

MACRONUTRIENTES E BORO EM *Cymbopogon citratus* (D.C.)  
STAPF: COMPOSIÇÃO MINERAL, SINTOMAS VISUAIS E  
PRODUÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS

**THÁISA CAPATO LIMA**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE  
DARCY RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
MARÇO - 2015

MACRONUTRIENTES E BORO EM *Cymbopogon citratus* (D.C.)  
STAPF: COMPOSIÇÃO MINERAL, SINTOMAS VISUAIS E  
PRODUÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS

**THAÍSA CAPATO LIMA**

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Produção Vegetal da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Marta Simone Mendonça Freitas

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
MARÇO - 2015

## FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCTA / UENF 151/2015

Lima, Thaisa Capato

Macronutrientes e boro em *Cymbopogon citratus* (D.C.) STAPF :  
composição mineral, sintomas visuais e produção de óleos essenciais  
/ Thaisa Capato Lima. – 2015.

109 f. : il.

Orientador: Marta Simone Mendonça Freitas.

Dissertação (Mestrado - Produção Vegetal) – Universidade  
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e  
Tecnologias Agropecuárias. Campos dos Goytacazes, RJ, 2015.

Bibliografia: f. 78 – 99.

1. Capim-limão 2. Metabolismo secundário 3. Planta medicinal 4.  
Nutrientes minerais 5. Sintomas visuais I. Universidade Estadual do  
Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciências e Tecnologias  
Agropecuárias. II. Título.

CDD– 633.88

MACRONUTRIENTES E BORO EM *Cymbopogon citratus* (D.C.)  
STAPF: COMPOSIÇÃO MINERAL, SINTOMAS VISUAIS E  
PRODUÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS

**THAÍSA CAPATO LIMA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Produção Vegetal da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Aprovada em 25 de Março de 2015.

Banca Examinadora

---

Prof. Silvério de Paiva Freitas (D.Sc, Fitotecnia ) - UENF

---

Prof<sup>a</sup> Daniela Barros de Oliveira (D.Sc., Química de Produtos Naturais) - UENF

---

Prof. André Assis Pires (D.Sc., Produção Vegetal) - IFES

---

Prof<sup>a</sup> Marta Simone Mendonça Freitas (D.Sc., Produção Vegetal) - UENF  
Orientadora

À minha família por todo apoio e incentivo  
DEDICO

## AGRADECIMENTO

À minha mãe, Carla Cristina, pelo exemplo de perseverança e dedicação, por estar sempre ao meu lado oferecendo todo o seu apoio e por me fazer lembrar de todas as broncas dadas com todo carinho e ternura.

Ao meu pai, Luís Cláudio, por toda a paciência e todo o incentivo, sempre acreditando em minha vitória.

Às minhas avós, Luíza e Nilva e ao meu avô Antenor Capato, pelos ensinamentos e todo amor que sempre me ofertaram.

Ao meu irmão, João Paulo e a toda a minha família, pelos momentos de descontração e palavras de incentivo.

À minha orientadora, Professora Marta Simone, por todos os ensinamentos, paciência, compreensão, ajuda, pela oportunidade e por ser para mim um exemplo de comprometimento e dedicação.

Aos técnicos, Detony e Márcio, por toda a ajuda durante a execução e análises do experimento e, em especial, ao Senhor José Accacio, pela amizade e boa companhia e por ser tão prestativo e paciente me auxiliando sempre quando necessário.

Aos amigos do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, Laís, Ygor, Armando, Larima e Pedro, por toda a ajuda e amizade.

Ao Vitor Hugo, pelo companheirismo, compreensão, amizade, paciência, incentivo e carinho.

À Thaís, pela ótima companhia, conselhos, auxílio com as disciplinas e por ser sempre tão solícita e amiga.

Às minhas amigas de república, Natália, Graziella, Letícia e Aline, pela boa convivência e amizade.

Aos professores, por todo o conhecimento compartilhado.

À CAPES, pela bolsa concedida e à Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, pela oportunidade.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	ix
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS .....	3
2.1. Objetivo Geral .....	3
2.2. Objetivos específicos .....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
3.1. Plantas Medicinais .....	4
3.1.1. <i>Cymbopogon citratus</i> .....	6
3.2. Óleos Essenciais .....	8
3.3. Nutrientes Minerais: Funções e Sintomas Visuais de Deficiência .....	11
3.3.1. Nitrogênio .....	12
3.3.2. Fósforo .....	13
3.3.3. Potássio .....	14
3.3.4. Cálcio .....	15
3.3.5. Magnésio .....	16
3.3.6. Enxofre .....	17
3.3.7. Boro .....	18
3.4. Nutrientes Minerais: Produção de Óleos Essenciais .....	19
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	22

4.1.	Delineamento experimental .....	22
4.2.	Instalação do experimento .....	23
4.3.	Avaliação do experimento .....	24
4.3.1.	Avaliações biométricas .....	24
4.3.2.	Determinação dos teores nutricionais .....	26
4.3.3.	Análise do teor e composição dos óleos essenciais .....	26
4.4.	Análise estatística .....	27
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	28
5.1.	Crescimento das plantas de <i>Cymbopogon citratus</i> .....	28
5.2.	Caracterização dos sintomas de deficiência de macronutrientes e boro em plantas de <i>Cymbopogon citratus</i> .....	38
5.2.1.	Nitrogênio .....	38
5.2.2.	Fósforo .....	46
5.2.3.	Potássio .....	50
5.2.4.	Cálcio .....	53
5.2.5.	Magnésio .....	57
5.2.6.	Enxofre .....	61
5.2.7.	Boro .....	64
5.3.	Rendimento e composição química de óleos essenciais de capim limão. ....	66
6.	CONCLUSÕES .....	76
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	78
1.	APÊNDICES .....	100

## RESUMO

LIMA, Thaísa Capato; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Março de 2015; Macronutrientes e boro em *Cymbopogon citratus* (D.C.) STAPF: Composição mineral, sintomas visuais e produção de óleos essenciais; Orientadora: Prof<sup>a</sup> Marta Simone Mendonça Freitas.

*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf, popularmente conhecido como capim-limão, é pertencente à família botânica Poaceae, possui em suas folhas óleos essenciais com importância para as indústrias farmacêutica e cosmética. Os nutrientes minerais, quando não oferecidos em quantidades adequadas, provocam alterações no metabolismo e crescimento vegetal que originam sintomas visuais de deficiência e podem promover alterações na produção de óleos essenciais. Desta forma, este trabalho teve como objetivo caracterizar os sintomas visuais de deficiência e avaliar o efeito da omissão de macronutrientes e boro no crescimento vegetal e produção e qualidade dos óleos essenciais de *C. citratus*. O experimento foi conduzido em casa de vegetação. O delineamento experimental adotado foi de blocos casualizados com oito tratamentos (-N, -P, -K, -Ca, -Mg, -S, -B e Solução completa) e quatro repetições. A unidade experimental foi constituída por um vaso contendo areia lavada e uma planta. O cultivo foi feito utilizando solução nutritiva proposta por Hoagland e Arnon (1950), utilizando-se a técnica do elemento faltante. Durante a condução do experimento foram feitas observações diárias, descrições e registros fotográficos dos sintomas de

deficiência. Foram realizadas duas coletas para avaliação do estado nutricional das plantas, aos 33 e 69 dias após o início dos tratamentos e uma coleta final, aos 79 dias, então procedeu-se a avaliação das plantas quanto à altura, número de perfilhos e de folhas novas, intermediárias e velhas, área foliar, índice SPAD e massa da matéria fresca e seca de folhas novas, intermediárias e velhas. O material vegetal foi submetido à digestão sulfúrica para determinação dos teores de N, os demais nutrientes (P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Mo e Ni) foram determinados através de digestão com  $\text{HNO}_3$  e  $\text{H}_2\text{O}_2$  e leitura em ICP-OES. A extração dos óleos essenciais foi feita a partir de 10 g de folhas intermediárias secas, através de hidrodestilação em aparelho do tipo Clevenger, em seguida foram pesadas. A análise química dos óleos essenciais foi realizada com auxílio de cromatógrafo a gás acoplado a espectrômetro de massas. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Dunnet. A sequência cronológica de aparecimento dos sintomas nas folhas foi: N, Mg, K, S, P e Ca. Não foi observado sintoma de deficiência de boro até 79 dias de omissão deste nutriente, porém, seus teores nas folhas intermediárias e velhas das plantas foram reduzidos em 53,5 e 61,7%. As variáveis de crescimento analisadas foram afetadas negativamente pelas deficiências, sendo a omissão de N responsável pela maior redução. O índice SPAD foi reduzido em todos os tratamentos, exceto -B. Em relação à produção de óleos essenciais todos os tratamentos diminuíram a produção, exceto -K. O tratamento -Ca foi responsável pelo menor rendimento (%) em óleos essenciais. Todos os tratamentos promoveram redução da produção de mirceno. Nos óleos essenciais de plantas submetidas à omissão de N não foi verificada a presença de mirceno, todavia, este tratamento promoveu aumento na produção de geranial e citral. O teor de geraniol foi reduzido em todos os tratamentos.

## ABSTRACT

LIMA, Thaísa Capato; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; Março de 2015; Macronutrients and boron on *Cymbopogon citratus* (D.C.) STAPF: Mineral composition, visual symptoms and essential oil production; Advisor: Prof. Marta Simone Mendonça Freitas.

*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf, popularly known as lemongrass belongs to the Poaceae family. Their leaves contain essential oils with importance to pharmaceutical and cosmetic industry. Mineral nutrients if not supplied in adequate amounts cause changes in the metabolism and plant growth which cause visual deficiency symptoms and alterations in essential oil production. This study aimed to characterize the visual deficiency symptoms and evaluate the effects of macronutrients and boron omission in plant growth, yield and quality of *C. citratus* essential oil. The experiment was conducted in a greenhouse, the experimental design was in randomized complete blocks with eight treatments (-N, -P, -K, -Ca, -Mg, -S, -B and complete solution) and four replications. The experimental unit consisted of a vessel containing pre-washed sand. Crop was grown in nutrient solutions proposed by Hoagland and Arnon, using the lacking element technique. During the experiment were made daily observations, descriptions and photographic records of deficiency symptoms. The plants harvest was made after 79 days of treatment. The plants were evaluated for height, number of tillers and new, intermediate and old leaves, leaf area, SPAD index,

fresh and dry weight of new, intermediate and old leaves. The plant material was subjected to sulfuric digestion to determine the levels of N, the other nutrients (P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Mo and Ni) were determined by digestion with HNO<sub>3</sub> and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and analyzed in ICP-OES. The extraction of essential oils was made from 10 g of intermediate dried leaves, by hydrodistillation in a Clevenger apparatus then the oil was weighed. Chemical analysis of essential oils was performed using a gas chromatograph coupled to a mass spectrometer. The data were subjected to analysis of variance and means were compared using the Dunnet test, using the sanest program. The chronological sequence of symptoms appearance in leaves was: N, Mg, K, S, P and Ca. Up to 79 days of B omission was not observed visual deficiency symptom, however the levels of this nutrient in leaves were reduced. Growth variables analyzed were negatively affected by deficiencies, the omission of N being responsible for the greatest reduction. The SPAD index was reduced in all treatments except -B. The production of essential oils was reduced in all treatments, except -K. The -Ca treatment was responsible for the lower essential oil yield (%). All treatments promoted reductions in myrcene. On essential oil of plants submitted of N omission, the presence of myrcene was not verified however this treatment increased the production of geranial and citral. The geraniol content was reduced in all treatments.

## 1. INTRODUÇÃO

A demanda por matéria-prima de qualidade e em quantidade pela indústria farmacêutica fitoterápica e de cosméticos, vem crescendo em âmbito nacional e internacional (Corrêa e Alves, 2008). Trabalhos como os elaborados por Veiga Junior (2008) e Lemos et al. (2006) demonstram a grande aceitação, utilização e demanda pela população por plantas medicinais e produtos derivados dos seus óleos, como *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf.

*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf é uma planta pertencente à família Poaceae, ordem Poales (Gomes e Negrelle, 2003). Conhecida popularmente no Brasil como capim-limão (Lorenzi e Matos, 2002), possui como centro de origem o sudeste asiático e está amplamente distribuída pelo planeta (Ortiz et al., 2002). Seu uso como planta medicinal e aromática é muito difundido, devido à variedade de substâncias de interesse para a indústria farmacêutica e de cosméticos, que podem ser extraídas de suas folhas (Ortiz et al., 2002).

Os óleos essenciais extraídos das folhas do capim-limão possuem inúmeras propriedades terapêuticas, já evidenciadas em muitos trabalhos, como atividade antimicrobiana (Schuck et al., 2001; Santos et al., 2009; Oliveira et al., 2011; Lucena et al., 2013), anti-inflamatória (Carbajal et al., 1989), diurética (Carbajal et al., 1989; Gálvez et al., 1998), fungitóxica (Paranagama et al., 2002; Guimarães et al., 2011; Gonçalves, 2012), entre outras.

Muitos fatores podem interferir na bioprodução e composição química dos óleos essenciais, como temperatura, luminosidade, sazonalidade, estágio de

desenvolvimento, umidade e nutrientes minerais (Morais, 2009; Ramakrishna e Ravishankar, 2011).

Trabalhos como os de Garlet et al. (2007a) e Rashmi e Singh, (2008) evidenciam a importância dos nutrientes minerais nas rotas de produção das substâncias de interesse. Garlet et al. (2007a), estudando a adubação potássica em *Mentha x gracilis*, observaram que o aumento no fornecimento de potássio proporcionou incrementos nos teores de mircenolol e limoneno e redução no teor de linalol. Rashmi e Singh, (2008) concluíram que o incremento da adubação nitrogenada promoveu maior produção de óleos essenciais em plantas de *Cymbopogon citratus*.

Nutrientes minerais essenciais, quando não são oferecidos em quantidades adequadas ou quando estão indisponíveis para as plantas, desencadeiam distúrbios metabólicos nos vegetais, originando sintomas visuais de deficiência, que aliados ao conhecimento da concentração dos nutrientes nos tecidos vegetais permitem o desenvolvimento de manejo nutricional apropriado para o cultivo (Epstein e Bloom, 2004).

A diagnose visual é um método de avaliação do estado nutricional das plantas e se baseia na descrição, caracterização e registro fotográfico dos sintomas de deficiência ou toxidez. Trabalhos utilizando a diagnose visual já foram realizados com algumas plantas medicinais, como *Stevia rebaudiana* (Bertoni) (Utumi, et al., 1999), *Ocimum basilicum* L. (Silva et al., 1999), *Arrabidaea chica* (H & B.) Verlot (Silva Júnior et al., 2007), *Maytenus ilicifolia* (Benedetti et al., 2009), *Catharanthus roseus* (L.) G. Don (Gama, 2010), *Passiflora alata* Curtis (Freitas et al., 2011) e *Schinus terebinthifolius* Raddi (Andrade e Boaretto, 2012), e demonstram que a deficiência de um nutriente mineral essencial não altera, necessariamente, os mesmos processos metabólicos em todas as plantas.

Para a espécie *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf ainda são poucos os estudos relacionados às exigências nutricionais e sintomas visuais de deficiência, que permitam a elaboração de um manejo nutricional adequado, possibilitando a produção de óleos essenciais com qualidade e em quantidades satisfatórias.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo Geral

Verificar o efeito do estresse causado pela deficiência de macronutrientes e boro em *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf. cultivado em sistema hidropônico com substrato.

### 2.2. Objetivos específicos

- Avaliar o efeito da deficiência de macronutrientes e boro no crescimento de *Cymbopogon citratus*, cultivado em sistema hidropônico com substrato;
- Caracterizar os sintomas visuais ocasionados pela deficiência de macronutrientes e boro e a composição mineral no cultivo hidropônico com substrato de *Cymbopogon citratus*;
- Avaliar o efeito da deficiência de macronutrientes e boro na concentração de óleos essenciais em *Cymbopogon citratus*, cultivado em sistema hidropônico com substrato;
- Avaliar o efeito da deficiência de macronutrientes e boro na qualidade dos óleos essenciais de *Cymbopogon citratus*, cultivado em sistema hidropônico com substrato.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Plantas Medicinais

Plantas medicinais podem ser definidas como plantas dotadas de propriedades medicinais, com efeitos relacionados à saúde, ou que possuem constituintes que podem ser utilizados como medicamentos (Farnsworth e Soejato, 1991). Para a OMS, planta medicinal é todo e qualquer vegetal que possui, em um ou mais órgãos, substâncias com utilidades terapêuticas (Aschwanden, 2001).

Além de servir como matéria-prima para a fabricação de medicamentos e fitoterápicos, as plantas medicinais são também utilizadas como remédios caseiros em práticas populares. No Brasil, o vasto acervo de conhecimentos sobre o manejo e uso destas plantas é passado de geração a geração, resultando em considerável acúmulo de tecnologias e conhecimentos da medicina tradicional (Brasil, 2006). O uso de plantas medicinais é uma prática muito antiga e para muitas comunidades e grupos étnicos o conhecimento sobre essas plantas simboliza o único recurso terapêutico na cura de enfermidades (Maciel et al., 2002).

Dos medicamentos atualmente disponíveis, cerca de 40% foram desenvolvidos direta ou indiretamente de fontes naturais, sendo as plantas medicinais responsáveis por 13% deste número (Calixto et al., 2001, Mathe, 2014). Os fitoterápicos no continente africano são utilizados por cerca de 80% da

população, em países como Índia, Canadá e França, estes valores ultrapassam 50% e no Japão, chegam a 85% (Aschwanden, 2001).

A demanda por essas plantas no mercado brasileiro e mundial vem crescendo nos últimos anos, assim como os setores ligados à produção destas, como a indústria de medicamentos, higiene pessoal, perfumaria e cosméticos (Corrêa e Alves, 2008). No estado do Rio de Janeiro, trabalhos como o de Veiga Junior, (2008) e Lemos et al. (2006) demonstram a aceitação e utilização, pela população e profissionais de saúde, de plantas medicinais como tratamento alternativo para muitas doenças.

Em Campos dos Goytacazes, no estado do Rio de Janeiro, Lemos et al. (2006) relatam que as espécies *Cymbopogon citratus*, *Lippia alba*, *Calendula officinalis*, *Bracharis spp*, *Pfaffia spp*, *Foeniculum vulgare* como as mais citadas entre a população. Este trabalho evidencia um potencial para estudos nesta região sobre estas espécies de plantas medicinais, pois existe carência de informações sobre o manejo e condições de cultivo, contribuindo para baixa produção e produto comercial de pouca qualidade (Veiga Junior, 2008).

Muitas vezes, a exploração de plantas medicinais é feita a partir da flora nativa, em decorrência da alta necessidade e da carência de matéria-prima. Esse extrativismo pode ocasionar a extinção de espécies vegetais e contribuir para o desequilíbrio ambiental. Sendo assim, a domesticação, conhecimento e o desenvolvimento de técnicas de cultivo dessas espécies se tornam as melhores opções para a obtenção de plantas medicinais de forma sustentável (Reis e Mariot, 2001).

Apesar de entre os anos de 2005 e 2008 terem sido exportados 9,6t de óleos essenciais de *C. citratus* para países da União Européia, oriundos principalmente do estado de São Paulo, o Brasil neste contexto ainda se caracteriza por ser um país com baixo nível de competitividade na cadeia produtiva de plantas medicinais, importando a maior parte da matéria-prima para a produção de fitoterápicos (Rodrigues e Nogueira, 2008; Bizzo et al., 2009).

A produção de plantas medicinais é uma alternativa para os pequenos produtores rurais, uma vez que a atividade não exige grandes áreas e requer mão-de-obra intensiva, é importante na diversificação da produção e permite crescimento econômico (Lourenzani et al., 2004; Zuanassi e Mayorga, 2010).

Devido ao aumento da demanda por estas plantas, políticas governamentais que procuram incentivar a produção estão sendo adotadas, a fim de garantir matéria-prima de qualidade e em quantidade que seja capaz de suprir este mercado, além de proporcionar alternativa de renda para o agricultor familiar (Corrêa e Alves, 2008; Souza et al., 2012).

No ano de 2006, através do decreto 5813, foi regulamentada a Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos, que estabelece diretrizes e ações visando o desenvolvimento de tecnologias e inovações, o fortalecimento das cadeias produtivas de plantas medicinais e uso sustentável da biodiversidade brasileira, de forma a garantir o acesso seguro e o uso racional de plantas medicinais e fitoterápicos (Brasil, 2006).

