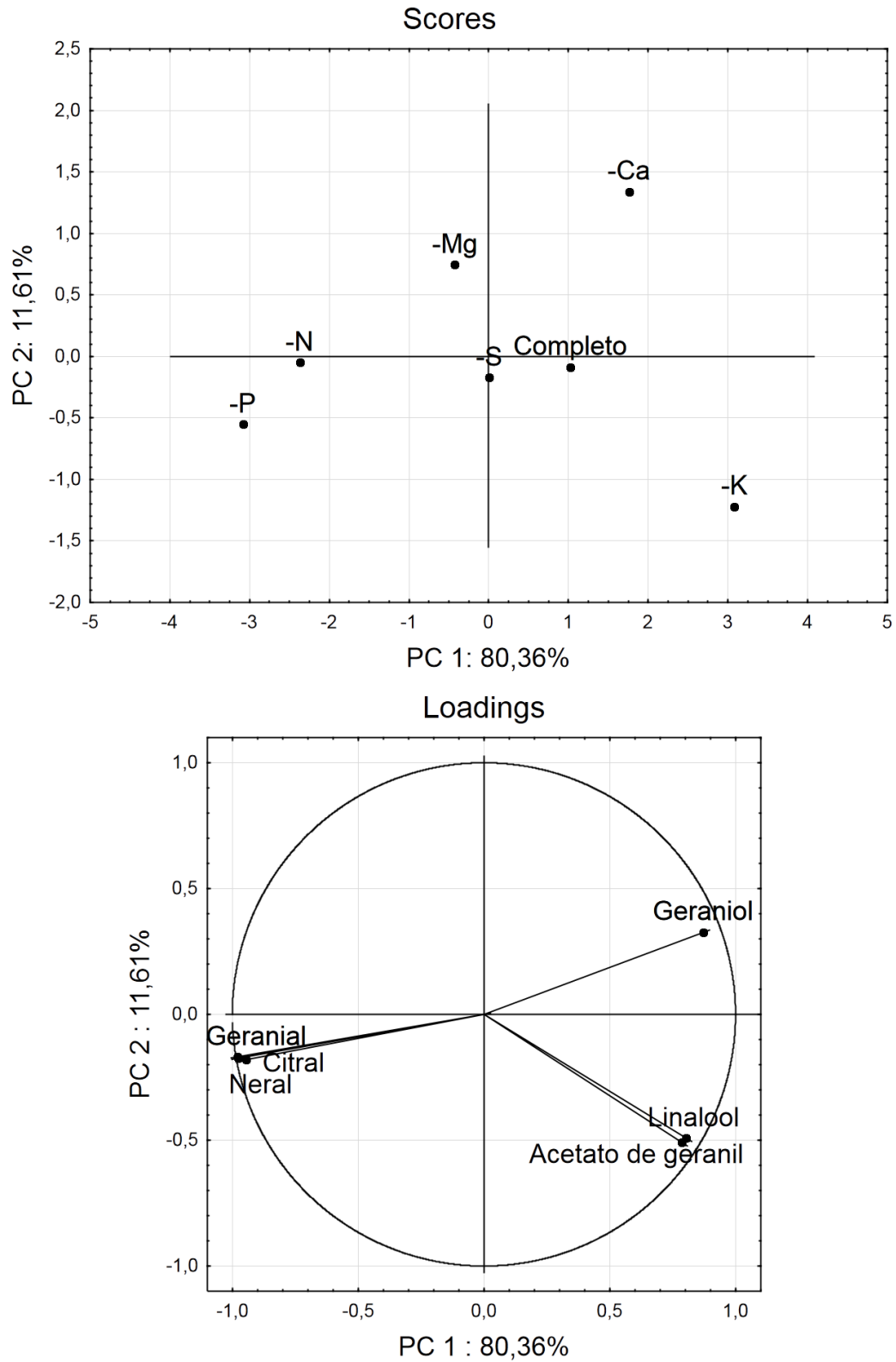
Constituintes	Completo	-N	-P	-K	-Ca	-Mg	-S
Linalool	3,50 $\pm 0,00$	3,08 $\pm 0,02$	3,30 $\pm 0,00$	4,88 $\pm 0,03$	3,59 $\pm 0,04$	3,42 $\pm 0,00$	3,47 $\pm 0,00$
Neral	14,99 $\pm 0,05$	21,54 $\pm 0,08$	27,79 $\pm 0,09$	10,62 $\pm 0,03$	9,54 $\pm 0,07$	20,59 $\pm 0,02$	18,86 $\pm 0,01$
Geraniol	12,73 $\pm 0,04$	4,44 $\pm 0,03$	3,31 $\pm 0,00$	15,99 $\pm 0,00$	16,13 $\pm 0,13$	16,21 $\pm 0,02$	11,23 $\pm 0,01$
Geranial	23,31 $\pm 0,09$	48,36 $\pm 0,14$	50,83 $\pm 0,07$	15,55 $\pm 0,10$	14,31 $\pm 0,10$	33,77 $\pm 0,00$	30,11 $\pm 0,01$
Acetato de geranil	37,61 $\pm 0,13$	10,06 $\pm 0,05$	6,56 $\pm 0,01$	45,50 $\pm 0,08$	16,50 $\pm 0,09$	12,12 $\pm 0,00$	29,32 $\pm 0,02$
Total(%)	92,14	87,48	91,79	92,54	60,07	86,11	92,99