Em 2012, o Ministério da Saúde destinou cerca de R\$ 6,2 milhões para o Programa de Plantas Medicinais e Fitoterápicos do SUS, a fim de desenvolver a produção desses insumos de origem vegetal (Brasil, 2012), já no ano de 2013 foram repassados cerca de R\$12 milhões (Brasil, 2013).

### 3.1.1. *Cymbopogon citratus*

*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf (Figura 1) é uma planta pertencente à ordem Poales, família botânica Poaceae (Gomes e Negrelle, 2003). Possui como centro de origem o sudeste asiático, porém está distribuída em regiões tropicais e subtropicais (Ortiz et al., 2002), como África, Austrália, Europa, Ásia, América do Norte e do Sul (Bennett e Prance, 2000). É conhecida popularmente no Brasil como capim-cheiroso, erva-cidreira, capim-limão, capim-santo e capim-citronela (Lorenzi e Matos, 2002), chá do gabão e belgata em Portugal, citronelle na França, lemongrass em países de língua inglesa e surwai na Índia (Corrêa, 1984).

É uma poaceae de porte herbáceo, quase acaule, possui flores raras (Lorenzi e Matos, 2002), folhas de formato linear-lanceolado, com ápice acuminado e cor verde-acinzentada, formando um tufo, são alternas, planas, eretas e ásperas com odor característico de limão, possuem nervuras paralelas, sendo a mediana evidente (Duarte e Zaneti, 2004). Segundo Ortiz et al. (2002), seu sistema radicular atinge cerca de 30 cm de profundidade, sendo o maior número de raízes encontrado a cerca de 22 cm de profundidade.

Suas flores são em espiguetas sésseis, canaliculadas no lado ventral, o florescimento é raro e seus frutos são cariopses oblongas, secos indeiscentes. É propagada através da divisão de suas touceiras e suas folhas e raízes são aparadas (Castro e Ramos, 2002). Condições de calor e clima úmido, com plena exposição solar e chuvas uniformemente distribuídas, são consideradas ideais para o cultivo do capim-limão (Ortiz et al., 2002).



Figura 1. Planta de *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf, cultivada em casa de vegetação na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

Poucas plantas da família Poaceae apresentam óleos essenciais em suas folhas, as mais importantes estão presentes no gênero *Cymbopogon*, este gênero possui cerca de 100 espécies, por exemplo, *C. nardus*, *C. winterianus*, *C. flexuosus*, *C. martini* e *C. citratus*, onde podemos encontrar uma variada combinação de compostos de interesse para a indústria farmacêutica e de cosméticos (Ortiz et al., 2002).

Os óleos essenciais de *C. citratus* podem ser constituídos por terpenoides (monoterpenos, diterpenos, sesquiterpenos e triterpenos), cetonas, aldeídos, compostos fenólicos, alcoóis, esterres e outras substâncias. Devido ao grande número de substâncias presentes em seus óleos essenciais, o chá preparado a partir das folhas frescas ou secas do capim-limão é muito utilizado na medicina popular na maioria dos continentes, sendo numerosas as indicações e usos de seu chá (Negrelle e Gomes, 2007).

### 3.2. Óleos Essenciais

Os óleos essenciais são misturas de substâncias voláteis e lipofílicas, geralmente líquidas, de aparência oleosa à temperatura ambiente, possuem aroma agradável e intenso, são geralmente incolores ou levemente amarelados e instáveis, principalmente na presença de ar, calor, luz e umidade. Também são chamados de essências, devido ao aroma agradável e intenso de muitos óleos. São voláteis e solúveis em solventes orgânicos apolares, como o éster, em água apresentam solubilidade limitada, mas suficiente para aromatizar as soluções aquosas, que são denominadas hidrolatos (Simões e Spitzer, 2001).

São constituídos principalmente por monoterpenos, sesquiterpenos, fenilpropanoides, ésteres e substâncias de baixo peso molecular (Craveiro e Queiroz, 1993). Podem ser extraídos de várias partes das plantas como flores, cascas, rizomas, folhas e frutos, podendo ser comercializados em sua forma bruta ou beneficiada (Bizzo et al., 2009).

Os óleos essenciais, de plantas de *C. citratus*, podem ser extraídos de folhas frescas e secas (Bennet e Prance, 2000) e são biosintetizados quando estas folhas se encontram em pleno desenvolvimento, sendo armazenados em células oleicas específicas nos tecidos do parênquima (Lewinsohn et al., 1998).

O rendimento de óleos obtido das folhas de capim-limão é muito variável 0,2% a 3%, dependendo da forma de cultivo e se o material encontra-se seco ou fresco (Chisowa et al., 1998; Kasali et al., 2001; Schuck et al., 2001; Cimanga et al., 2002; Figueiredo et al., 2006).

Os óleos essenciais de espécies do gênero *Cymbopogon* se caracterizam por serem constituídos de monoterpenos, como citral, geraniol, citronelol,

citronelal, linalol, elemol, 1,8-cineol, lemoneno,  $\beta$ -cariophileno, metil-hepntona e geranil acetato (Ganjewala e Luthra, 2010).

Os óleos essenciais de capim-limão são compostos principalmente por uma média de 60 a 80% de citral, que é uma mistura de dois isômeros bioativos (neral e geranial), tendo como composto minoritário o mirceno, outros compostos ativos isolados são limoneno, citronelal,  $\beta$ -mirceno e geraniol (Figura 2) (Craveiros e Queiroz, 1993, Schaneberg e Khan, 2002). O teor em citral determina o preço deste óleo e é uma matéria-prima relativamente barata para a obtenção de produtos com maior valor comercial (Craveiro e Queiroz, 1993).

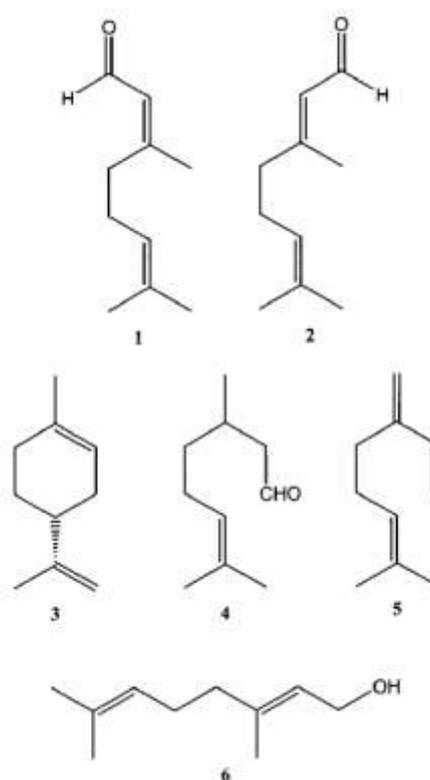


Figura 2. Estrutura das principais substâncias encontradas nos óleos essenciais de *C. citratus*. 1- Neral, 2-Geranial, 3- Limoneno, 4-Citronelal, 5-  $\beta$ -mirceno, 6- Geraniol (Schaneberg e Khan, 2002).

Alguns autores como Chisowa et al. (1998), Kasali et al. (2001) e Oliveira et al. (2011) relatam composições dos óleos de capim limão contendo geraniol,

neral, mirceno,  $\alpha$ -pineno, limoneno, linalol, linalil, citronelol, verbenol, acetato entre outros.

Os óleos essenciais são fontes de produtos naturais puros, que podem ser utilizados para a síntese de compostos de alto valor comercial, diante disso a comercialização de derivados de citral como produtos finos, obtidos a partir de conversões simples do ponto de vista químico, se mostra uma opção para agregar valor à produção de óleos essenciais, principalmente para regiões em desenvolvimento. Outros produtos derivados do citral que apresentam interesse industrial são o musk, citral metil antranilato de metila, ácido gerânico, geranil nitrilo e p-cimeno (Craveiro e Queiroz, 1993).

Os monoterpenos são hidrocarbonetos, contendo 10 carbonos em sua fórmula química, sendo formados por duas unidades isoprênicas ( $C_5H_8$ ) (Croteau, 1987). O Geranil difosfato (GPP,  $C_{10}$ ) é o precursor universal na síntese dos monoterpenos, sendo sintetizado a partir da fusão do isopentenil difosfato (IPP,  $C_5$ ) com seu isômero, o dimetil difosfato (DMAPP,  $C_5$ ) (Dubey et al., 2003).

Atualmente, são conhecidas duas rotas de biosíntese de monoterpenos, localizadas em compartimentos intracelulares diferenciados, rota do ácido mevalônico (MVA), no citosol e rota do metil-eritritol-4-fosfato (MEP), nos plastídeos (Rohmer et al., 1993; Cheng et al., 2007; Ganjewala e Luthra, 2010). Na rota MVA, três unidades de acetil CoA são condensadas formando 3-hidroxi-3metil-glutaril coenzima A (HMG-CoA), que é reduzido a ácido mevalônico que em seguida é pirofosforilado, descarboxilado e desidratado originando o IPP (Dubey et al., 2003).

A rota MEP consiste em sete etapas que ao final originam tanto IPP como DMAPP. Primeiramente ocorre a fusão do gliceraldeído-3-fosfato com piruvato, formando 1-deoxi-xilulose-3-fosfato que então é transformada em metileritritol fosfato (MEP) pela MEP-sintase, MEP é então transformado em 1-hidroxi-2-metil-(E)-butenil 4-difosfato, que após consecutivas ações enzimáticas é convertido em IPP ou DMAPP, a uma taxa de 85:15, respectivamente (Cheng et al., 2007; Nagegowda, 2010).

O IPP e seu isômero DMAPP são as unidades pentacarbonadas ativas na biosíntese dos terpenos, inicialmente reagem formando o geranil difosfato (GPP). A partir da fusão subsequente do DMAPP com outras unidades IPP, originam-se geranil difosfato (GPP), farnesil difosfato (FDP) e geranilgeranil difosfato (GGPP)

que são respectivamente precursores de monoterpenos, sesquiterpenos e diterpenos (Aharoni et al., 2006).

Quanto às propriedades terapêuticas, os óleos essenciais de *C. citratus* possui ação fungitóxica (Paranagama et al., 2003; Golçalves, 2012; Guimarães et al., 2011), antimicrobiana (Onawunmi et al., 1984; Schuck et al., 2001; Santos et al., 2009, Oliveira et al., 2011; Lucena et al., 2013), repelente (Lima et al., 2008), anti-hipertensiva (Singi et al., 2005), anti-inflamatória e diurética (Carbajal et al., 1989), diurética (Gálvez et al., 1998), analgésica (Lorenzetti et al., 1991), anti-helmíntica (Almeida et al., 2003), carrapaticida (Silva et al., 2007), antioxidante (Pereira et al., 2009; Guimarães et al., 2011), hipoglicêmica (Adeneye e Agbaje, 2007), anti-hepatocarcinogênica (Puatanachokchai et al., 2002) e alelopática, no controle de plantas daninhas (Lousada et al., 2012).

### 3.3. Nutrientes Minerais: Funções e Sintomas Visuais de Deficiência

Vários fatores são necessários para o crescimento e o desenvolvimento vegetal, como luz, água, CO<sub>2</sub> e nutrientes minerais. O fornecimento adequado ou a deficiência de algum desses fatores interferem no metabolismo e crescimento da planta. Os nutrientes minerais possuem funções específicas e essenciais no metabolismo vegetal, dependendo das quantidades exigidas, esses nutrientes podem ser divididos em macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cu, Cl, B, Mo e Ni) (Marschner, 1995).

A diagnose visual permite avaliar o estado nutricional das plantas a nível de campo, é uma técnica rápida e de baixo custo. Todavia, a análise dos teores dos nutrientes no tecido vegetal é importante, uma vez que o sintoma visual não é suficiente para diagnosticar a deficiência e suas causas. Os sintomas visuais muitas vezes são característicos de mais de um nutriente e também de outros estresses, por exemplo, a deficiência de nitrogênio é caracterizada pelo amarelecimento das folhas mais velhas, já a deficiência de enxofre provoca o amarelecimento de folhas mais novas. De acordo com Malavolta et al. (1997), os sintomas de carência dos nutrientes minerais se assemelham, muitas vezes, pelo fato de que suas funções independem da espécie vegetal.

### 3.3.1. Nitrogênio

É o nutriente mineral mais exigido pelas plantas quando comparado aos demais nutrientes. É constituinte de aminoácidos, proteínas, amidas, ácidos nucleicos, nucleotídeos, coenzimas, alcaloides e outras substâncias (Clarkson e Hanson, 1980; Marschner, 1995; Taiz e Zieger, 2006; Souza e Fernandes, 2006).

O suprimento adequado de nitrogênio está relacionado à uma alta atividade fotossintética e, por consequência, um vigoroso crescimento vegetativo (Lawlor, 2002). Para algumas culturas é observado maior crescimento das plantas, à medida que a dose fornecida desse nutriente é incrementada, como observado em plantas de capim Tifton por Taffarel et al. (2014). Esses autores verificaram que com o aumento do fornecimento de nitrogênio, houve incremento na massa de matéria seca e na altura de plantas, conferindo maior produtividade além de aumento nos teores de proteína bruta.

O mesmo foi relatado por Queiroz et al. (2011) em cultivo de milho sob diferentes doses de nitrogênio, onde maior produção obtida correspondeu à maior dose de N aplicada. Garcez Neto et al. (2002) observaram em plantas de *Panicum maximum* cv. Mombaça, cultivadas com doses crescentes de nitrogênio, que o comprimento de folha, número de folhas por perfilhos e números de perfilhos por planta, aumentaram com o aumento das doses de nitrogênio.

Gondim et al. (2010) e Rozane et al. (2008) verificaram que a omissão de nitrogênio em plantas de milho cv. BRS 1030 e aveia-preta cv. Comum, foi o tratamento que mais limitou o crescimento quando comparado com a omissão dos demais macronutrientes, houve redução do diâmetro do caule, altura das plantas, número de folhas, área foliar e massa da matéria seca da parte aérea, raiz e total.

Resultados semelhantes foram observados em plantas de *Pennisetum purpureum* cv. Mott (capim-elefante) (Avalhaes et al., 2009), milheto (Prado e Vidal, 2008) e sorgo (Santi et al. 2006), quando cultivadas em solução nutritiva, com a omissão de nitrogênio. Em capim tanzânia (*Panicum maximum* cv. Tanzania), a omissão de nitrogênio na solução nutritiva promoveu uma redução de massa de matéria seca próxima de 95%, quando comparado ao tratamento com solução completa (Prado et al., 2011).

Além da redução de crescimento, o sintoma visual característico da deficiência de N nas plantas é a clorose (amarelecimento) nas folhas, principalmente em folhas velhas, dada a alta mobilidade desse nutriente nos tecidos vegetais, sob deficiência severa, as folhas se tornam completamente amarelas e caem (Marschner, 1995; Taiz e Zieger, 2006).

Rozane et al. (2008) observaram nos tratamentos com omissão de nitrogênio, em plantas de aveia-preta, clorose uniforme da parte aérea, ficando mais intensa nas folhas mais velhas, que gradativamente evoluíram para uma necrose, especialmente nas extremidades.

Em plantas de capim-elefante, os sintomas visuais de deficiência de nitrogênio se manifestaram através de clorose das folhas mais velhas e redução do tamanho de folhas (Avalhães et al., 2009), o mesmo foi descrito para plantas de milho (Prado e Vidal, 2008) e sorgo (Santi et al., 2006).

### 3.3.2. Fósforo

O fósforo na planta é constituinte de moléculas como: DNA, RNA e fosfolipídeos das membranas, transportador de substratos e transdutor de energia química, como o ATP (adenosina trifosfato) e também participa da sinalização celular, como no inositol trifosfato (Epstein e Bloom, 2004; Marschner, 1995).

Esse nutriente também está relacionado com a produtividade das culturas, como demonstrado no trabalho de Prado et al. (2001) com plantas de milho. Esses autores observaram incrementos na produção de grãos de milho com incremento nas doses de fósforo. Avaliando a deficiência de P e o crescimento das plantas, alguns trabalhos têm demonstrado que a deficiência deste nutriente diminui a produção de massa da matéria seca dentre outras variáveis de crescimento.

Trabalhando com aveia preta cv. Comum, Rozane et al. (2008) relatam que a omissão de fósforo acarretou em diminuição no número de folhas e perfilhos em relação ao tratamento completo, além de resultar em menor produção de massa da matéria seca de parte aérea e raízes. A altura de plantas, diâmetro do colmo e área foliar foram menores na omissão de P em capim-elefante (Avalhaes et al., 2009), capim tanzânia (Prado et al., 2011), milho

(Prado e Vidal, 2008), milho cv. BRS 1030 (Gondim et al., 2010) e sorgo (Santi et al., 2006).

Como sintomas gerais, característicos da deficiência visual de fósforo, podem ser considerados, além da redução no crescimento das plantas, a folhagem verde escura, que pode apresentar má formação e pontos necróticos, pode ocorrer ainda a produção de antocianinas, tornando as folhas levemente arroxeadas (Taiz e Zieger, 2004).

Avalhães et al. (2009) avaliando a deficiência de fósforo em plantas de capim-elefante, observaram tons arroxeados na nervura central das folhas, já Rozane et al. (2008) verificaram tons arroxeados nas pontas e margens das folhas de aveia-preta. Em capim-tanzânia, os sintomas visuais nas folhas foram coloração verde menos intensa e ausência de brilho (Prado et al., 2011),

### 3.3.3. Potássio

O potássio é um nutriente mineral essencial que não possui nenhuma função estrutural no tecido vegetal, possui papel importante na regulação de inúmeros processos celulares e está envolvido na qualidade do produto final. Ativa enzimas que participam da fotossíntese, como a piruvato quinase e fosfoenolpiruvato. Está envolvido no controle da abertura e fechamento estomático, no transporte de açúcares e água e na síntese de proteínas e amido (Prajapati e Modi, 2012).

Com relação ao crescimento de plantas, a deficiência de K reduziu a massa da matéria seca, número de perfilhos e altura, em plantas como aveia-preta cv. Comum (Rozane et al., 2008), capim-elefante (Avalhães et al., 2009) capim-tanzânia (Prado et al., 2011) milheto (Prado e Vidal, 2008), assim como em plantas de milho cv BRS 1030 (Gondim et al., 2010) e sorgo (Santi et al., 2006).

O potássio é um elemento muito móvel no tecido vegetal e, por isso, seus sintomas visuais de deficiência são frequentemente percebidos primeiramente nas folhas mais velhas, um sintoma característico da deficiência de potássio está relacionado ao aparecimento de clorose ao longo da margem das folhas, que evolui para necrose (Taiz e Zieger, 2006).

Segundo Rozane et al. (2008), o sintoma visual de deficiência de potássio em plantas de aveia-preta consiste inicialmente de clorose nas pontas e margens

das folhas mais velhas, seguida por secamento e necrose, internódios mais tortuosos e maior acamamento. Os mesmos sintomas foram descritos por Prado et al. (2011) em plantas de capim-tanzânia e por Prado e Vidal (2008) em milho. Nesta cultura porém, também foi observado afinamento e redução do tamanho de colmos.

Resultados diferentes foram obtidos por Avalhães et al. (2009), em plantas de capim-elefante. Esses autores observaram clorose nas margens das folhas mais novas, que apresentavam as nervuras centrais mais verdes. Emsorgo, Santi et al. (2006), observaram avermelhamento marginal descontínuo das folhas inferiores, que evoluiu para o centro das folhas, entre as nervuras, com posterior secamento e necrose, dando aspecto de queima, além de encarquilhamento de folhas novas com a progressão da deficiência.

#### 3.3.4. Cálcio

O cálcio está envolvido na divisão celular e síntese de novas paredes celulares, em particular na lamela média, tem importante papel na estabilidade das membranas celulares e na regulação de enzimas de síntese (Marschner, 1995; Taiz e Zeiger, 2004). Este nutriente também participa como mensageiro secundário em várias respostas da planta a sinais hormonais e ambientais (Sanders et al., 1999).

Trabalhando com deficiência de cálcio em capim-elefante, Avalhães et al. (2009) observaram diminuição do diâmetro do colmo, altura de plantas, número de folhas e perfilhos e massa da matéria seca de plantas. Resultados semelhantes foram obtidos em capim-tanzânia (Prado et al., 2011), milho (Prado e Vidal, 2008), milho cv. BRS 1030 (Gondim et al., 2010) e sorgo (Santi et al., 2006), cultivados na ausência desse nutriente. Entretanto, em aveia-preta, Rozane et al. (2008) não observaram diferença significativa quanto a altura de plantas, número de perfilhos e folhas e massa da matéria seca da parte aérea, em comparação ao tratamento completo.

Os sintomas de deficiência de cálcio são caracterizados pela redução do crescimento de tecidos meristemáticos, sendo observado, primeiramente, nas extremidades em crescimento e folhas mais jovens (Marschner, 1995). Os sintomas visuais de deficiência observados em aveia-preta foram retorcimento e

clorose nas margens das folhas mais novas, evoluindo para necrose e clorose internerval e maior acamamento (Rozane et al., 2008).

Em capim-elefante os sintomas iniciais consistiram em colmos com diâmetros maiores e retorcidos, folhas com margens recortadas e tortas, com pontas necróticas (Avalhães et al., 2009). Em capim-tanzânia os sintomas se manifestaram nas folhas novas, com ápices mais finos, pequenos pontos necróticos, enrugamento para baixo e bordas recortadas (Prado et al., 2011).

Em sorgo a deficiência de cálcio acarretou em aspecto encharcado em folhas superiores e inferiores, que apresentaram pontoações avermelhadas e a ocorrência de amarelecimento, seguido de secamento e necroses circundadas por halos vermelhos e posteriormente houve morte das regiões de crescimento (Santi et al., 2006).

### 3.3.5. Magnésio

O magnésio tem importante papel na ativação de enzimas envolvidas na respiração, fotossíntese e síntese de DNA e RNA, além de ser constituinte da molécula da clorofila (Marschner, 1995; Taiz e Zeiger, 2004). Além disso, a função do magnésio na planta está relacionada com a sua capacidade para interagir com ligantes nucleofílicos através de ligações iônicas e atuar como um elemento de ligação e/ou formar complexos de diferentes estabilidades.

A omissão de magnésio no cultivo de aveia-preta acarretou em redução significativa da altura, número de folhas, número de perfilhos e massa de matéria seca da raiz, das folhas e toda planta (Rozane et al., 2008). O mesmo foi observado em capim-elefante (Avalhães et al., 2009), capim-tanzânia (Prado et al., 2011) e sorgo (Santi et al., 2006), cultivados nas mesmas condições. Em milho, a omissão de magnésio reduziu a área foliar, número de folhas e massa da matéria seca da parte aérea (Prado e Vidal, 2008).

O sintoma visual característico de deficiência de magnésio é a clorose internerval, que ocorre primeiro nas folhas velhas, por causa da alta mobilidade deste nutriente no floema, sendo translocado das folhas velhas para as novas ou para os pontos de crescimento quando em situações de deficiência (Vitti et al., 2006).

Segundo Bonato et al. (1998) se a deficiência deste nutriente persistir, a redistribuição do magnésio das folhas velhas para as novas é aumentada e o sintoma de deficiência aparece nestas últimas, indicando aumento na taxa de degradação de proteínas.

Os primeiros sintomas da deficiência de magnésio em plantas de aveia-preta foram observados nas folhas mais velhas, estas apresentaram retorcimento e amarelecimento das margens e, ao longo das nervuras, houve acamamento e diminuição do porte, regiões cloróticas se tornaram necróticas com a evolução da deficiência (Rozane et al., 2008). Os sintomas de deficiência de magnésio em plantas de capim-elefante se caracterizaram por murchamento das plantas, pontos cloróticos entre as nervuras das folhas mais velhas, seguido de necrose nas margens das folhas (Avalhães et al., 2009).

Estudando os sintomas de deficiência em capim-tanzânia, Prado et al. (2011) observaram nas folhas mais velhas, amarelecimento e clorose internerval, com coloração verde mais intensa nas nervuras e com a evolução da deficiência às margens das folhas tornaram-se necrosadas, em seguida, observou-se amarelecimento também das folhas mais novas.

Em plantas de sorgo, em decorrência da deficiência de magnésio, ocorreu amarelecimento da margem das folhas inferiores progredindo para o centro e depois entre as nervuras, com o avanço do quadro sintomatológico as folhas novas foram afetadas (Santi et al., 2006). Sintomas visuais de deficiência semelhantes foram descritos em milho por Prado e Vidal (2008).

### 3.3.6. Enxofre

O enxofre é importante na formação estrutural das proteínas e membranas celulares e transporte de elétrons. Está ligado a um número de enzimas e metaloproteínas, como proteínas ferro-enxofre (Clarkson e Hanson, 1980; Vitti et al., 2006). Metionina e cisteína, aminoácidos considerados essenciais, são formados por enxofre. Ambos os aminoácidos são precursores de outros compostos contendo enxofre (Vitti et al., 2006, Marschner, 1995).

Avalhães et al. (2009) observaram diminuição da altura, diâmetro do colmo, número de perfilhos e folhas e massa da matéria seca de parte aérea, em plantas de capim-elefante submetidas à deficiência de enxofre. A omissão desse

nutriente em cultivo de capim-tanzânia provocou uma redução na massa da matéria seca da parte aérea, raiz e total (Prado et al., 2011). Resultado diferente foi obtido por Rozane et al. (2008), trabalhando com aveia-preta, esses autores observaram que o tratamento com omissão de enxofre não reduziu o crescimento, quando comparado ao tratamento completo.

Em relação aos sintomas visuais de deficiência para aveia-preta, foram caracterizados como maior espaçamento entre os internódios e aparecimento de folhas novas cloróticas (Rozane et al., 2008). Em capim-elefante, submetido ao tratamento com deficiência de enxofre foi verificado clorose nas folhas mais novas (Avalhães et al., 2009), os mesmos sintomas foram descritos em capim-tanzânia e sorgo, onde as folhas mais novas inicialmente apresentaram-se com coloração verde claro (Prado et al., 2011; Santi et al., 2006).

### 3.3.7. Boro

Devido à grande variedade de sintomas decorrentes da omissão de boro, a determinação de sua função principal tem sido um dos maiores desafios na pesquisa com nutrição mineral de plantas. Com o passar dos anos, pesquisadores observaram relação próxima entre as paredes primárias das células e a nutrição com boro, uma vez que mais de 90% do boro celular está localizado na fração da parede celular (Blevins e Lukaszewski, 1998).

Existem relatos na literatura de que o boro está envolvido na translocação do açúcar, no metabolismo de carboidratos, no metabolismo de nitrogênio e atividade hormonal (Dechen e Nachtigall, 2006). Em síntese, este nutriente participa de três processos principais: síntese da parede celular, integridade da membrana plasmática e atividades metabólicas (Marschner, 1995; Taiz e Zeiger, 2006).

A deficiência de boro reduziu o crescimento de plantas de sorgo (Santi et al., 2005) e de milho híbrido BRS 1010 (Ferreira, 2012), quando comparado à plantas do tratamento com solução completa. Em relação aos sintomas visuais de deficiência de boro em plantas de sorgo, Santi et al. (2005) descreveram que os sintomas de deficiência desse nutriente se caracterizam pela presença, nas folhas novas, de faixas aquosas e transparentes paralelas à nervura central, que se tornam brancas e secas.

Em milho híbrido BRS 1010, com a omissão de boro os tecidos da base da lâmina de folhas novas se tornaram menos espessos, ficando mais claras, as folhas mais novas cresceram enroladas, em formato de “charuto” (Ferreira, 2012).

### 3.4. Nutrientes Minerais: Produção de Óleos Essenciais

A produção de óleos essenciais pelas plantas pode ser afetada não só de maneira quantitativa, mas também qualitativa. As substâncias majoritárias dos óleos essenciais podem sofrer alterações, tanto por fatores bióticos, como abióticos, neste sentido, o manejo nutricional pode influenciar diretamente nessa qualidade (Morais, 2009).

A identificação da importância de cada nutriente mineral, na produção de óleos essenciais pode favorecer a obtenção de matérias primas vegetais de melhor qualidade e com isso óleos com composição química mais constante (Morais, 2009). Sendo assim, estudos que procuram desenvolver técnicas que possam incrementar a produção e a qualidade de óleos essenciais podem contribuir para a indústria de fitoquímicos (Ramakrishna e Ravishankar, 2011).

Alguns trabalhos foram desenvolvidos com adubação nitrogenada e produção de óleos essenciais, com resultados contraditórios. Amaral et al., (2008) testaram doses superiores às recomendadas de nitrogênio em plantas de *Chamomilla recutita* e observaram incrementos no rendimento dos óleos essenciais, pois esse nutriente promoveu o aumento da matéria seca das plantas e dos capítulos florais, entretanto Souza et al., (2007) observaram em plantas de *Mentha piperita* cultivadas nas maiores doses de nitrogênio decréscimos no rendimento dos óleos essenciais.

Ayanoglu et al. (2002) trabalhando com doses de nitrogênio observaram que o teor e o rendimento dos óleos essenciais de *Artemisia annua* foram superiores nos tratamentos com incremento de N. A omissão de nitrogênio da solução nutritiva em cultivo de *Mentha arvensis* eliminou quase completamente o teor de limoneno no óleo, além de reduzir o teor de mentona e a produção de matéria fresca (Maia 1998).

Trabalhando com plantas de *Artemisia annua* L. e doses de N (0, 70, 140, 210 e 280 mg L<sup>-1</sup>) em solução nutritiva, Figueira (1998) observou que o teor de artemisina, um sesquiterpeno, foi maior no tratamento sem nitrogênio, entretanto,

o rendimento de artemisina por plantas aumentou proporcionalmente com os incrementos das doses de N, onde na dose 280 mg L<sup>-1</sup> foram obtidos 2,76 mg/planta de artemisina.

De acordo com Mann (2001), os óleos essenciais derivam da rota biossintética do acetato que requer fósforo inorgânico (Pi), o fósforo compõe o Isopentenil Difosfato (IPP) e o Metileritritol Fosfato (MEP), que são as unidades básicas de formação dos óleos essenciais. As relações entre doses de P e teores de óleos essenciais são relatadas em alguns trabalhos como em *Achillea millefolium* (Scheffer et al., 1993) e *Mentha arvensis* (Freitas et al., 2004).

Com relação à adubação potássica, alguns trabalhos foram desenvolvidos como o de Valmorbida et al. (2006). Esses autores avaliaram o rendimento e a composição química dos óleos essenciais de *Mentha piperita* L. e afirmaram que o teor de mentol foi maior em plantas cultivadas em baixa concentração de potássio.

Estudando doses de potássio, Singh (2008) observou que o incremento de potássio em 123 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> aumentou a produção total de forragem em 21,8% e o rendimento total de óleos essenciais em 23,7% em *Cymbopogon martinii* var. Burk. Por outro lado, Maffeis et al. (2000) observaram que acréscimos na concentração de potássio ou nas relações K:Ca ou K:Mg na solução nutritiva, proporcionaram aumentos no teor de citronelal nos óleos essenciais de *Eucalyptus citrodora*.

Amaral et al. (2010) relataram que não houve diferença nos rendimentos de matéria fresca, seca e teor de óleos essenciais, em *Baccharis trimera* cultivadas em soluções nutritivas com diferentes concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio.

Lima Filho et al. (1997) avaliaram a influência do estresse nutricional na biossíntese de esteviosídeo em *Stevia rebaudiana* e observaram que plantas com baixo teor de Ca, apresentaram redução na concentração de esteviosídeos. Utumi et al. (1999) trabalhando com deficiência nutricional em *S. rebaudiana* verificaram que as deficiências de potássio, cálcio e enxofre reduziram os teores de esteviosídeo nas folhas.

As enzimas que catalisam a biossíntese dos monoterpênicos, sesquiterpenos e diterpenos requerem Mg<sup>+2</sup> para serem ativadas (Pinto e Lameira, 2001). Nesse sentido, Suh e Park (1999), observaram que o incremento

dos teores de magnésio em solução nutritiva promoveu aumento na concentração e rendimento dos óleos essenciais de *Ocimum basilicum*, *Ocimum minimum* e *Ocimum basilicum purpurascens* e alterou a qualidade desses óleos, dependendo da concentração de Mg, sendo o teor de linalol aumentado em *Ocimum basilicum* e reduzido em *Ocimum minimum* e os teores de eugenol também foram reduzidos em *O. basilicum* e *O. basilicum purpurascens*.

O enxofre é um macronutriente constituinte da molécula de acetil COA, presente na rota de biossíntese dos óleos essenciais. Estudando doses de enxofre em plantas de *Cymbopogon martinii*, Rao et al. (2015) observaram que a aplicação de 40Kg ha<sup>-1</sup> de enxofre promoveu um aumento de 178,6% no rendimento de óleos essenciais desta planta, quando comparado a plantas controle.

O boro está envolvido em três processos principais: integridade da membrana plasmática, síntese da parede celular e atividades metabólicas (Marschner, 1995; Taiz e Zeiger, 2006). Maffeis et al. (2000) relatam a redução na produção de citronelal em condições de deficiência de boro em plantas de *Eucalyptus*. Fávoro, et al. (2011) estudando doses de boro na produção de óleos essenciais em *Corymbia citriodora*, observaram que o maior rendimento de óleos essenciais foi obtido na dose 0,75 mg dm<sup>-3</sup> de B e o menor rendimento na dose 0 mg dm<sup>-3</sup>.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação com cobertura de filme de polietileno de baixa densidade (100  $\mu\text{m}$ ) e Sombrite® 50%, na Unidade de Apoio a Pesquisa do Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, do campus da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), localizada no município de Campos dos Goytacazes – RJ.

O município se situa na latitude 21°45' S e na longitude 41° 20' W com altitude média de 11 m. Em relação ao clima, este é caracterizado como tropical úmido (Aw), com verão chuvoso e inverno seco, com temperatura média anual em torno de 24 °C, segundo a classificação climática de Köppen. Durante a condução do experimento foram registradas as médias diárias das temperaturas máximas e mínimas e a umidade relativa, dentro da casa de vegetação (Figura 3).

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com oito tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram: solução completa (SC), deficiente em Nitrogênio (-N), deficiente em Fósforo (-P), deficiente em Potássio (-K), deficiente em Cálcio (-Ca), deficiente em Magnésio (-Mg), deficiente em Enxofre (-S) e deficiente em Boro (-B). Foram utilizados vasos com capacidade para 11L (Prins et al., 2008) com uma planta por vaso, totalizando 32 vasos (Figuras 4A e 4B).

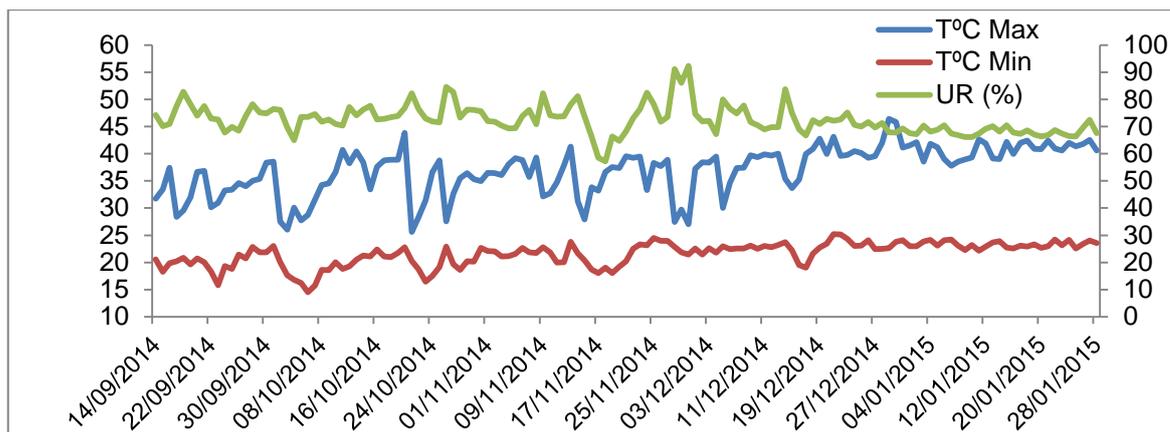


Figura 3. Média dos valores diários de temperatura (°C) e umidade relativa (UR(%)) em casa de vegetação, durante o cultivo de *C. citratus*, no período de 14 de Setembro de 2014 a 28 de Janeiro de 2015.

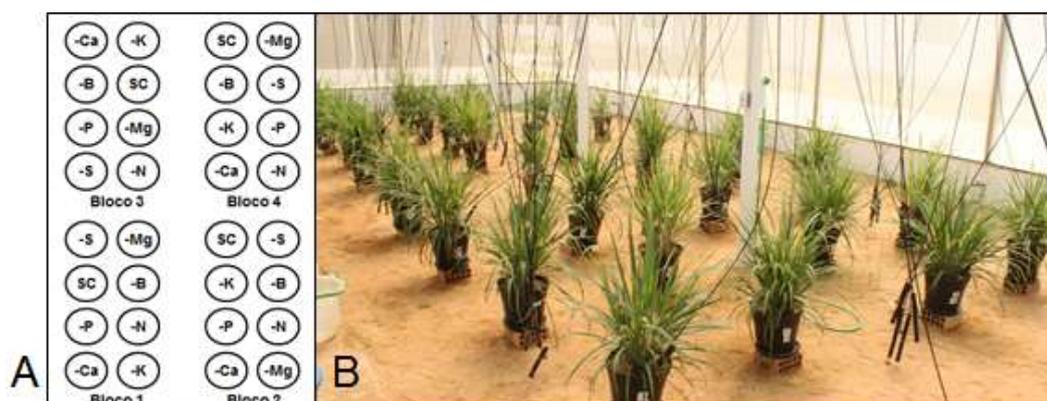


Figura 4. Delineamento experimental e distribuição dos tratamentos (a). Distribuição de plantas de *C. citratus* em casa de vegetação, 33 dias após o plantio (b).

#### 4.2. Instalação do experimento

As plantas de *Cymbopogon citratus*, utilizadas para a produção das mudas, foram fornecidas pelo Laboratório de Plantas Daninhas e Medicinais do Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da UENF. No dia 14 de

Setembro de 2014 as plantas foram separadas em perfilhos, feito o encurtamento de suas folhas e raízes e, posteriormente, plantados.

Como substrato utilizou-se areia. Esta foi previamente analisada quanto às suas características químicas e, posteriormente, peneirada e lavada com água desionizada. Para lixiviação de qualquer nutriente presente, foi colocado algodão no fundo de cada vaso para evitar a perda do substrato.

O cultivo foi feito em solução nutritiva, proposta por Hoagland e Arnon (1950), apresentada na Tabela 1, utilizando-se a técnica do elemento faltante para os tratamentos. A condutividade da solução nutritiva foi mantida entre 2,0 e 2,2 mS e o pH entre 5,5 e 5,8, utilizando-se solução NaOH ( $2 \text{ mol.L}^{-1}$ ) e HCl ( $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ ). Os tratamentos iniciaram-se no dia 10 de Novembro de 2014, aos 57 dias após o plantio.

Durante a condução do experimento foram feitas observações diárias, descrições e registros fotográficos dos sintomas visuais de deficiência, até a máxima manifestação visível. A irrigação foi realizada três vezes ao dia, aplicando-se 350 mL de água desionizada por planta em cada irrigação.

#### 4.3. Avaliação do experimento

##### 4.3.1. Avaliações biométricas

A coleta final de todas as plantas foi realizada aos 79 dias após o início dos tratamentos, correspondendo a 136 dias após o plantio. As plantas coletadas foram separadas em folhas (novas, intermediárias e velhas) e perfilhos, e avaliadas quanto ao número de folhas e perfilhos, altura de plantas, massa da matéria fresca e seca das folhas novas, intermediárias e velhas, índice SPAD e área foliar de folhas novas, intermediárias e velhas.