A omissão dos nutrientes promoveram alterações quantitativas na composição química do óleo essencial. Um ajuste aproximado de 92% foi observado pela análise dos componentes principais (PCA) dos cinco compostos químicos majoritários e o citral (PC1+PC2) (Figura 3).

Vale a pena ressaltar ainda, a correlação positiva entre neral, geranial e citral, e a correlação negativa desses constituintes e geraniol. Ganjewala e Luthra (2010) estudaram a rota biossintética de *C. flexuosus* e concluíram que o geraniol é submetido à oxidação por uma enzima geraniol desidrogenase para produzir geranial, que através de uma isomerase se transforma em neral. O monoterpeneo citral é uma mistura racêmica dos isômeros geranial e neral (GUPTA e GANJEWALA, 2015).

Como observado, a omissão de macronutrientes modificou os teores dos constituintes dos óleos essenciais. Os nutrientes estão relacionados na síntese de compostos secundários como catalizadores de enzima ou presença em sua estrutura. Em *Achillea millefolium*, Alvarenga et al. (2015) também verificaram alterações quantitativas nos componentes majoritários da espécie.

Figura 3- Análise dos componentes principais (PCA) dos constituintes majoritários do óleo essencial de *C. flexuosus*



Observa-se que os teores de neral, geranial e citral aumentaram nas plantas cultivadas sob omissão de fósforo e nitrogênio. A ausência de K na solução nutritiva influenciou positivamente os teores de linalol e acetato de geranil. E omissão de cálcio favoreceu maior teor de geraniol (Figura 3).

#### **4-CONCLUSÕES**

As omissões de macronutrientes na solução nutritiva provocam em *Cymbopogon flexuosus* sintomas visuais de deficiência nutricional, comuns a outras espécies. A ordem de limitação da BST é  $K=Mg>N=Ca=P>S$ . Potássio e magnésio são os macronutrientes mais limitantes para a produção de biomassa. O maior teor de óleo essencial é verificado sob omissão de enxofre e o rendimento semelhante à solução completa. A análise química do óleo essencial é alterada quantitativamente em cultivo hidropônico. A omissão de P e N promove aumento dos teores de citral.

**AGRADECIMENTOS:** Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de nível Superior (CAPES) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