Tabela 1. Composição das soluções nutritivas, completa e deficiente em N, P, K, Ca, Mg, S e B, Solução de Hoagland e Arnon, (1950)

Solução estoque	Tratamentos (mL L <sup>-1</sup> )							
	Completo	-N	-P	-K	-Ca	-Mg	-S	-B
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O (2 mol L <sup>-1</sup> )	2,0	-	2,0	2,0	-	2,0	2,0	2,0
KNO <sub>3</sub> (2 mol L <sup>-1</sup> )	3,0	-	3,0	-	3,0	3,0	3,0	3,0
NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (1 mol L <sup>-1</sup> )	1,0	-	-	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
MgSO <sub>4</sub> (1 mol L <sup>-1</sup> )	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	-	-	2,0
FeEDTA (25 g L <sup>-1</sup> )	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
MICRO*	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (25 mM)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1 mol L <sup>-1</sup> )	0,5	-	0,5	0,5	0,5	0,5	-	0,5
NH <sub>4</sub> Cl (1 mol L <sup>-1</sup> )	-	-	1,0	-	-	-	1,0	-
NaNO <sub>3</sub> (2 mol L <sup>-1</sup> )	-	-	-	3,0	4,0	-	-	-
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1 mol L <sup>-1</sup> )	-	-	-	-	-	2,0	-	-
MgCl <sub>2</sub> (1 mol L <sup>-1</sup> )	-	-	-	-	-	-	2,0	-
CaCl <sub>2</sub> (2 mol L <sup>-1</sup> )	-	2,0	-	-	-	-	-	-
KCl (1 mol L <sup>-1</sup> )	-	4,0	-	-	-	-	-	-
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (1 mol L <sup>-1</sup> )	-	1,0	-	-	-	-	-	-
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0,5 mol L <sup>-1</sup> )	-	1,0	-	-	-	-	-	-

\*Micro: CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O = 250 mg L<sup>-1</sup>, KCl = 3728 mg L<sup>-1</sup>, MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O = 845 mg L<sup>-1</sup>, ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O = 578 mg L<sup>-1</sup>, (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>·4H<sub>2</sub>O = 88 mg L<sup>-1</sup>

O índice SPAD foi obtido a partir das médias de 3 medições do limbo foliar de folhas novas, intermediárias e velhas, utilizou-se o aparelho Chlorophyll Meter SPAD-502 (Minolta®). A área foliar foi determinada com aparelho modelo Licor 3100, com funcionamento em tempo real, onde o valor é obtido no momento em que a folha passa pelo sensor do aparelho.

O material vegetal foi acondicionado em sacos de papel devidamente identificados e submetido à secagem em estufa de circulação de ar forçada, a 40°C por 72 horas. Após secagem o material foi pesado para obtenção da massa da matéria seca das folhas novas, intermediárias e velhas e perfilhos.

#### 4.3.2. Determinação dos teores nutricionais

Aos 33, 65 e 79 dias após o início dos tratamentos foi realizada uma coleta de folhas para monitoramento dos teores nutricionais das plantas. Após coleta estas foram submetidas à secagem, em seguida foram moídas em moinho do tipo Willey e o material moído foi acondicionado em frascos hermeticamente fechados e identificados.

Para a determinação dos teores de N, o material vegetal foi submetido à digestão sulfúrica, no qual o nitrogênio foi determinado pelo método de Nessler (Jackson, 1965). Os outros nutrientes P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Zn, Mn, Cu, Mo e Ni foram quantificados por ICP-OES, após digestão com HNO<sub>3</sub> concentrado e H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> em sistema de digestão aberta. Condições do ICP: gás plasma 8,0 L min<sup>-1</sup>, gás a auxiliar 0,70 L min<sup>-1</sup> e gás carreador 0,55 L min<sup>-1</sup> (Peters, 2005).

#### 4.3.3. Análise do teor e composição dos óleos essenciais

Para extração dos óleos essenciais, foram utilizados 10g de folhas intermediárias secas, coletadas aos 79 dias e cortadas em tamanhos de aproximadamente 2 cm de comprimento, em seguida foi feita hidrodestilação em aparelho tipo Clevenger (Martinazzo et al., 2013). O tempo de extração foi de 120 minutos, contados a partir do início do acúmulo do óleo no tubo coletor. Após o término da extração, a fase oleosa (óleos essenciais), formada na porção superior do tubo coletor, foi recolhida com pipeta Pasteur, em seguida o óleo foi pesado. Após a pesagem em balança analítica, este foi armazenado em frasco de vidro e mantido em *freezer* até a realização da análise cromatográfica.

O teor de óleos essenciais foi calculado através da fórmula:

$$\text{Teor de óleos essenciais (\%)} = \frac{\text{óleos essenciais extraídos (g)} \times 100}{\text{material vegetal utilizado para extração(g)}}$$

A análise química dos óleos essenciais de capim-limão foi realizada em Cromatógrafo em Fase Gasosa acoplado a Espectrômetro de Massas (Shimatzu 17A). As amostras foram pesadas e diluídas em hexano e em seguida submetidas à Cromatografia em Fase Gasosa sob as seguintes condições: coluna capilar DB5

de 30 m e 0,25 mm de diâmetro interno, temperatura de 220°C no injetor e 240°C no detector, temperatura inicial de 60°C, mantida por um minuto, taxa de acréscimo de 3°C por minuto, até 240°C, na qual foi mantida por mais 30 minutos, foi utilizada razão split de 1:20 (Martinazzo et al., 2013).

#### 4.4. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Dunnet, a 5% de probabilidade, utilizando-se o Sistema de Análise Estatístico (SANEST) desenvolvido pelo CIAGRI/USP (Zonta et al., 1984).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Crescimento das plantas de *Cymbopogon citratus*

A omissão de nitrogênio no cultivo de *C. citratus* foi responsável por reduzir significativamente as variáveis de crescimento, com exceção da altura. O número de perfilhos foi reduzido em 56,5% quando comparado ao tratamento completo (Tabela 2). Lavres Junior e Monteiro (2006) também observaram redução do perfilhamento nas menores doses de nitrogênio, aplicadas no cultivo de capim-aruana, em solução nutritiva. Outros autores também relatam o efeito negativo da deficiência deste macronutriente no número de perfilhos (Santi et al., 2006; Rozane et al., 2008; Avalhães et al., 2009).

Os números de folhas novas, velhas, intermediárias e total (Tabela 2) foram reduzidos significativamente e seus valores corresponderam a menos de 50% dos obtidos nas plantas cultivadas no tratamento completo. Em aveia-preta (Rozane et al., 2008), milho cv. BRS 1030 (Gondim et al., 2010), capim-elefante (Avalhães et al., 2009) e milheto (Prado e Vidal, 2008) a restrição no fornecimento de nitrogênio também foi responsável pela redução destas variáveis de crescimento.

Tabela 2. Altura, Número de Perfilhos, Número de Folhas Novas (NFN), Intermediárias (NFI), Velhas (NFV) e Total (NTF) de *Cymbopogon citratus* cultivado por 79 dias sob omissão de macronutrientes e boro, em casa de vegetação. Campos dos Goytacazes, RJ. 2015.

Tratamento	Altura (cm)	Número de Perfilhos	N FN	NFI	NFV	NTF
<b>Completo</b>	89,0	59,7	165	162	172	499
<b>-N</b>	86,0 <sup>ns</sup>	26,0 <sup>-</sup>	72 <sup>-</sup>	69 <sup>-</sup>	43 <sup>-</sup>	185 <sup>-</sup>
<b>-P</b>	84,7 <sup>ns</sup>	41,7 <sup>-</sup>	116 <sup>-</sup>	116 <sup>-</sup>	115 <sup>ns</sup>	348 <sup>-</sup>
<b>-K</b>	77,2 <sup>-</sup>	48,2 <sup>ns</sup>	127 <sup>-</sup>	143 <sup>ns</sup>	147 <sup>ns</sup>	417 <sup>ns</sup>
<b>-Ca</b>	82,5 <sup>-</sup>	51,2 <sup>ns</sup>	118 <sup>-</sup>	128 <sup>-</sup>	102 <sup>ns</sup>	348 <sup>-</sup>
<b>-Mg</b>	81,2 <sup>-</sup>	54,7 <sup>ns</sup>	148 <sup>ns</sup>	118 <sup>-</sup>	176 <sup>ns</sup>	441 <sup>ns</sup>
<b>-S</b>	81,0 <sup>-</sup>	49,7 <sup>ns</sup>	128 <sup>-</sup>	143 <sup>ns</sup>	141 <sup>ns</sup>	411 <sup>ns</sup>
<b>-B</b>	84,5 <sup>ns</sup>	51,5 <sup>ns</sup>	127 <sup>-</sup>	158 <sup>ns</sup>	188 <sup>ns</sup>	473 <sup>ns</sup>
<b>CV (%)</b>	3,21	14,7	10,2	11,4	28,3	13,6

<sup>-</sup> Significativo e inferior ao tratamento completo pelo teste de Dunnett ( $p > 0.05$ ). <sup>ns</sup> Não difere estatisticamente do tratamento completo, pelo teste de Dunnett ( $p > 0.05$ ).

As áreas foliares de folhas novas, intermediárias, velhas e total foram reduzidas em 63,9%, 57,5%, 61,5% e 60,4%, respectivamente, em comparação ao tratamento completo (Tabela 3), este efeito decorrente da omissão de nitrogênio também é descrito para outras culturas (Santi et al., 2006; Prado e Vidal, 2008; Gondim et al., 2010).

As plantas cultivadas sob omissão de nitrogênio apresentaram redução significativa das variáveis de crescimento; a massa fresca de folhas novas foi reduzida em cerca de 63,8%, folhas intermediárias cerca de 48,7%, folhas velhas 58,3%; perfilhos 59,5% e total 56,6%, em relação à massa da matéria seca; as folhas novas foram reduzidas em 47,4%, intermediárias em 43,3%, velhas 52,5%; perfilhos 37,7% e total 30,2%, em comparação às plantas cultivadas em solução nutritiva completa (Tabelas 4 e 5). Estes dados corroboram com os trabalhos desenvolvidos por Rozane et al. (2008), Santi et al. (2006) e Gondim et al. (2010).

Tabela 3. Área Foliar de Folhas Novas (AFFN), Área Foliar de Folhas Intermediárias (AFFI), Área Foliar de Folhas Velhas (AFFV) e Área Foliar Total (AFT) de *Cymbopogon citratus* cultivado por 79 dias sob omissão de macronutrientes e boro, em casa de vegetação. Campos dos Goytacazes, RJ. 2015.

Tratamento	AFFN (cm <sup>2</sup> )	AFFI (cm <sup>2</sup> )	AFFV (cm <sup>2</sup> )	AFT (cm <sup>2</sup> )
<b>Completo</b>	4243	7892	7090	19226
<b>-N</b>	1530 <sup>ˆ</sup>	3356 <sup>ˆ</sup>	2729 <sup>ˆ</sup>	7616 <sup>ˆ</sup>
<b>-P</b>	3554 <sup>ns</sup>	6598 <sup>ns</sup>	5221 <sup>ns</sup>	15374 <sup>ns</sup>
<b>-K</b>	4531 <sup>ns</sup>	5507 <sup>ˆ</sup>	3783 <sup>ˆ</sup>	13822 <sup>ˆ</sup>
<b>-Ca</b>	1921 <sup>ˆ</sup>	5037 <sup>ˆ</sup>	6355 <sup>ns</sup>	13314 <sup>ˆ</sup>
<b>-Mg</b>	3649 <sup>ns</sup>	5645 <sup>ˆ</sup>	6560 <sup>ns</sup>	15855 <sup>ns</sup>
<b>-S</b>	4227 <sup>ns</sup>	7221 <sup>ns</sup>	5974 <sup>ns</sup>	17423 <sup>ns</sup>
<b>-B</b>	6016 <sup>+</sup>	8118 <sup>ns</sup>	6671 <sup>ns</sup>	20806 <sup>ns</sup>
<b>CV (%)</b>	18,8	13,3	26,9	12,8

<sup>+</sup> Significativo e superior ao tratamento completo pelo teste de Dunnett ( $p>0.05$ ). <sup>ˆ</sup> Significativo e inferior ao tratamento completo pelo teste de Dunnett ( $p>0.05$ ). <sup>ns</sup> Não difere estatisticamente do tratamento completo, pelo teste de Dunnett ( $p>0.05$ ).

Por outro lado, a altura não foi afetada pela omissão deste nutriente como pode ser observada na tabela 2. Resultados diferentes foram encontrados para plantas de aveia preta com 50 dias de idade, cultivadas por 35 dias em solução nutritiva omitindo-se o nitrogênio. Nestas plantas, a deficiência afetou significativamente a altura (Rozane et al., 2008), o mesmo foi observado em cultivo de milho cv. BRS 1030 (Gondim et al., 2010), capim-elefante (Avalhães et al., 2009) e milho (Prado e Vidal, 2008).

A capacidade fotossintética das folhas está relacionada com o seu teor de nitrogênio, visto que este elemento é componente estrutural da molécula de clorofila, além de fazer parte de enzimas que estão diretamente ligadas ao processo fotossintético, desta forma o crescimento vegetativo é diretamente afetado na falta deste nutriente (Peterson et al., 1999).

Em relação às variáveis de crescimento, a deficiência de fósforo foi responsável por reduzir o número de perfilhos, enquanto as plantas supridas com fósforo apresentaram 59 perfilhos, as cultivadas sob omissão tiveram apenas 41 (Tabela 2). Aveia-preta e capim elefante, cultivados sob condições de omissão de

fósforo, também tiveram o número de perfilhos reduzidos (Rozane et al., 2008; Avalhães et al., 2009).

No presente trabalho, a altura não foi afetada pela omissão de fósforo (Tabela 2), corroborando com Rozane et al. (2008), todavia, em trabalhos com milho (Gondim et al., 2010), capim-elefante (Avalhães et al., 2009) e milho (Prado e Vidal, 2008) observou-se menor altura de plantas em decorrência da omissão deste macronutriente.

Tabela 4. Massa da Matéria Fresca de Folhas Novas (MFFN), Massa da Matéria Fresca de Folhas Intermediárias (MFFI), Massa da Matéria Fresca de Folhas Velhas (MFFV), Massa da Matéria Fresca de Perfilhos (MFP) e Massa da Matéria Fresca Total (MFT) de *Cymbopogon citratus* cultivado por 79 dias sob omissão de macronutrientes e boro, em casa de vegetação. Campos dos Goytacazes, RJ. 2015.

Tratamento	MFFN (g)	MFFI (g)	MFFV (g)	MFP (g)	MFT (g)
<b>Completo</b>	108,1	197,5	176,1	937,5	1435,3
<b>-N</b>	39,10 <sup>-</sup>	101,3 <sup>-</sup>	73,34 <sup>-</sup>	379,8 <sup>-</sup>	622,8 <sup>-</sup>
<b>-P</b>	94,63 <sup>ns</sup>	180,2 <sup>ns</sup>	129,1 <sup>ns</sup>	733,9 <sup>ns</sup>	1161,6 <sup>ns</sup>
<b>-K</b>	126,9 <sup>ns</sup>	128,4 <sup>-</sup>	89,52 <sup>-</sup>	685,1 <sup>-</sup>	1048,5 <sup>-</sup>
<b>-Ca</b>	54,52 <sup>-</sup>	128,8 <sup>-</sup>	169,5 <sup>ns</sup>	664,6 <sup>-</sup>	1030,6 <sup>-</sup>
<b>-Mg</b>	95,63 <sup>ns</sup>	150,4 <sup>-</sup>	169,0 <sup>ns</sup>	790,0 <sup>ns</sup>	1218,8 <sup>ns</sup>
<b>-S</b>	130,2 <sup>ns</sup>	186,4 <sup>ns</sup>	183,4 <sup>ns</sup>	894,7 <sup>ns</sup>	1418,3 <sup>ns</sup>
<b>-B</b>	138,6 <sup>+</sup>	202,8 <sup>ns</sup>	164,9 <sup>ns</sup>	915,2 <sup>ns</sup>	1433,1 <sup>ns</sup>
<b>CV (%)</b>	15,2	13,2	22,3	15,7	12,6

<sup>+</sup>Significativo e superior ao tratamento completo pelo teste de Dunnett ( $p > 0.05$ ). <sup>-</sup> Significativo e inferior ao tratamento completo pelo teste de Dunnett ( $p > 0.05$ ). <sup>ns</sup> Não difere estatisticamente do tratamento completo, pelo teste de Dunnett ( $p > 0.05$ ).

Os números de folhas novas, intermediárias e total (116, 116 e 348) foram reduzidos pela ausência de fósforo na solução nutritiva, no cultivo de *C. citratus*, em comparação com plantas cultivadas em solução completa (165, 162 e 499) (Tabela 2), contudo, a área foliar e os parâmetros de massa da matéria fresca e seca não apresentaram resposta significativa ao tratamento (Tabelas 3, 4 e 5).

Os autores Santi et al. (2006), Gondim et al. (2010), Avalhães et al. (2009) e Prado e Vidal (2008), trabalhando com plantas da família poaceae, relatam em seus trabalhos, redução de área foliar do número de folhas e massa da matéria fresca e seca de folhas, em plantas cultivadas em soluções nutritivas deficientes em fósforo. Entretanto, cabe salientar que nestes trabalhos a indução da deficiência se deu em plantas ainda jovens, no início do seu desenvolvimento.

Tabela 5. Massa da Matéria Seca de Folhas Novas (MSFN), Massa da Matéria Seca de Folhas Intermediárias (MSFI), Massa da Matéria Seca de Folhas Velhas (MSFV), Massa da Matéria Seca de Perfilhos (MSP) e Massa da Matéria Seca Total (MST) de *Cymbopogon citratus* cultivado por 79 dias sob omissão de macronutrientes e boro, em casa de vegetação.

Tratamento	MSFN (g)	MSFI (g)	MSFV (g)	MSP (g)	MST (g)
<b>Completo</b>	32,6	60,4	58,8	203,2	383,8
<b>-N</b>	17,1 <sup>-</sup>	34,3 <sup>-</sup>	27,9 <sup>-</sup>	126,5 <sup>-</sup>	233,3 <sup>-</sup>
<b>-P</b>	29,9 <sup>ns</sup>	56,0 <sup>ns</sup>	43,6 <sup>ns</sup>	193,8 <sup>ns</sup>	352,6 <sup>ns</sup>
<b>-K</b>	38,9 <sup>ns</sup>	42,4 <sup>-</sup>	38,5 <sup>-</sup>	161,1 <sup>ns</sup>	310,5 <sup>ns</sup>
<b>-Ca</b>	15,5 <sup>-</sup>	42,4 <sup>-</sup>	56,8 <sup>ns</sup>	183,3 <sup>ns</sup>	323,6 <sup>ns</sup>
<b>-Mg</b>	22,7 <sup>ns</sup>	42,8 <sup>-</sup>	57,4 <sup>ns</sup>	158,0 <sup>ns</sup>	309,9 <sup>-</sup>
<b>-S</b>	36,5 <sup>ns</sup>	55,8 <sup>ns</sup>	60,4 <sup>ns</sup>	210,5 <sup>ns</sup>	396,3 <sup>ns</sup>
<b>-B</b>	39,7 <sup>ns</sup>	59,4 <sup>ns</sup>	54,3 <sup>ns</sup>	182,4 <sup>ns</sup>	370,1 <sup>ns</sup>
<b>CV (%)</b>	18,0	14,7	19,9	13,9	10,9

<sup>-</sup>Significativo e inferior ao tratamento completo pelo teste de Dunnett ( $p > 0.05$ ).<sup>ns</sup> Não difere estatisticamente do tratamento completo, pelo teste de Dunnett ( $p > 0.05$ ).

O fósforo está envolvido na transferência de energia, pois o ATP é responsável pela fotossíntese, translocação e muitos outros processos metabólicos. Segundo Marschner (1995), a deficiência de P pode reduzir a síntese de ácido nucleico e de proteína e, finalmente, o crescimento da célula é retardado e potencialmente paralisado.

Em relação ao tratamento -K a altura foi reduzida pela falta deste nutriente na solução nutritiva no cultivo de *C. citratus* (Tabela 2), corroborando com o observado por Avalhães et al. (2009), Prado e Vidal (2008) e Gondim et al.

(2010) em capim-elefante, milheto e milho. Resultados diferentes foram obtidos por Rozane et al. (2008), em aveia-preta cultivada sob a omissão de potássio, nesta a altura foi superior aos demais tratamentos.

O número de perfilhos não foi afetado pela omissão de potássio (Tabela 2), todavia foi observada redução do número de perfilhos nos cultivos de aveia-preta e capim-elefante (Rozane et al., 2008; Avalhães et al., 2009).

Em relação ao número de folhas, somente o número de folhas novas foi afetado de forma significativa pela deficiência de potássio (Tabela 2), sendo 23,4% inferior ao tratamento completo. As áreas foliares das folhas intermediárias, velhas e total foram inferiores ao tratamento com solução completa (Tabela 3).

Em cultivo de aveia-preta, omitindo-se o potássio da solução nutritiva observou-se redução no número total de folhas, em comparação com plantas cultivadas em solução completa (Rozane et al., 2008), estes resultados concordam com os observados por Avalhães et al. (2009) e Prado e Vidal (2008).

Entretando, em milho crescido sob as mesmas condições, o número total de folhas não foi uma variável afetada, porém, a área foliar foi reduzida (Gondim et al., 2010). Santi et al. (2006) em experimento com omissão de macronutrientes. Em cultivo de sorgo, observaram redução da área foliar de plantas cultivadas em soluções com omissão de potássio, o mesmo foi observado em milheto (Prado e Vidal, 2008).

As variáveis massa da matéria fresca e seca de folhas intermediárias e velhas e massa da matéria fresca de perfilhos e total foram reduzidas em decorrência da omissão de potássio (Tabelas 4 e 5). Estes resultados concordam com os encontrados por Rozane et al. (2008), Santi et al. (2006), Gondim et al. (2010), Avalhães et al. (2009) e Prado e Vidal (2008).

Segundo Prajapati e Modi (2012), o potássio ativa mais de 60 enzimas do metabolismo vegetal, mantém o potencial osmótico e o balanço iônico, participando do processo de abertura dos estômatos, regulando a transpiração e a entrada de CO<sub>2</sub>, influenciando diretamente a fotossíntese. Desta forma, situações de carência deste nutriente podem levar à uma redução da atividade fotossintética e, conseqüentemente, do crescimento do vegetal.

O cálcio é um macronutriente que possui baixa mobilidade nas plantas, estando a sua maior parte localizada nas paredes celulares das células vegetais e

por isso, quando em situações de deficiência deste nutriente, os pontos de crescimento são primeiramente afetados, as folhas jovens e os tecidos novos desenvolvem sintomas visuais de deficiência, devido a não remobilização deste nutriente na planta (Vitti et al., 2006).

As plantas de *C. citratus*, cultivadas sob omissão de cálcio, apresentaram menor altura (82,5 cm), quando comparadas às plantas cultivadas em solução completa (89 cm) (Tabela 2). Em sorgo, crescido em condições de deficiência de cálcio, observou-se altura reduzida em comparação à plantas crescidas em condição de disponibilidade deste nutriente (Santi et al., 2006). O mesmo foi observado em capim-elefante (Avalhães et al., 2009) e milho (Prado e Vidal, 2008). No entanto, resultados diferentes foram obtidos em aveia-preta (Rozane et al., 2008) e milho (Gondim et al., 2010) onde a altura não foi afetada pela omissão de cálcio.

O número de perfilhos das plantas submetidas à deficiência de cálcio não apresentou diferença significativa, quando comparado com plantas cultivadas em solução completa (Tabela 2). O mesmo resultado foi observado em aveia-preta, cultivadas na ausência deste nutriente (Rozane et al., 2008). Por outro lado, Avalhães et al. (2009) obtiveram número de perfilhos superior em capim-elefante crescido na ausência de cálcio.

Os números de folhas novas, intermediárias e total foram afetados negativamente pela omissão de cálcio da solução nutritiva no cultivo de *C. citratus* (Tabela 2). Trabalhos com capim-elefante e milho mostraram redução do número de folhas em decorrência de ausência de cálcio, concordando com os resultados obtidos no presente trabalho (Avalhães et al., 2009; Prado e Vidal, 2008). Todavia, nos cultivos de aveia-preta e milho, não foram observadas diferenças no número de folhas, entre as plantas cultivadas sob omissão de cálcio e as crescidas na presença de todos os nutrientes (Rozane et al., 2008; Gondim et al., 2010).

As áreas foliares de folhas novas, intermediárias e total foram reduzidas cerca de 57,7, 36,2 e 30,7%, respectivamente, em comparação ao tratamento completo (Tabela 3). A ausência de cálcio no cultivo foi responsável por reduzir as áreas foliares de sorgo (Santi et al., 2006), milho (Gondim et al., 2010) e milho (Prado e Vidal, 2008).

Para as variáveis, massa da matéria fresca de folhas novas, intermediárias, perfilhos e total (Tabela 4) e massa da matéria seca de folhas novas e intermediárias (Tabela 5), houve redução em decorrência da omissão de cálcio. Estes dados corroboram com os encontrados por Prado et al. (2011), Prado e Vidal, (2008) e Santi et al. (2006) em cultivos de capim-tanzânia, milho e sorgo.

A baixa mobilidade do cálcio e sua importância na composição das paredes celulares vegetais explica a redução significativa das variáveis de crescimento das partes mais jovens, como observado neste trabalho. É importante considerar que nas folhas novas e intermediárias os teores de cálcio encontrados foram 90% inferiores aos teores das folhas do tratamento completo (Tabela 7).

A altura das plantas cultivadas sob omissão de magnésio (81,2 cm) foi inferior às cultivadas em solução nutritiva completa (89 cm) (Tabela 2). Estes resultados corroboram com os encontrados por Rozane et al. (2008), Avalhães et al. (2008) e Prado e Vidal (2008), porém discordam de Gondim et al. (2010), em que plantas de milho, crescidas sob deficiência de magnésio, não tiveram sua altura reduzida, em comparação com plantas crescidas na presença do nutriente.

Em relação às plantas de *C. citratus* cultivadas em solução nutritiva com omissão de magnésio, observou-se que o número de perfilhos não foi afetado (Tabela 2), todavia, em aveia-preta, a omissão deste nutriente foi responsável por reduzir esta variável (Rozane et al., 2008), o mesmo comportamento foi observado em capim-elefante crescidas sob as mesmas condições (Avalhães et al., 2009).

Em *C. citratus*, somente o número e a área foliar de folhas intermediárias foram reduzidos pela omissão de magnésio (Tabelas 2 e 3). O número total de folhas foi afetado pela deficiência de magnésio em cultivo de aveia-preta e capim-elefante (Rozane et al., 2008; Avalhães et al., 2009), entretando o mesmo não foi observado para milho e milho (Gondim et al., 2010; Prado e Vidal, 2008). A área foliar em sorgo sofreu redução decorrente da carência em magnésio na solução nutritiva, todavia, essa redução não ocorreu em milho e milho (Santi et al., 2006; Gondim et al., 2010; Prado e Vidal, 2008).

A massa da matéria fresca e seca de folhas intermediárias e massa da matéria seca total de folhas de *C. citratus* cultivadas em solução nutritiva,

omitindo-se o magnésio, foram menores em comparação com plantas crescidas em solução completa (Tabelas 4 e 5). Estes resultados concordam com os encontrados por Avalhães et al. (2008), Santi et al. (2006), Gondim et al. (2010), Rozane et al. (2008) e Prado et al. (2011), porém discordam de Prado e Vidal (2008).

O magnésio, além de fazer parte da molécula da clorofila, ativa mais enzimas que qualquer outro nutriente mineral, dentre essas enzimas, as mais importantes são aquelas envolvidas na transferência de energia via adenosina trifosfato (ATP) (Epstein e Bloom, 2006). O ATP é importante para fotossíntese, translocação e muitos outros processos metabólicos envolvidos no crescimento das plantas.

*C. citratus* crescidos na ausência de enxofre apresentaram 81 cm de altura, enquanto plantas crescidas em solução completa alcançaram 89 cm (Tabela 2). Todavia este mesmo resultado não foi observado de aveia-preta (Rozane et al., 2008), capim-elefante (Avalhães et al., 2009), milho (Gondim et al., 2010), cana (Vale et al., 2011) e milheto (Prado e Vidal, 2008), nestas plantas a altura não foi reduzida pela ausência de enxofre no cultivo.

A omissão de S da solução nutritiva não afetou o número de perfilhos em *C. citratus* como pode ser observado na tabela 2, concordando com trabalho de Vale et al. (2011), porém, em capim-elefante observou-se menor perfilhamento em plantas sob deficiência deste nutriente (Avalhães et al., 2009).

O número de folhas novas foi reduzido em plantas cultivadas em solução nutritiva sem enxofre, já o número de folhas intermediárias, velhas e totais não foi afetado (Tabela 2), estes dados corroboram com Avalhães et al. (2009). Em cana crescida sob as mesmas condições, o número total de folhas não sofreu redução (Vale et al., 2011), o mesmo foi observado em milheto (Prado e Vidal, 2008), milho (Gondim et al., 2010) e aveia-preta (Rozane et al., 2008). A baixa mobilidade do enxofre no tecido vegetal (Marschner, 1995) pode explicar a redução no número de folhas novas no presente trabalho.

Não foi verificada diferença para as variáveis: área foliar de folhas novas, intermediárias, velhas e total entre plantas de *C. citratus* cultivadas sob a omissão de enxofre e plantas cultivadas em solução nutritiva completa (Tabela 3). No entanto, sorgo cultivado na ausência deste nutriente teve sua área foliar reduzida em comparação com plantas crescidas na presença de S (Santi et al., 2006),

resultados diferentes foram obtidos por Prado e Vidal (2008) e Gondim et al. (2010) em cultivos de milheto e milho.

Nas tabelas 4 e 5 são apresentados os dados de massa da matéria fresca e seca de *C.citratus* crescidas em solução nutritiva com omissão de S, essas variáveis não foram afetadas pela ausência deste nutriente na solução, concordando com Rozane et al. (2008) e Vale et al. (2011). Porém, Santi et al. (2006) observaram redução da massa da matéria seca total de plantas cultivadas em solução nutritiva com supressão de enxofre, o mesmo foi observado em milho (Gondim et al., 2010), capim-tanzânia (Prado e Vidal, 2011) e capim-elefante (Avalhães et al., 2009).

As variáveis, altura, número de perfilhos e folhas e área foliar de folhas intermediárias, velhas e totais, assim como massa da matéria fresca e seca não foram afetadas pela omissão de boro na solução nutritiva, em cultivo de *C. citratus*, entretanto, observou-se incremento da área foliar de folhas novas (Tabela 2, 3, 4 e 5). As monocotiledôneas não são muito exigentes em boro quando comparadas às dicotiledôneas (Marschner, 1995), talvez essa possa ser uma explicação para o efeito não significativo no crescimento, mesmo com teores de boro 53,5 e 61,7% menores nas folhas intermediárias e velhas.

Com relação à altura, o mesmo resultado foi obtido por Marchesan et al. (2001) em arroz irrigado. Ferreira (2012) observou redução no porte de milho com a ausência de boro, porém, nesse mesmo tratamento ocorreu maior perfilhamento destas plantas. A omissão de boro foi responsável por reduzir a massa da matéria seca de colmos, folhas e raízes e a área foliar em sorgo (Santi et al., 2005), em mamoneira foram reduzidas a massa da matéria seca de raiz, parte aérea e total (Lange et al., 2005). Porém, a omissão de boro não afetou a produção de grãos de arroz irrigado, como pode ser observado no trabalho de Marchesan et al. (2001).

O número de folhas novas foi reduzido pela deficiência de boro, porém, a área foliar destas plantas foi maior, assim como a massa da matéria fresca de folhas novas (Tabelas 2 e 3). Como a mobilidade do boro é limitada em muitas plantas, comumente seus sintomas se manifestam nas regiões mais novas dos vegetais (Dechen e Nachtigall, 2006; Marschner, 1995).

## 5.2. Caracterização dos sintomas de deficiência de macronutrientes e boro em plantas de *Cymbopogon citratus*

### 5.2.1. Nitrogênio

Os sintomas visuais de deficiência de nitrogênio iniciaram-se aos 24 dias após o início dos tratamentos e aos 81 dias após o plantio. Inicialmente as folhas mais velhas adquiriram coloração verde mais clara (Figura 5A), aos 33 dias o teor de nitrogênio, nas folhas mais velhas do tratamento com omissão deste nutriente, era de  $10,2 \text{ g.Kg}^{-1}$ , cerca de 51% inferior ao tratamento completo ( $20,8 \text{ g.Kg}^{-1}$ ).

Em cultivo de capim-tifton, em argissolo vermelho-amarelo, estes mesmos sintomas iniciaram-se aos 40 dias após o plantio (Sarmiento et al., 2006). Por outro lado, Prado e Vidal (2008) observaram sintomas de deficiência de nitrogênio em plantas jovens de milho aos 7 dias após o início dos tratamentos (21 dias após a semeadura).

Aos 60 dias após a indução da deficiência, as folhas mais velhas apresentavam-se verde claro (Figura 5B). As plantas submetidas à omissão de nitrogênio apresentavam, aos 65 dias, teores médios de N de  $4,60 \text{ g.Kg}^{-1}$  nas folhas velhas e  $6,75 \text{ g.Kg}^{-1}$  nas folhas novas, sendo, respectivamente, estes valores 75% e 56,8% inferiores aos teores encontrados nas folhas do tratamento completo ( $15,6 \text{ g.Kg}^{-1}$  e  $14,5 \text{ g.Kg}^{-1}$ ) (Tabela 6).

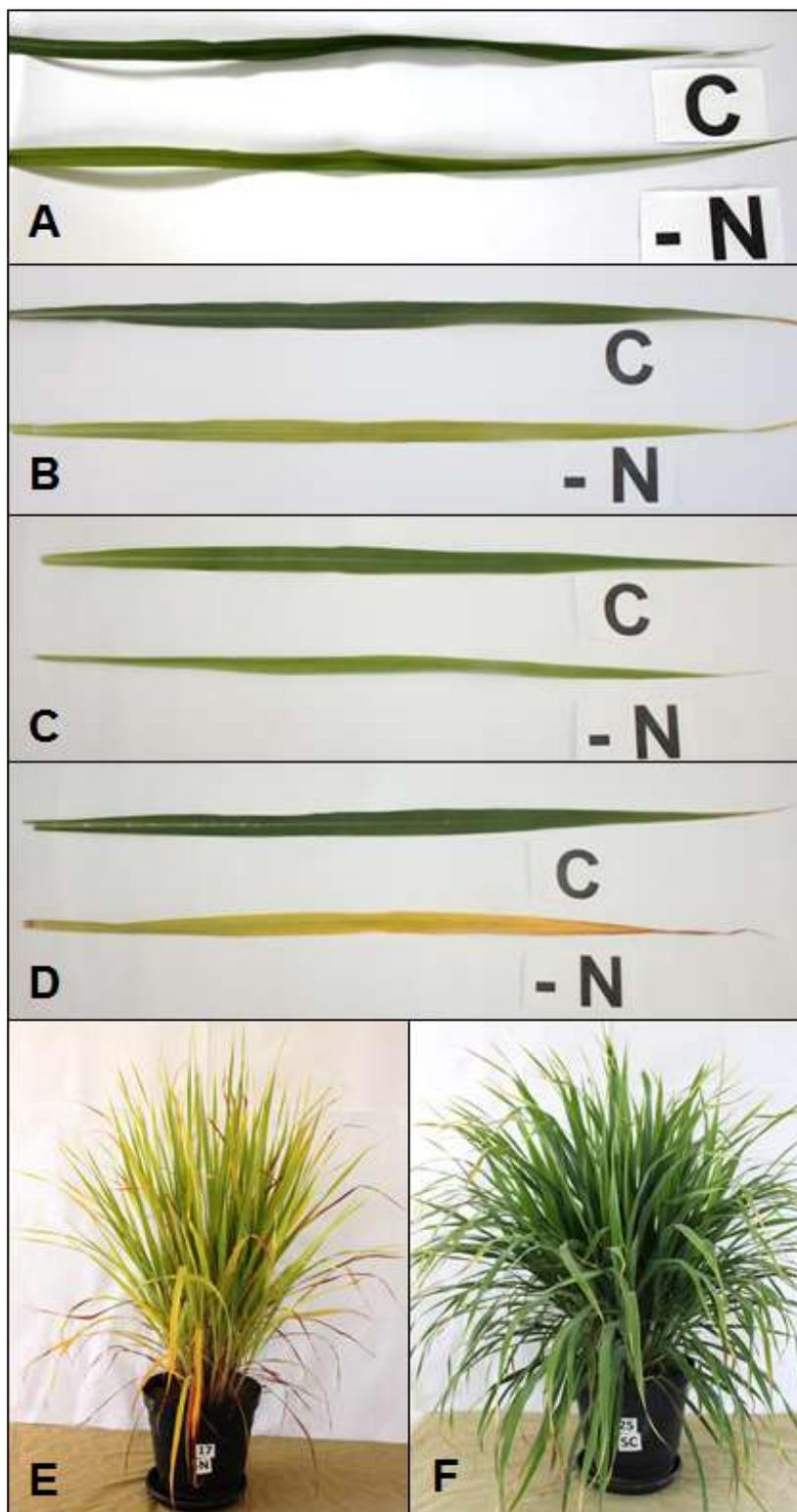


Figura 5: Sintomas de deficiência de Nitrogênio em *C. citratus*. A – comparação entre folhas velhas aos 33 dias de omissão. B – comparação entre folhas velhas aos 60 dias de omissão. C – comparação entre folhas novas aos 79 dias omissão. D – comparação entre folhas velhas aos 79 dias de omissão. E – planta aos 79 dias de omissão. F – planta aos 79 dias de cultivo em solução completa.

Tabela 6. Teores de macronutrientes em folhas novas e velhas de *C.citrus* cultivado por 65 dias sob omissão de macronutrientes e boro, em casa de vegetação. Campos dos Goytacazes, RJ. 2015

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----g.Kg <sup>-1</sup> -----					
<b>Folhas Novas</b>						
<b>Completo</b>	14,5	2,68	19,7	2,66	1,56	1,09
<b>-N</b>	6,75 <sup>-</sup>	2,16 <sup>-</sup>	16,65 <sup>-</sup>	0,87 <sup>-</sup>	0,43 <sup>-</sup>	0,57 <sup>-</sup>
<b>-P</b>	11,71 <sup>-</sup>	1,55 <sup>-</sup>	21,4 <sup>ns</sup>	1,42 <sup>-</sup>	0,79 <sup>-</sup>	1,02 <sup>ns</sup>
<b>-K</b>	13,7 <sup>ns</sup>	2,86 <sup>ns</sup>	10,7 <sup>-</sup>	1,92 <sup>-</sup>	1,27 <sup>ns</sup>	0,90 <sup>-</sup>
<b>-Ca</b>	13,2 <sup>ns</sup>	2,31 <sup>ns</sup>	19,4 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>-</sup>	1,42 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>ns</sup>
<b>-Mg</b>	13,6 <sup>ns</sup>	2,89 <sup>ns</sup>	21,9 <sup>ns</sup>	2,62 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>-</sup>	1,03 <sup>ns</sup>
<b>-S</b>	12,9 <sup>-</sup>	2,69 <sup>ns</sup>	20,8 <sup>ns</sup>	2,21 <sup>-</sup>	0,95 <sup>-</sup>	0,45 <sup>-</sup>
<b>-B</b>	13,5 <sup>ns</sup>	2,25 <sup>-</sup>	20,5 <sup>ns</sup>	1,93 <sup>-</sup>	1,08 <sup>-</sup>	1,20 <sup>ns</sup>
<b>CV (%)</b>	5,30	8,33	6,13	9,66	18,3	9,73
<b>Folhas Velhas</b>						
<b>Completo</b>	15,64	1,23	12,78	10,23	2,39	1,47
<b>-N</b>	4,60 <sup>-</sup>	1,33 <sup>ns</sup>	16,3 <sup>+</sup>	3,97 <sup>-</sup>	1,04 <sup>-</sup>	0,69 <sup>-</sup>
<b>-P</b>	14,4 <sup>ns</sup>	0,45 <sup>-</sup>	18,3 <sup>+</sup>	7,27 <sup>-</sup>	1,61 <sup>-</sup>	1,36 <sup>ns</sup>
<b>-K</b>	15,2 <sup>ns</sup>	1,75 <sup>+</sup>	1,43 <sup>-</sup>	9,51 <sup>ns</sup>	3,55 <sup>+</sup>	1,60 <sup>ns</sup>
<b>-Ca</b>	13,5 <sup>-</sup>	1,42 <sup>ns</sup>	20,4 <sup>+</sup>	1,53 <sup>-</sup>	3,36 <sup>+</sup>	1,49 <sup>ns</sup>
<b>-Mg</b>	13,9 <sup>-</sup>	1,60 <sup>+</sup>	19,4 <sup>+</sup>	7,15 <sup>-</sup>	0,24 <sup>-</sup>	1,11 <sup>-</sup>
<b>-S</b>	11,8 <sup>-</sup>	1,17 <sup>ns</sup>	13,8 <sup>ns</sup>	10,2 <sup>ns</sup>	2,51 <sup>ns</sup>	0,84 <sup>-</sup>
<b>-B</b>	13,9 <sup>-</sup>	1,05 <sup>ns</sup>	13,9 <sup>ns</sup>	8,53 <sup>-</sup>	2,05 <sup>ns</sup>	1,46 <sup>ns</sup>
<b>CV (%)</b>	6,5	11,3	9,20	8,29	13,4	9,58

<sup>+</sup>Significativo e superior ao tratamento completo pelo teste de Dunnett ( $p > 0.05$ ). <sup>-</sup> Significativo e inferior ao tratamento completo pelo teste de Dunnett ( $p > 0.05$ ). <sup>ns</sup> Não difere estatisticamente do tratamento completo, pelo teste de Dunnett ( $p > 0.05$ ).