- ADAMS, R. P. **Identification of essential oils by ion trap mass spectroscopy**. Academic Press, 2007. ISBN 0323137946.
- ADUKWU, E. C. et al. Antimicrobial activity, cytotoxicity and chemical analysis of lemongrass essential oil (*Cymbopogon flexuosus*) and pure citral. **Appl Microbiol Biotechnol**, v. 100, n. 22, p. 9619-9627, Nov 2016.
- ÅGREN, G. I.; WETTERSTEDT, J.; BILLBERGER, M. F. Nutrient limitation on terrestrial plant growth—modeling the interaction between nitrogen and phosphorus. **New Phytologist**, v. 194, n. 4, p. 953-960, 2012.
- ALVARENGA, I. C. A. et al. Effects on growth, essential oil content and composition of the volatile fraction of *Achillea millefolium* L. cultivated in hydroponic systems deficient in macro-and microelements. **Scientia Horticulturae**, v. 197, p. 329-338, 2015.
- ALVES, A. U. et al. Desenvolvimento e estado nutricional da beterraba em função da omissão de nutrientes. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. 292-295, 2008.
- ANDRIOLO, J. L.; BONINI, J. V.; BOEMO, M. P. Acumulação de matéria seca e rendimento de frutos de morangueiro cultivado em substrato com diferentes soluções nutritivas. **Horticultura Brasileira**, v. 20, p. 24-27, 2002.
- BENEDETTI, E. L. et al. Crescimento e sintomas em mudas de espinheira-santa com omissão de nitrogênio, fósforo e potássio. **Floresta**, v. 39, n. 2, 2009.
- CARVALHO, A. A. D. et al. Crescimento e composição da fração volátil de *Mentha arvensis* L. cultivada em solução nutritiva com omissão de nutrientes. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 18, n. 3, p. 677-684, 2016.
- COELHO, L. C. et al. Caracterização de sintomas visuais, parâmetros de crescimento e desenvolvimento de *Tagetes erecta* sob deficiências nutricionais. **Agrarian**, v. 4, n. 12, p. 113-122, 2011.
- DA SILVA JÚNIOR, M. L. et al. Crescimento, composição mineral e sintomas de deficiências de pariri cultivado sob omissão de macronutrientes. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 48, n. 1, p. 85-98, 2011.
- DAFLON, D. G. et al. Sintomas visuais de deficiência de macronutrientes e boro em coentro. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 01, 2014.
- DAVIES, N. W. Gas chromatographic retention indices of monoterpenes and sesquiterpenes on methyl silicon and Carbowax 20M phases. **Journal of Chromatography A**, v. 503, p. 1-24, 1990.
- DO AMARAL, J. F. T. et al. Deficiências de macronutrientes, Fe e B em manjeriço (*Ocimum* sp.), em cultivo hidropônico. **Ceres**, v. 46, n. 265, 2015.
- GANJEWALA, D.; LUTHRA, R. Essential oil biosynthesis and regulation in the genus *Cymbopogon*. **Nat Prod Commun**, v. 5, n. 1, p. 163-72, Jan 2010.

- GUPTA, A. K.; GANJEWALA, D. A study on biosynthesis of "citral" in lemongrass (*Cymbopogon flexuosus*) cv. Suvarna. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 37, n. 11, Nov 2015.
- HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. The water-culture method for growing plants without soil. **Circular. California Agricultural Experiment Station**, v. 347, n. 2nd edit, 1950.
- JOYCE, B. L. et al. Ethanol and High-Value Terpene Co-Production from Lignocellulosic Biomass of *Cymbopogon flexuosus* and *Cymbopogon martinii*. **PLoS One**, v. 10, n. 10, p. e0139195, 2015.
- MAIA, J. T. L. S. et al. Plantas medicinais em hidroponia: uma revisão de literatura. **Revista Bionorte**, v. 3, n. 1, 2014.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Agronômica Ceres, 2006. ISBN 8531800471.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. D. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. 1997.
- MARIGOWDA, V. et al. Studies on antibacterial, antioxidant and anticancerous activity using essential oil from *Cymbopogon flexuosus* (stapf). **International Journal of Advanced Research** v. 4, p. 1324-1341, 2016.
- MARSCHNER, H. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. : Academic press 2012.
- MAY, A. et al. Influência do intervalo entre cortes sobre a produção de biomassa de duas espécies de capim limão. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. 379-382, 2008.
- MEENA, S. et al. De Novo Sequencing and Analysis of Lemongrass Transcriptome Provide First Insights into the Essential Oil Biosynthesis of Aromatic Grasses. **Front Plant Sci**, v. 7, p. 1129, 2016.
- NIST, N. I. O. S. A. T.-. **PC version 2.0 of the NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library**. Gaithersburg: U.S. 2008.
- OLIVEIRA, A. R. D. et al. Absorção de nutrientes e resposta à adubação em linhagens de tomateiro. **Horticultura Brasileira**, v. 27, p. 498-504, 2009.
- PUGA, A. P. et al. Omissão de macronutrientes no crescimento e no estado nutricional da chicória cultivada em solução nutritiva. **Agrarian**, v. 3, n. 7, p. 56-62, 2010.
- SANCHEZ, P. A.; UEHARA, G. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In: KHASAWNEH, F. E.; ABDELGAWAD, H., et al (Ed.). **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: ASA, 1980. p.471-514. ISBN 0891182497.
- SHARMA, P. R. et al. Anticancer activity of an essential oil from *Cymbopogon flexuosus*. **Chem Biol Interact**, v. 179, n. 2-3, p. 160-8, May 15 2009.
- SHAUL, O. Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg. **Biometals**, v. 15, n. 3, p. 307-321, 2002.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. In: (Ed.). **Fisiologia vegetal**: Artmed, 2017.

VAN DEN DOOL, H.; KRATZ, P. D. A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas—liquid partition chromatography. **Journal of Chromatography A**, v. 11, p. 463-471, 1963.

VERA, S. S. et al. Essential oils with insecticidal activity against larvae of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). **Parasitol Res**, v. 113, n. 7, p. 2647-54, Jul 2014.