Ao fim do experimento, aos 79 dias após a indução da deficiência, as folhas mais velhas apresentaram-se totalmente amareladas, com as pontas necrosadas e secas e as folhas mais novas possuíam coloração verde claro (Figuras 5C, 5D e 5E). A planta mantida sob deficiência de N apresentou menor massa foliar, em comparação com a planta crescida em solução completa, como pode ser observado na figuras E e F. Os teores encontrados para nitrogênio, aos 79 dias, nas folhas velhas e novas das plantas submetidas ao tratamento foram  $3,13 \text{ g.Kg}^{-1}$  e  $5,93 \text{ g.Kg}^{-1}$ , sendo, respectivamente, 79,8% e 61,1% inferiores aos teores do tratamento completo ( $15,5$  e  $15,5 \text{ g.Kg}^{-1}$ ) (Tabela 7).

No cultivo de sorgo, em solução nutritiva com a omissão de nitrogênio, Santi et al. (2006) observaram clorose nas folhas velhas e amarelecimento das nervuras das folhas mais jovens, com a progressão da deficiência a clorose evoluiu para as folhas mais novas. Estes mesmos sintomas foram descritos em plantas de capim-tanzânia (Prado et al., 2011), milho (Prado e Vidal, 2008), aveia-preta (Rozane et al., 2008) e capim-elefante (cv. Mott) (Avalhães et al., 2009), onde também foi observada redução no tamanho de folhas. Em plantas de milho híbrido BRS 1010, além da clorose observou-se tom rosado nas folhas mais velhas, seguido por necrose (Ferreira, 2012).

Após 65 dias de aplicação dos tratamentos os teores de P, K, Ca, Mg, S e Mo nas folhas novas foram significativamente reduzidos, por outro lado, nas folhas velhas observou-se elevação dos teores de K e redução de Ca, Mg, S, Cu, Zn e Mo (Tabelas 6 e 8).

A omissão de N da solução nutritiva diminuiu significativamente a absorção dos nutrientes Ca, Mg, S e Zn nas folhas velhas e Ca, Mg, S e Mo nas folhas novas, aos 79 dias após a omissão dos nutrientes (Tabelas 7 e 9). O efeito negativo da deficiência de N na absorção de outros nutrientes foi observado em aveia-preta para K e Ca (Rozane et al., 2008), em capim-elefante para P, K, Ca, Mg e S (Avalhães et al., 2009), em capim-tifton também foi observado efeito negativo nos teores de Cu e Zn (Sarmiento et al., 2006).

Tabela 7. Teores de macronutrientes em folhas novas, intermediárias e velhas de *Cymbopogon citratus* cultivado por 79 dias sob omissão de macronutrientes e boro, em casa de vegetação. Campos dos Goytacazes, RJ. 2015

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
	-----g.Kg <sup>-1</sup> -----					
<b>Folhas Novas</b>						
<b>Completo</b>	15,5	2,77	23,7	3,62	1,55	1,31
<b>-N</b>	5,93 <sup>-</sup>	2,20 <sup>ns</sup>	20,6 <sup>ns</sup>	1,29 <sup>-</sup>	0,58 <sup>-</sup>	0,54 <sup>-</sup>
<b>-P</b>	11,8 <sup>-</sup>	1,35 <sup>-</sup>	23,8 <sup>ns</sup>	2,05 <sup>-</sup>	1,05 <sup>ns</sup>	1,13 <sup>ns</sup>
<b>-K</b>	15,7 <sup>ns</sup>	3,11 <sup>ns</sup>	12,3 <sup>-</sup>	2,73 <sup>ns</sup>	1,65 <sup>ns</sup>	1,07 <sup>-</sup>
<b>-Ca</b>	14,0 <sup>ns</sup>	2,63 <sup>ns</sup>	28,9 <sup>+</sup>	0,34 <sup>-</sup>	2,76 <sup>+</sup>	1,11 <sup>ns</sup>
<b>-Mg</b>	15,4 <sup>ns</sup>	3,83 <sup>+</sup>	26,5 <sup>ns</sup>	3,16 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>-</sup>	1,14 <sup>ns</sup>
<b>-S</b>	13,9 <sup>ns</sup>	2,99 <sup>ns</sup>	26,1 <sup>ns</sup>	2,69 <sup>ns</sup>	1,11 <sup>ns</sup>	0,50 <sup>-</sup>
<b>-B</b>	13,9 <sup>ns</sup>	2,62 <sup>ns</sup>	24,9 <sup>ns</sup>	2,93 <sup>ns</sup>	1,51 <sup>ns</sup>	1,46 <sup>ns</sup>
<b>CV (%)</b>	8,41	11,1	6,87	24,3	20,5	10,1
<b>Folhas Intermediárias</b>						
<b>Completo</b>	15,4	1,90	22,5	9,81	2,65	1,53
<b>-N</b>	4,75 <sup>-</sup>	1,59 <sup>ns</sup>	19,0 <sup>-</sup>	2,25 <sup>-</sup>	0,74 <sup>-</sup>	0,51 <sup>-</sup>
<b>-P</b>	12,3 <sup>-</sup>	0,62 <sup>-</sup>	24,2 <sup>ns</sup>	4,65 <sup>-</sup>	1,43 <sup>-</sup>	1,29 <sup>ns</sup>
<b>-K</b>	15,5 <sup>ns</sup>	2,22 <sup>ns</sup>	4,03 <sup>-</sup>	7,76 <sup>-</sup>	3,20 <sup>ns</sup>	1,32 <sup>ns</sup>
<b>-Ca</b>	14,2 <sup>ns</sup>	2,11 <sup>ns</sup>	28,2 <sup>+</sup>	0,73 <sup>-</sup>	3,77 <sup>+</sup>	1,41 <sup>ns</sup>
<b>-Mg</b>	13,9 <sup>ns</sup>	2,12 <sup>ns</sup>	26,4 <sup>+</sup>	6,66 <sup>-</sup>	0,36 <sup>-</sup>	1,15 <sup>-</sup>
<b>-S</b>	11,8 <sup>-</sup>	2,00 <sup>ns</sup>	23,2 <sup>ns</sup>	7,02 <sup>-</sup>	1,77 <sup>-</sup>	0,64 <sup>-</sup>
<b>-B</b>	13,9 <sup>ns</sup>	1,63 <sup>ns</sup>	23,9 <sup>ns</sup>	6,80 <sup>-</sup>	2,68 <sup>ns</sup>	1,63 <sup>ns</sup>
<b>CV (%)</b>	6,88	13,7	6,99	16,7	15,7	10,7
<b>Folhas Velhas</b>						
<b>Completo</b>	15,5	1,31	16,5	14,7	3,06	1,74
<b>-N</b>	3,13 <sup>-</sup>	1,08 <sup>ns</sup>	18,0 <sup>ns</sup>	4,64 <sup>-</sup>	1,26 <sup>-</sup>	0,56 <sup>-</sup>
<b>-P</b>	13,7 <sup>-</sup>	0,42 <sup>-</sup>	21,3 <sup>+</sup>	7,48 <sup>-</sup>	1,62 <sup>-</sup>	1,57 <sup>ns</sup>
<b>-K</b>	13,8 <sup>-</sup>	2,21 <sup>+</sup>	1,90 <sup>-</sup>	10,6 <sup>-</sup>	3,74 <sup>+</sup>	1,63 <sup>ns</sup>
<b>-Ca</b>	13,1 <sup>-</sup>	1,63 <sup>ns</sup>	22,6 <sup>+</sup>	1,90 <sup>-</sup>	4,13 <sup>+</sup>	1,56 <sup>ns</sup>
<b>-Mg</b>	12,9 <sup>-</sup>	1,65 <sup>ns</sup>	22,7 <sup>+</sup>	8,18 <sup>-</sup>	0,34 <sup>-</sup>	1,17 <sup>-</sup>
<b>-S</b>	10,8 <sup>-</sup>	1,37 <sup>ns</sup>	17,1 <sup>ns</sup>	12,9 <sup>ns</sup>	2,43 <sup>ns</sup>	0,74 <sup>-</sup>
<b>-B</b>	13,1 <sup>-</sup>	1,30 <sup>ns</sup>	18,4 <sup>ns</sup>	11,4 <sup>-</sup>	2,76 <sup>ns</sup>	1,84 <sup>ns</sup>
<b>CV (%)</b>	6,60	14,2	8,3	14,7	13,3	13,2

<sup>+</sup>Significativo e superior ao tratamento completo pelo teste de Dunnett ( $p > 0.05$ ). <sup>-</sup> Significativo e inferior ao tratamento completo pelo teste de Dunnett ( $p > 0.05$ ). <sup>ns</sup> Não difere estatisticamente do tratamento completo, pelo teste de Dunnett ( $p > 0.05$ ).

Tabela 8. Teores de micronutrientes em folhas novas e velhas de *Cymbopogon citratus* cultivado por 65 dias sob omissão de macronutrientes e boro, em casa de vegetação. Campos dos Goytacazes, RJ. 2015

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Mo	Ni
	-----mg.Kg <sup>-1</sup> -----						
<b>Folhas Novas</b>							
<b>Completo</b>	17,0	3,19	60,4	18,6	22,2	2,07	0,25
<b>-N</b>	11,4 <sup>-</sup>	2,14 <sup>ns</sup>	51,9 <sup>ns</sup>	20,94 <sup>ns</sup>	19,6 <sup>ns</sup>	0,88 <sup>-</sup>	0,34 <sup>ns</sup>
<b>-P</b>	14,6 <sup>ns</sup>	4,76 <sup>ns</sup>	56,8 <sup>ns</sup>	21,49 <sup>ns</sup>	26,6 <sup>ns</sup>	2,86 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>
<b>-K</b>	14,2 <sup>ns</sup>	3,41 <sup>ns</sup>	59,1 <sup>ns</sup>	16,00 <sup>ns</sup>	21,1 <sup>ns</sup>	2,27 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>
<b>-Ca</b>	17,5 <sup>ns</sup>	2,52 <sup>ns</sup>	74,9 <sup>ns</sup>	39,79 <sup>+</sup>	17,7 <sup>ns</sup>	2,15 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>
<b>-Mg</b>	16,9 <sup>ns</sup>	4,07 <sup>ns</sup>	64,5 <sup>ns</sup>	37,72 <sup>+</sup>	22,5 <sup>ns</sup>	2,40 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>
<b>-S</b>	14,1 <sup>ns</sup>	3,23 <sup>ns</sup>	48,1 <sup>ns</sup>	16,02 <sup>ns</sup>	18,7 <sup>ns</sup>	5,54 <sup>+</sup>	0,26 <sup>ns</sup>
<b>-B</b>	7,13 <sup>-</sup>	3,24 <sup>ns</sup>	50,9 <sup>ns</sup>	22,53 <sup>ns</sup>	21,8 <sup>ns</sup>	2,21 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>
<b>CV (%)</b>	11,2	24,1	20,5	32,5	15,3	17,8	20,3
<b>Folhas Velhas</b>							
<b>Completo</b>	44,7	2,38	92,9	114	13,2	1,66	0,25
<b>-N</b>	19,7	1,09 <sup>-</sup>	102 <sup>ns</sup>	106 <sup>ns</sup>	8,68 <sup>-</sup>	0,42 <sup>-</sup>	0,28 <sup>ns</sup>
<b>-P</b>	30,9 <sup>-</sup>	2,78 <sup>ns</sup>	96,2 <sup>ns</sup>	81,2 <sup>ns</sup>	9,24 <sup>-</sup>	1,82 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>
<b>-K</b>	32,4 <sup>-</sup>	3,68 <sup>+</sup>	110 <sup>ns</sup>	95,5 <sup>ns</sup>	9,91 <sup>ns</sup>	3,20 <sup>+</sup>	0,20 <sup>ns</sup>
<b>-Ca</b>	32,9 <sup>-</sup>	2,43 <sup>ns</sup>	103 <sup>ns</sup>	132 <sup>ns</sup>	12,4 <sup>ns</sup>	2,28 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>
<b>-Mg</b>	33,7 <sup>-</sup>	3,14 <sup>ns</sup>	110 <sup>ns</sup>	135 <sup>ns</sup>	10,0 <sup>ns</sup>	3,08 <sup>+</sup>	0,27 <sup>ns</sup>
<b>-S</b>	29,2 <sup>-</sup>	2,28 <sup>ns</sup>	101 <sup>ns</sup>	112 <sup>ns</sup>	10,3 <sup>ns</sup>	3,17 <sup>+</sup>	0,32 <sup>ns</sup>
<b>-B</b>	15,2 <sup>-</sup>	2,09 <sup>ns</sup>	97,6 <sup>ns</sup>	131 <sup>ns</sup>	10,7 <sup>ns</sup>	1,79 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>
<b>CV (%)</b>	12,6	22,6	14,6	17,1	18,5	16,5	19,1

<sup>+</sup>Significativo e superior ao tratamento completo pelo teste de Dunnett ( $p > 0.05$ ). <sup>-</sup>Significativo e inferior ao tratamento completo pelo teste de Dunnett ( $p > 0.05$ ). <sup>ns</sup> Não difere estatisticamente do tratamento completo, pelo teste de Dunnett ( $p > 0.05$ ).

Tabela 9. Teores de micronutrientes em folhas novas, intermediárias e velhas de *Cymbopogon citratus* cultivado por 79 dias sob omissão de macronutrientes e boro, em casa de vegetação. Campos dos Goytacazes, RJ. 2015

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Mo	Ni
	mg.Kg <sup>-1</sup>						
<b>Folhas Novas</b>							
<b>Completo</b>	12,5	3,57	88,8	26,7	21,9	2,12	0,33
<b>-N</b>	11,8 <sup>ns</sup>	2,06 <sup>ns</sup>	86,5 <sup>ns</sup>	38,1 <sup>ns</sup>	17,6 <sup>ns</sup>	0,88 <sup>-</sup>	0,33 <sup>ns</sup>
<b>-P</b>	20,6 <sup>+</sup>	5,08 <sup>ns</sup>	88,2 <sup>ns</sup>	29,9 <sup>ns</sup>	27,0 <sup>ns</sup>	2,25 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>
<b>-K</b>	17,7 <sup>+</sup>	3,66 <sup>ns</sup>	101,5 <sup>ns</sup>	21,8 <sup>ns</sup>	22,7 <sup>ns</sup>	2,14 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>
<b>-Ca</b>	21,5 <sup>+</sup>	2,67 <sup>ns</sup>	108,9 <sup>ns</sup>	51,7 <sup>+</sup>	18,7 <sup>ns</sup>	2,27 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>
<b>-Mg</b>	19,2 <sup>+</sup>	4,23 <sup>ns</sup>	102,7 <sup>ns</sup>	38,8 <sup>ns</sup>	28,2 <sup>+</sup>	2,20 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>
<b>-S</b>	16,8 <sup>ns</sup>	3,56 <sup>ns</sup>	90,2 <sup>ns</sup>	26,6 <sup>ns</sup>	20,8 <sup>ns</sup>	5,06 <sup>+</sup>	0,38 <sup>ns</sup>
<b>-B</b>	9,99 <sup>ns</sup>	3,59 <sup>ns</sup>	99,7 <sup>ns</sup>	37,8 <sup>ns</sup>	27,5 <sup>+</sup>	2,21 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>
<b>CV (%)</b>	13,9	22,3	13,0	22,2	11,6	10,5	74,2
<b>Folhas Intermediárias</b>							
<b>Completo</b>	31,6	2,83	122,9	73,5	17,3	1,51	0,19
<b>-N</b>	14,0 <sup>-</sup>	1,28 <sup>-</sup>	126,0 <sup>ns</sup>	46,4 <sup>ns</sup>	8,80 <sup>-</sup>	0,46 <sup>-</sup>	0,24 <sup>ns</sup>
<b>-P</b>	28,6 <sup>ns</sup>	3,70 <sup>ns</sup>	130,2 <sup>ns</sup>	53,4 <sup>ns</sup>	14,5 <sup>ns</sup>	1,80 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>
<b>-K</b>	26,0 <sup>ns</sup>	2,83 <sup>ns</sup>	131,9 <sup>ns</sup>	59,6 <sup>ns</sup>	13,9 <sup>ns</sup>	1,79 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>
<b>-Ca</b>	32,5 <sup>ns</sup>	2,48 <sup>ns</sup>	140,5 <sup>ns</sup>	67,4 <sup>ns</sup>	13,2 <sup>ns</sup>	2,02 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>
<b>-Mg</b>	31,3 <sup>ns</sup>	3,46 <sup>ns</sup>	130,5 <sup>ns</sup>	89,2 <sup>ns</sup>	17,9 <sup>ns</sup>	2,16 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>
<b>-S</b>	26,9 <sup>ns</sup>	2,65 <sup>ns</sup>	141,3 <sup>ns</sup>	53,2 <sup>ns</sup>	16,3 <sup>ns</sup>	3,91 <sup>+</sup>	0,27 <sup>ns</sup>
<b>-B</b>	14,7 <sup>-</sup>	2,88 <sup>ns</sup>	126,9 <sup>ns</sup>	87,6 <sup>ns</sup>	18,4 <sup>ns</sup>	1,71 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>
<b>CV (%)</b>	13,1	22,6	15,7	26,2	18,6	23,9	38,2
<b>Folhas Velhas</b>							
<b>Completo</b>	44,8	2,53	164,0	138,7	16,5	1,70	0,35
<b>-N</b>	14,4 <sup>-</sup>	1,71 <sup>ns</sup>	195,6 <sup>ns</sup>	138,7 <sup>ns</sup>	6,93 <sup>-</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>
<b>-P</b>	20,0 <sup>-</sup>	2,54 <sup>ns</sup>	165,3 <sup>ns</sup>	97,7 <sup>ns</sup>	10,8 <sup>-</sup>	2,01 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>
<b>-K</b>	36,9 <sup>ns</sup>	2,90 <sup>ns</sup>	171,9 <sup>ns</sup>	100,3 <sup>ns</sup>	10,5 <sup>-</sup>	3,01 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>
<b>-Ca</b>	33,9 <sup>-</sup>	2,32 <sup>ns</sup>	188,4 <sup>ns</sup>	117,2 <sup>ns</sup>	11,1 <sup>-</sup>	2,40 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>
<b>-Mg</b>	38,3 <sup>ns</sup>	3,00 <sup>ns</sup>	175,2 <sup>ns</sup>	152,6 <sup>ns</sup>	11,2 <sup>-</sup>	2,93 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>
<b>-S</b>	28,8 <sup>-</sup>	2,23 <sup>ns</sup>	194,4 <sup>ns</sup>	105,9 <sup>ns</sup>	15,5 <sup>ns</sup>	2,61 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>
<b>-B</b>	17,1 <sup>-</sup>	2,79 <sup>ns</sup>	183,3 <sup>ns</sup>	165,7 <sup>ns</sup>	14,9 <sup>ns</sup>	2,12 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>
<b>CV (%)</b>	16,9	20,5	14,4	22,6	17,5	31,1	44,8

<sup>+</sup>Significativo e superior ao tratamento completo pelo teste de Dunnett ( $p > 0.05$ ). <sup>-</sup>Significativo e inferior ao tratamento completo pelo teste de Dunnett ( $p > 0.05$ ). <sup>ns</sup> Não difere estatisticamente do tratamento completo, pelo teste de Dunnett ( $p > 0.05$ ).

O amarelecimento observado nas plantas deficientes em nitrogênio corresponde aos índices SPAD observados (Tabela 10). As leituras obtidas com o clorofilômetro tem a capacidade de estimar de forma indireta o teor de clorofila nas folhas, além do teor de nitrogênio, através da medição da intensidade do verde (Argenta et al., 2001).

Os índices SPAD obtidos para as folhas novas, intermediárias e velhas, das plantas cultivadas sob omissão de nitrogênio foram 21,7; 15,4 e 7,15. Estes valores são inferiores aos observados nas folhas das plantas cultivadas com solução completa 36,1; 55,2 e 56,5.

Tabela 10. Índice SPAD de folhas novas, intermediárias e velhas de *Cymbopogon citratus* cultivado por 79 dias sob omissão de macronutrientes e boro, em casa de vegetação. Campos dos Goytacazes, RJ. 2015

Tratamento	Índice SPAD Folhas Novas	Índice SPAD Folhas Intermediárias	Índice SPAD Folhas Velhas
<b>Completo</b>	36,1	55,8	56,5
<b>-N</b>	21,67 <sup>-</sup>	15,4 <sup>-</sup>	7,10 <sup>-</sup>
<b>-P</b>	36,4 <sup>ns</sup>	43,4 <sup>-</sup>	25,2 <sup>-</sup>
<b>-K</b>	31,1 <sup>ns</sup>	51,5 <sup>ns</sup>	40,6 <sup>-</sup>
<b>-Ca</b>	38,9 <sup>ns</sup>	43,3 <sup>-</sup>	49,6 <sup>ns</sup>
<b>-Mg</b>	34,7 <sup>ns</sup>	38,9 <sup>-</sup>	18,8 <sup>-</sup>
<b>-S</b>	17,6 <sup>-</sup>	28,4 <sup>-</sup>	39,9 <sup>-</sup>
<b>-B</b>	25,8 <sup>-</sup>	49,8 <sup>ns</sup>	57,6 <sup>ns</sup>
<b>CV (%)</b>	10,6	11,3	14,1

<sup>-</sup>Significativo e superior ao tratamento completo pelo teste de Dunnett ( $p > 0.05$ ). <sup>ns</sup> Significativo e inferior ao tratamento completo pelo teste de Dunnett ( $p > 0.05$ ). <sup>ns</sup> Não difere estatisticamente do tratamento completo, pelo teste de Dunnett ( $p > 0.05$ ).

Observa-se ainda, nas plantas deficientes, que o valor SPAD encontrado para as folhas velhas (7,10) foi inferior ao encontrado nas folhas novas (21,67), evidenciando assim, a mobilidade deste nutriente, em situações de carência, para órgãos mais jovens (Lavres Junior e Monteiro, 2006).

Por ser um elemento presente na molécula de clorofila, a deficiência de nitrogênio se caracteriza por clorose generalizada de folhas, como este elemento apresenta mobilidade nos tecidos vegetais, as partes mais maduras das plantas são as primeiras a serem afetadas pela sua deficiência, uma vez que o nitrogênio é translocado das partes mais velhas para as mais novas (Epstein e Bloom, 2006).

As folhas novas das plantas submetidas à omissão apresentaram 5,93 g.Kg<sup>-1</sup> de N e valor SPAD igual a 21,67, já as folhas novas das plantas cultivadas em solução nutritiva completa apresentaram 15,5 g.Kg<sup>-1</sup> de N e índice SPAD de 36,1 (Tabelas 7 e 10). Estes valores demonstram a correspondência entre os teores de nitrogênio no tecido foliar e o índice SPAD, este mesmo comportamento foi observado nas folhas velhas dessas duas plantas.

A relação do índice SPAD, com a quantidade de nitrogênio presente no tecido vegetal é relatada em trabalho de Lavres Junior e Monteiro (2006) onde doses de N provocaram variações significativas no valor SPAD em folhas de capim-aruaana.

### 5.2.2. Fósforo

As plantas mantidas sob a omissão de fósforo após 65 dias apresentavam teores de 1,55 g.Kg<sup>-1</sup> de P nas folhas novas e 0,45 g.Kg<sup>-1</sup> de P nas folhas velhas, estes teores eram, respectivamente, 42,2% e 63,4% inferiores aos encontrados nas folhas novas e velhas das plantas do tratamento completo (2,68 e 1,23 g.Kg<sup>-1</sup>) (Tabela 6), no entanto, os sintomas visuais de deficiência só foram observados aos 72 dias após a indução dos tratamentos.

As folhas mais velhas apresentaram-se com coloração verde mais opaco (Figuras 6A), corroborando com o trabalho de Prado et al. (2011) utilizando capim-tanzânia, submetido à condições de supressão de fósforo. Não se observou sintoma visual de deficiência deste macronutriente nas folhas novas (Figura 6B).

O teor médio de P encontrado em folhas novas, aos 79 dias de tratamento, foi 1,35 g.Kg<sup>-1</sup> e em folhas velhas 0,42 g.Kg<sup>-1</sup>, estes valores foram

significativamente inferiores aos encontrados nas plantas cultivadas em solução nutritiva completa ( $2,77 \text{ g.Kg}^{-1}$  e  $1,31 \text{ g.Kg}^{-1}$ ) (Tabela 7).

Em trabalho desenvolvido com capim-elefante (cv. Mott), Avalhães et al. (2009) descreveram os sintomas de deficiência de fósforo como sendo coloração verde escura nas folhas mais velhas, com tons roxos na nervura central, sintomas semelhantes foram observados em milho por Prado e Vidal (2008) e aveia-preta por Rozane et al. (2008).

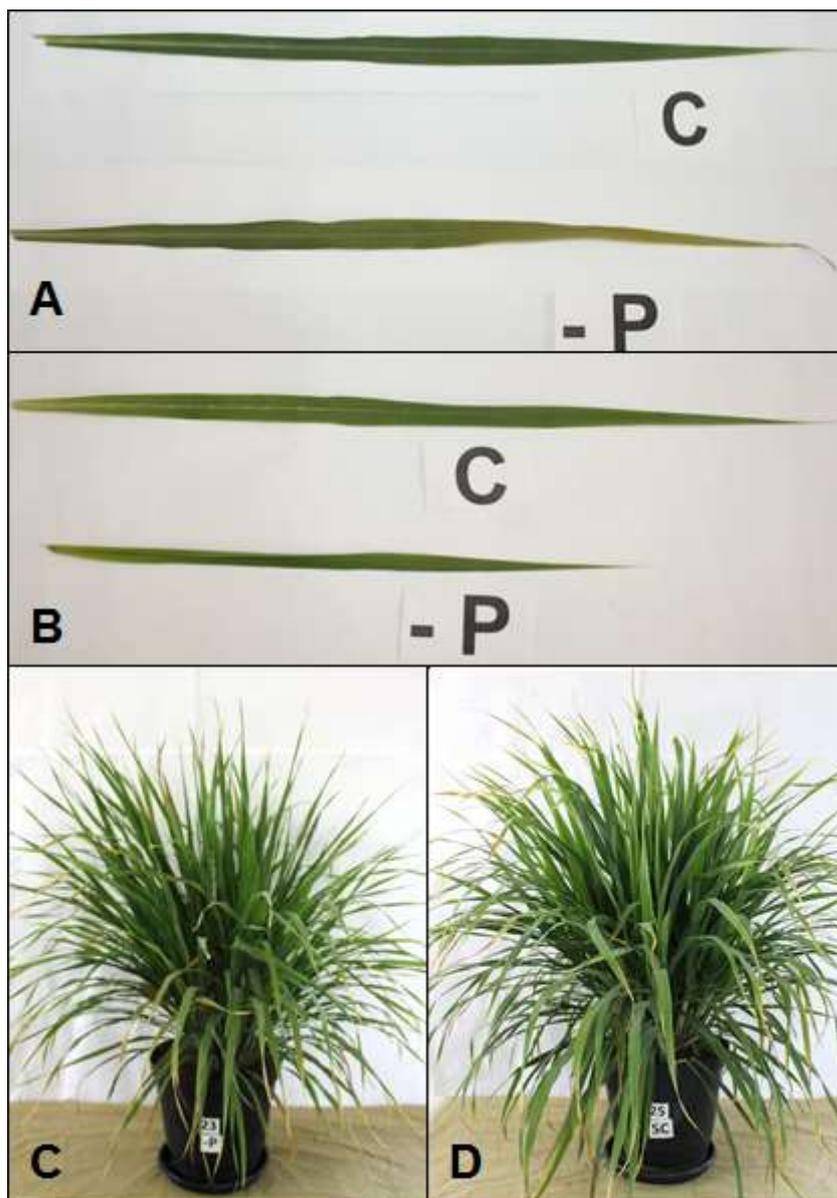


Figura 6: Sintomas de deficiência de Fósforo em *C. citratus*. A – comparação entre folhas velhas aos 79 dias de omissão. B – comparação entre folhas novas aos 79 dias de omissão. C – planta aos 79 dias de omissão. D – planta aos 79 dias de cultivo em solução completa.

Em sorgo os sintomas de deficiência de fósforo apareceram 8 dias após a aplicação dos tratamentos, todavia, as plantas possuíam apenas 30 dias de idade e exibiam coloração sem brilho, com aspecto de verde mais escuro e folhas mais estreitas (Santi et al., 2006). Ferreira (2012) observou em plantas de milho BRS 1010 que as folhas mais velhas, inicialmente apresentaram tom arroxeado, que progrediu para as folhas mais novas, posteriormente, a coloração arroxeada evoluiu para necrose, começando nas pontas das folhas seguindo em direção à base.

O cultivo em solução nutritiva, com omissão de fósforo, levou à redução na absorção de nutrientes em *C. citratus*. Nas folhas novas coletadas aos 65 dias os teores de nitrogênio, cálcio e magnésio foram reduzidos em comparação ao tratamento completo, por outro lado nas folhas velhas observou-se redução nos teores de Ca, Mg, B e Zn e aumento dos teores de potássio (Tabelas 6 e 8).

As folhas novas coletadas aos 79 dias apresentaram redução na absorção de N e Ca e aumento de B, as folhas velhas possuíam teores de N, Ca, Mg, B e Zn inferiores e K superiores às folhas das plantas do tratamento completo (Tabelas 7 e 9).

No cultivo de aveia, sob omissão de fósforo, foi observada redução na absorção de nitrogênio, cálcio e enxofre (Rozane et al., 2008), resultado diferente foi observado em capim-elefante, onde a omissão de fósforo levou ao acúmulo de nitrogênio, cálcio e enxofre e redução nos teores de potássio (Avalhães, 2009). A absorção de potássio também foi reduzida em decorrência da deficiência de fósforo em milheto (Prado e Vidal, 2008).

O índice SPAD observado em folhas velhas das plantas do tratamento deficiente em fósforo foi menor (25,2) quando comparado ao das folhas do tratamento completo (56,5) (Tabela 10). Adicionalmente, o teor de nitrogênio nestas folhas foi reduzido em 12%, em comparação ao tratamento completo, em consequência da omissão deste macronutriente, como pode ser observado na Tabela 7. É importante salientar que alguns trabalhos demonstram que o conteúdo de clorofila nas folhas está diretamente relacionado ao teor de nitrogênio presente no tecido vegetal (Prado e Do Vale, 2008; Liu et al., 2012; Ramos et al., 2013).

O fósforo é um nutriente mineral que possui importante papel no processo fotossintético, com variadas funções no metabolismo vegetal. Como elemento

estrutural, é componente de ácidos nucleicos, açúcares fosfato, ATP e fosfolípidos e por fazer parte da molécula de ATP, desempenha importante função no processo de transferência de energia nas células.

A eficiência fotossintética por unidade de clorofila é menor em condições de deficiência de fósforo (Marschner, 1995). Li, et al. (2010), trabalhando com doses crescentes de fósforo em cultivo de arroz, observaram aumento no índice SPAD e da taxa fotossintética líquida, à medida que se aumentou o fornecimento deste nutriente.

### 5.2.3. Potássio

Os sintomas visuais de deficiência de potássio foram percebidos aos 33 dias após o início da aplicação dos tratamentos, inicialmente as pontas e bordas das folhas velhas apresentaram coloração amarelada, com o decorrer da deficiência o amarelecimento evoluiu para necrose (Figura 7A e 7B).

Aos 65 dias após a indução dos tratamentos, os teores de potássio das folhas novas e velhas das plantas submetidas à deficiência eram, respectivamente, 45,4 e 88,8% inferiores aos encontrados nas folhas das plantas do tratamento completo (19,7 e 12,8 g.Kg<sup>-1</sup>) (Tabela 6).

Ao final do experimento, as pontas das folhas velhas das plantas submetidas à deficiência de potássio apresentavam-se necrosadas e secas (Figura 7D). No entanto, as folhas novas não apresentaram sintomas de deficiência deste macronutriente (Figura 7C). As plantas crescidas sob omissão de potássio apresentaram crescimento reduzido, quando comparadas com as crescidas na presença de todos os nutrientes (Figuras E e F).

O potássio é um elemento que possui elevada mobilidade nos tecidos vegetais, devido a isso, quando se encontra em deficiência, tende a ser translocado de folhas mais velhas para folhas mais novas, desta forma, seus sintomas característicos de deficiência comumente são descritos em folhas mais velhas (Marschner, 1995).

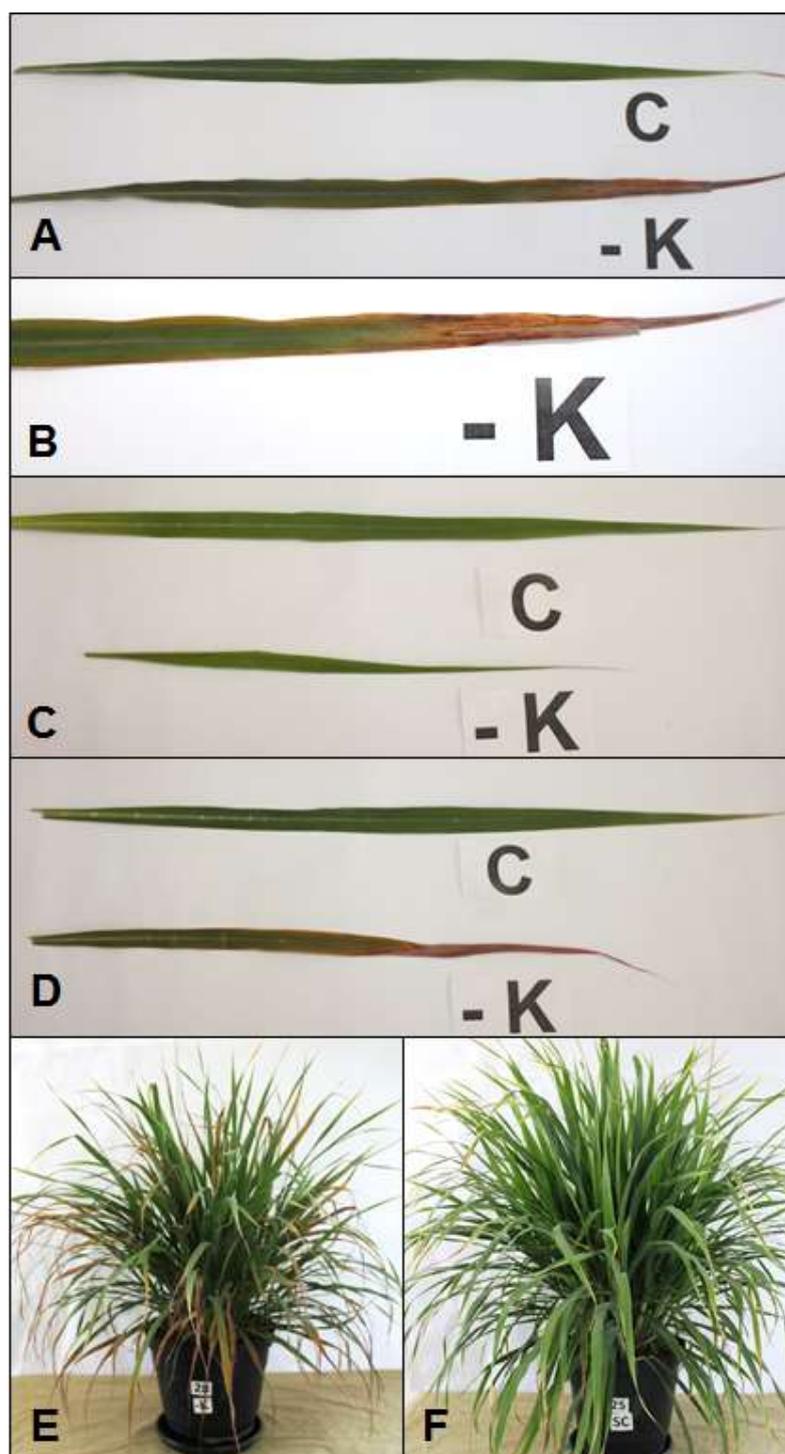


Figura 7: Sintomas de deficiência de Potássio em *C. citratus*. A – comparação entre folhas velhas aos 33 dias de omissão. B – folhas velhas aos 33 dias de omissão. C – comparação entre folhas novas aos 79 dias omissão. D – comparação entre folhas velhas aos 79 dias de omissão. E – planta aos 79 dias de omissão. F – planta aos 79 dias de cultivo em solução completa.

Em milheto, a deficiência de potássio começou a se manifestar aos 8 dias após a indução dos tratamentos, foi observada clorose seguida de necrose nas margens e pontas das folhas mais velhas, além de colmos mais finos (Prado e Vidal, 2008), o mesmo foi descrito em capim-tanzânia (Prado et al., 2011), aveia-preta (Rozane et al., 2008) e milho híbrido BRS 1010 (Ferreira, 2012).

Em sorgo, a manifestação dos sintomas visuais de deficiência ocorreu 3 dias após o início da omissão de K e caracterizou-se por avermelhamento marginal descontínuo nas folhas inferiores, evoluindo para o centro do limbo foliar entre as nervuras, com posterior secamento e necrose, observou-se ainda, em folhas mais novas, aspecto de encarquilhamento (Santi et al., 2006).

Por outro lado, em trabalho com capim-elefante e omissão de potássio, Avalhães et al. (2009) descreveram os sintomas de deficiência deste macronutriente como clorose nas folhas mais novas, permanecendo as nervuras centrais mais verdes, diferindo dos resultados do presente trabalho. Em capim-tifton, além de clorose e necrose nas pontas e margens das folhas mais velhas, observadas aos 45 dias após o plantio, também houve branqueamento internerval, seguido de necrose e abundância de folhas mortas na base das hastes na rebrota (Sarmiento et al., 2006).

O sintoma característico de necrose nas folhas, quando uma planta está sob deficiência de potássio, ocorre devido ao acúmulo de putrescina, a ausência do potássio reduz o metabolismo da planta, a síntese de proteínas, fotossíntese, osmorregulação e o metabolismo do nitrogênio (Marschner, 1995). Com o comprometimento do metabolismo do nitrogênio há, então, acúmulo de amônio nos tecidos vegetais, levando à síntese de putrescina (Feng e Barker, 1993).

Aos 65 dias de aplicação dos tratamentos, a omissão de potássio levou à redução na absorção de cálcio e enxofre nas folhas novas e boro nas folhas velhas e ao aumento na absorção de potássio, magnésio, cobre e molibdênio nas folhas velhas (Tabelas 6 e 8).

Observou-se redução nos teores de enxofre e aumento nos teores de boro nas folhas novas, verificou-se ainda, aumento dos teores de fósforo e magnésio e redução de nitrogênio, cálcio e zinco nas folhas mais velhas das plantas coletadas aos 79 dias (Tabelas 7 e 9).

A omissão de potássio em cultivo de aveia-preta, capim-elefante e milheto foi responsável por aumentar a absorção de nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio

e enxofre (Rozane et al., 2008; Avalhães et al., 2009; Prado e Vidal, 2008), resultado semelhante foi observado em sorgo para fósforo, cálcio e magnésio (Santi et al., 2006).

Há entre potássio, cálcio e magnésio competição pelos sítios de absorção, desta forma, em situações de deficiência de  $K^+$  na solução nutritiva a absorção de outros cátions é aumentada, devido à diminuição desta competição (Epstein e Bloom, 2006). Este comportamento foi observado em capim-marandu, onde os teores de potássio, cálcio e magnésio foram influenciados por doses de nitrogênio e enxofre (Batista e Monteiro, 2010).

O índice SPAD de folhas velhas das plantas submetidas ao tratamento com omissão de potássio foi inferior às plantas cultivadas em solução nutritiva completa, sendo respectivamente 40,6 e 56,5 (Tabela 10). Todavia, Ramos et al. (2013), trabalhando com abacaxizeiro imperial cultivado sob deficiência de macronutrientes e boro, não observaram diferença significativa no índice SPAD de folhas de plantas submetidas à deficiência de potássio quando comparadas a plantas cultivadas em solução nutritiva completa. Scaramuzza et al. (2007) testando doses de potássio em cultivo de capim-mombaça, também não observaram efeito significativo das doses de potássio sobre os índice SPAD.

No presente trabalho, os teores de nitrogênio nas folhas velhas dos tratamentos com omissão de potássio foram significativamente menores (Tabela 7), assim como o índice SPAD para essas folhas. Adicionalmente, o teor de potássio nas folhas mais velhas do tratamento deficiente foi 88% inferior às folhas do tratamento completo (Tabela 7). Sabendo-se que o potássio possui importante papel nas reações bioquímicas que ocorrem durante a fotossíntese, responsáveis pela construção de todo o aparato fotossintético e da clorofila e que, o nitrogênio é componente estrutural da molécula de clorofila, pode-se atribuir o resultado observado em relação ao índice SPAD à carência de N e K nas folhas (Marschner, 1995).

#### 5.2.4. Cálcio

Após 65 dias de aplicação dos tratamentos, os teores de Ca nas folhas velhas e novas de plantas de *C. citratus*, submetidas à deficiência deste nutriente,

eram respectivamente 84,9 e 85,0% inferiores aos teores encontrados nas folhas do tratamento completo (Tabela 6).

Mesmo apresentando teores muito reduzidos, os sintomas visuais de deficiência deste nutriente somente se manifestaram após 79 dias de aplicação dos tratamentos. As folhas mais velhas estavam com uma coloração verde ligeiramente mais clara (Figura 8A) e as folhas mais novas apresentaram pontas necrosadas e encarquilhadas (Figuras 8B, 8C, 8D). As plantas submetidas à deficiência de cálcio apresentaram crescimento reduzido em comparação com plantas crescidas em condição de disponibilidade de todos os nutrientes, como pode-se observar nas figuras 8E e 8F.

Aos 79 dias, as folhas novas das plantas submetidas à omissão possuíam  $0,34 \text{ g.Kg}^{-1}$  de Ca e as velhas  $1,90 \text{ g.Kg}^{-1}$ , valores muito inferiores aos teores encontrados para as folhas novas e velhas das plantas do tratamento completo ( $3,62$  e  $14,7 \text{ g.Kg}^{-1}$ ) (Tabela 7).

Em milheto, a deficiência de cálcio teve início aos 8 dias após a omissão desse nutriente, entretando, as plantas utilizadas para este experimento foram submetidas aos tratamentos aos 14 dias de idade. Nestas, as folhas novas mostraram crescimento irregular, com limbo ligeiramente ondulado, com o avanço da deficiência os tecidos tornaram-se dilacerados, cloróticos e depois necrosados nas bordas e ápices das folhas mais novas e com a progressão da deficiência estes sintomas também atingiram as folhas mais velhas (Prado e Vidal, 2008).

Santi et al. (2006), estudando a omissão de macronutrientes em sorgo, observaram o início dos sintomas visuais de deficiência de cálcio já aos 2 dias da aplicação dos tratamentos (plantas com 24 dias de idade), todas as folhas, tanto superiores como inferiores apresentaram aspecto enxarcado, com pontoações avermelhadas e houve a ocorrência de amarelecimento, seguido por necroses circundadas por um halo vermelho e secamento. As pontas das folhas mais novas grudaram-se umas às outras à medida que as plantas cresceram, ocorrendo, posteriormente, murcha e morte das zonas de crescimento.

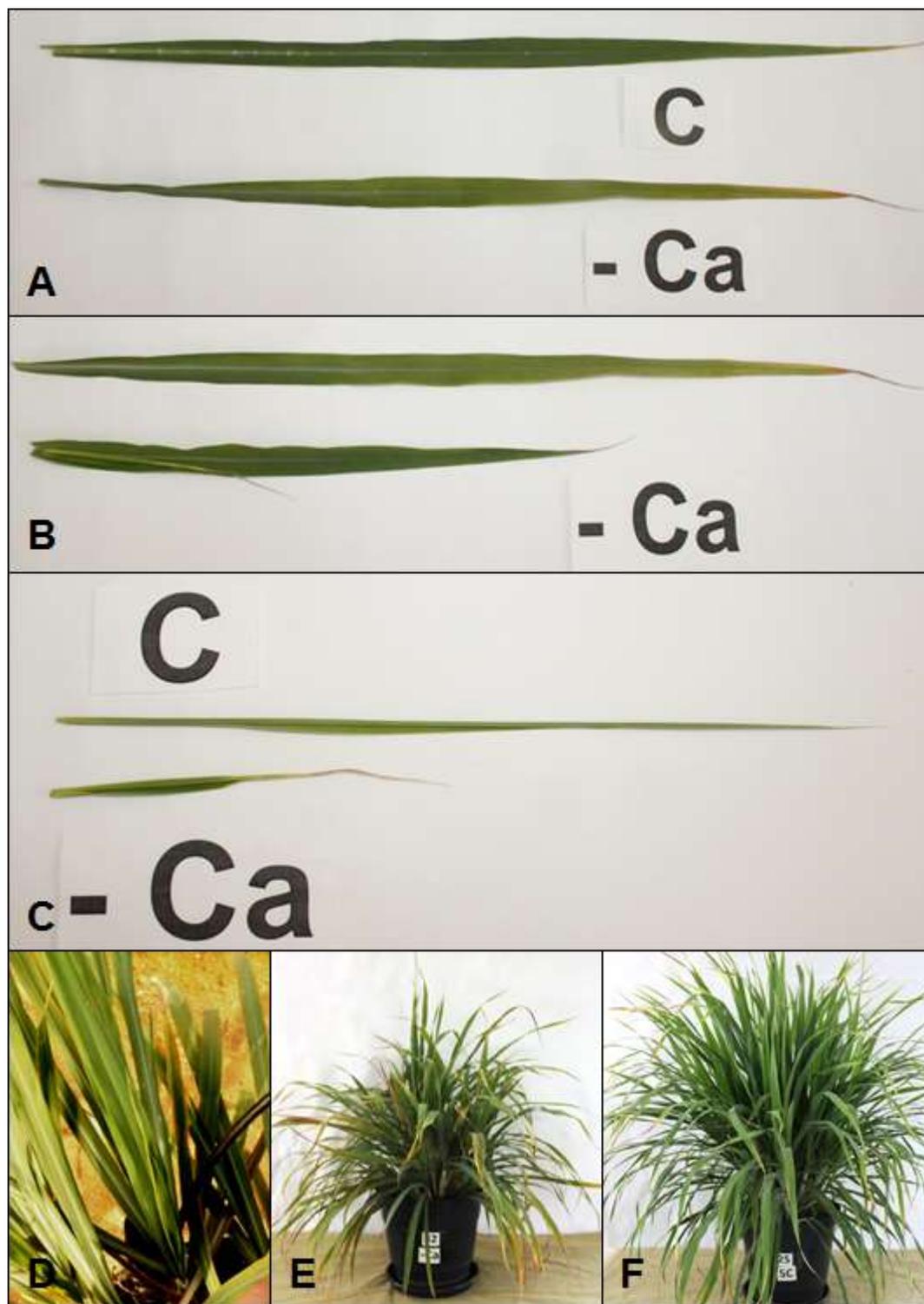


Figura 8: Sintomas de deficiência de Cálcio em *C. citratus*. A – comparação entre folhas velhas aos 79 dias de omissão. B – folhas novas e velhas aos 79 dias de omissão. C – comparação entre folhas novas aos 79 dias omissão. D – sintoma em folha nova. E – planta aos 79 dias de omissão. F – planta aos 79 dias de cultivo em solução completa.

Capim-elefante e capim-tanzânia, cultivados sob omissão de cálcio, apresentaram inicialmente colmos retorcidos com maior diâmetro, folhas novas com as margens recortadas, tortas e com pontas necróticas (Avalhães, et al., 2009 e Prado et al., 2011). Rozane et al. (2008) descreveram os sintomas de deficiência de cálcio como retorcimento e clorose nas margens das folhas mais novas, evoluindo para necrose e clorose internerval, além de maior acamamento e branqueamento pronunciado na raiz em aveia-preta.

As plantas de milho BRS 1010 cultivadas em ausência de cálcio apresentaram, além de diminuição acentuada do porte, esverdeamento do limbo foliar. Inicialmente as folhas mais novas adquiriram consistência gelatinosa e, posteriormente, secaram e necrosaram. As folhas mais velhas apresentaram-se encarquilhadas com necrose que se iniciava nas margens e, posteriormente, surgiram listras amarelas necrosadas no limbo foliar (Ferreira, 2012).

As anormalidades visuais observadas na deficiência de cálcio, podem ser atribuídas à sua função na síntese de novas paredes celulares, em particular, a lamela média, uma vez que estes sintomas ocorrem em regiões meristemáticas jovens, como ápices radiculares e caulinares. Onde ocorre rápida divisão celular e formação de paredes, este nutriente é considerado imóvel, não sendo translocado para regiões de crescimento quando ocorre a deficiência (Taiz e Zieger, 2006).

O cultivo de *C. citratus*, em condição de omissão de cálcio, foi responsável por reduzir a absorção de nitrogênio e boro e aumentar os teores de potássio e magnésio nas folhas velhas coletadas aos 65 dias e aumentar a absorção de manganês nas folhas novas (Tabela 6 e 8). Observou-se nas folhas novas das plantas deficientes coletadas aos 79 dias, aumento na absorção de potássio, magnésio, boro e manganês e redução na absorção de nitrogênio, boro e zinco nas folhas velhas (Tabela 7 e 9).

De acordo com Vitti et al. (2006), cálcio, potássio e magnésio competem pelos mesmos sítios de absorção nas raízes, devido a isso, quando um destes nutrientes encontra-se em deficiência na solução nutritiva ou no solo, há uma tendência de aumento na absorção dos demais, o que é evidenciado em trabalho conduzido por Batista e Monteiro (2010), em que plantas cultivadas com diferentes doses de nitrogênio e enxofre apresentaram alterações nos teores de K, Ca e Mg.

Rozane et al. (2008), trabalhando com aveia-preta sob omissão de macronutrientes, observaram incrementos na absorção de N, P, K, Mg e S em plantas submetidas à omissão de cálcio. O mesmo comportamento foi evidenciado por Santi et al. (2006) e Avelãs et al. (2009) em sorgo e capim-elefante, já em milho houve aumento na absorção de N, P, S e Mg (Prado e Vidal, 2008). Resultado diferente foi observado em capim-tifton e capim-tanzânia, em que as plantas cultivadas sob deficiência de cálcio apresentaram somente incremento nos teores de S, em comparação ao tratamento completo (Sarmiento et al., 2006; Prado et al., 2011).

Em relação aos resultados de índice SPAD das plantas de *C. citratus* cultivadas sob omissão de cálcio, estes foram significativos somente para as folhas intermediárias (Tabela 10). Estes dados corroboram com os do trabalho de Rosa et al. (2012), em que os autores não observaram diferenças para o índice SPAD, entre folhas de *Iris germanica* L. cultivadas sob omissão de cálcio e em solução completa. O mesmo foi observado em abacaxi imperial, em trabalho desenvolvido por Ramos et al. (2013).

#### 5.2.5. Magnésio

A deficiência de magnésio se manifestou aos 31 dias após a aplicação dos tratamentos. Após 33 dias de cultivo em condições de omissão de magnésio, o teor deste nutriente nas folhas velhas era  $0,78 \text{ g.Kg}^{-1}$ , enquanto que nestas mesmas folhas no tratamento completo era de  $1,3 \text{ g.Kg}^{-1}$ .

Inicialmente houve o surgimento de pequenas pontoações necróticas nas pontas das folhas mais velhas, como é mostrado na figura 9<sup>a</sup>. Com a evolução da deficiência, as pontoações se tornaram maiores e mais intensas. As folhas velhas aos 60 dias após o início dos tratamentos, além de pontoações, apresentavam coloração amarelada nas pontas e bordas (Figura 9B).

Ao final do experimento, após 79 dias de omissão do nutriente, as folhas novas não apresentavam sintomas visuais de deficiência, como pode ser observado na figura 9C, por outro lado, as folhas velhas das plantas crescidas sob deficiência de magnésio, possuíam grande quantidade de pontoações necrosadas e coloração muito amarelada próximo ao ápice, suas pontas e bordas

estavam queimadas e secas (Figuras 9D e 9E). O teor de magnésio encontrado nas folhas mais velhas das plantas cultivadas em condição de deficiência por 79 dias, eram 88,8% ( $0,34 \text{ g.Kg}^{-1}$ ) inferiores aos encontrados nas folhas do tratamento completo ( $3,06 \text{ g.Kg}^{-1}$ ) (Tabela 7).

Epstein e Bloom (2006) descrevem os sintomas de deficiência de magnésio como clorose marginal, frequentemente acompanhada pelo desenvolvimento de variedade de pigmentos, porém, a diversidade de sintomas em diferentes espécies é muito grande, o que torna difícil uma descrição generalizada.

Em sorgo, os sintomas visuais de deficiência foram observados aos 3 dias após o início da omissão, as folhas mais maduras amareleceram da margem para o centro e depois entre as nervuras, a nervura principal permaneceu verde. Com o progresso do quadro sintomatológico, as folhas mais jovens também foram atingidas (Santi et al. 2006), o mesmo foi observado em capim-elefante, em trabalho de Prado et al. (2011) e milheto (Prado e Vidal, 2008). Além dos sintomas já descritos, observaram-se em aveia-preta acamamento e diminuição do porte da planta (Rozane et al., 2008).

Em capim-elefante foram descritos pontos cloróticos entre as nervuras das folhas mais velhas, seguidos de necrose, além de murchamento da planta (Avalhães et al., 2009). Sarmiento et al. (2006) observaram em capim-tifton, coloração palha-esverdeada nas folhas, com pontoações verdes nos espaços internervais. Em milho híbrido, BRS 1010 Ferreira (2012) observou, além de clorose internerval, tons arroxeados nas folhas, que posteriormente evoluíram para necrose.

O magnésio nas células vegetais possui função na ativação de enzimas que estão envolvidas na fotossíntese, respiração e síntese de DNA e RNA, além de ser componente estrutural da molécula de clorofila (Taiz e Zieger, 2006, Epstein e Bloom, 2006).

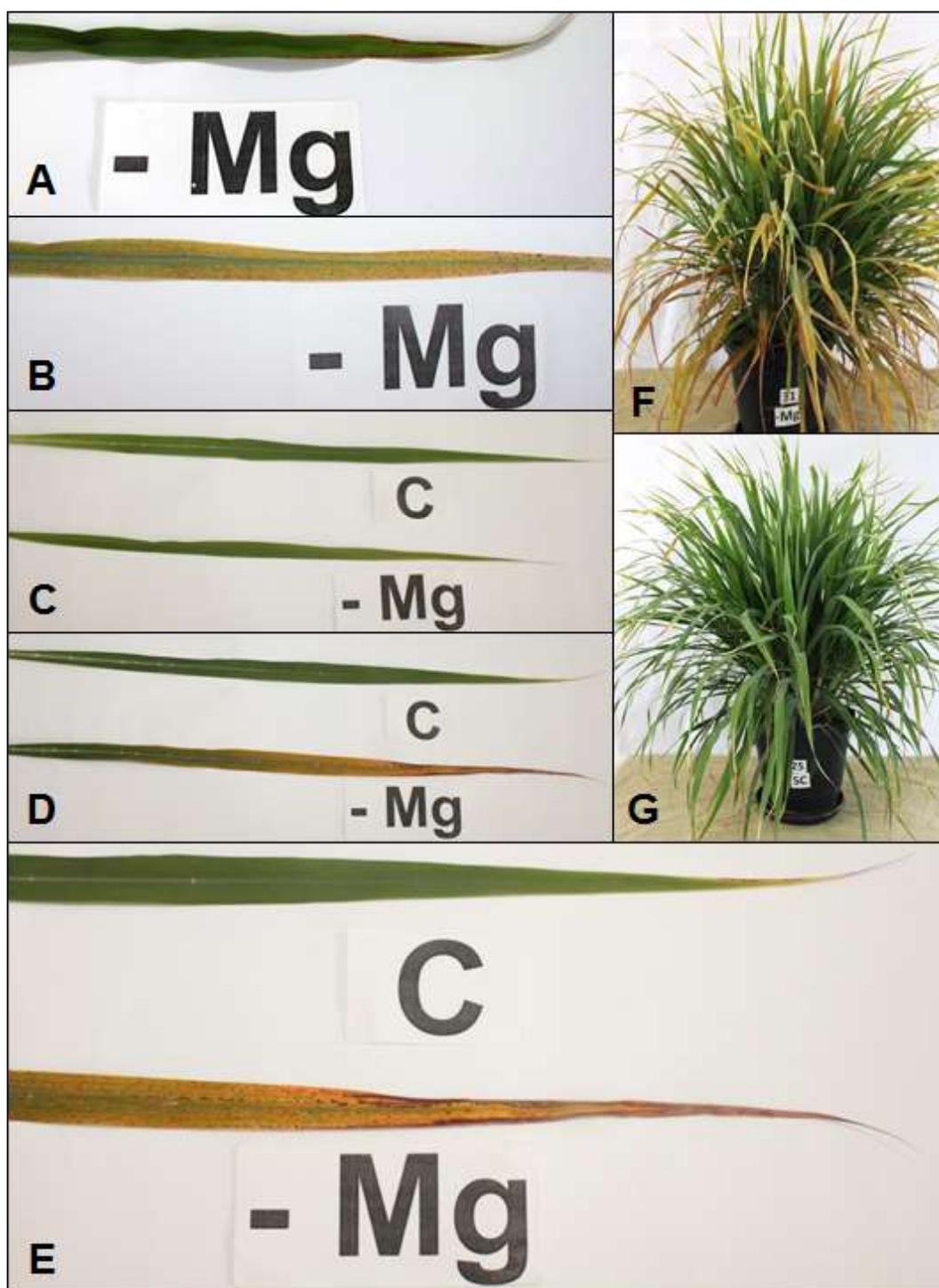


Figura 9: Sintomas de deficiência de Magnésio em *C. citratus*. A – folha velha aos 31 dias de omissão. B – folha velha aos 60 dias de omissão. C – comparação entre folhas novas aos 79 dias omissão. D – comparação entre folhas velhas aos 79 dias de omissão. E – comparação entre folhas velhas aos 79 dias de omissão. F - planta aos 79 dias de omissão. G – planta aos 79 dias de cultivo em solução completa.

A omissão de magnésio na solução nutritiva aumentou a absorção de fósforo, potássio e molibdênio e reduziu a absorção de nitrogênio, cálcio e enxofre nas folhas velhas; nas folhas novas foi responsável por aumentar a absorção de manganês, aos 65 dias após a indução da deficiência (Tabelas 6 e 8). Aos 79 dias após o início dos tratamentos, as folhas novas apresentaram maiores teores de fósforo, boro e zinco e nas folhas velhas, teores reduzidos de nitrogênio, cálcio, enxofre e zinco (Tabelas 7 e 9).

Em cultivo de aveia-preta, a deficiência de magnésio foi responsável por elevar a absorção de fósforo, potássio, cálcio e enxofre nas folhas, porém reduziu o teor de nitrogênio (Rozane et al., 2008). Em sorgo, milho e capim-elefante, foi observado resultado semelhante, contudo, os teores de nitrogênio também foram aumentados em condições de deficiência de magnésio (Santi et al., 2006; Gondim et al., 2010; Avalhães et al., 2009). Entretanto, no cultivo de milho em solução nutritiva, omitindo-se o magnésio, não foi observada diferença para os teores desses nutrientes, em comparação às plantas crescidas em solução nutritiva completa (Prado e Vidal, 2008).

Trabalhos como o de Heenan e Campbell (1981) demonstram a influência dos íons potássio e manganês na absorção de magnésio em plantas de soja, à medida que os teores de K e Mn eram aumentados na solução nutritiva, a absorção de Mg era inibida. A taxa de absorção de magnésio pode ser ainda afetada por outros cátions como  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{H}^+$ , sendo a sua deficiência induzida pela competição com outros nutrientes, observada com frequência em plantas (Vitti et al., 2006).

As folhas intermediárias e velhas das plantas cultivadas sob omissão de magnésio apresentaram índices SPAD inferiores aos observados nas plantas cultivadas em solução nutritiva completa (Tabela 10). O que pode ser explicado pelas pontuações necróticas e redução nos teores de nitrogênio e magnésio nessas folhas, tendo em vista que o teor de nitrogênio nas folhas velhas das plantas submetidas à deficiência de magnésio é  $12,9 \text{ g.Kg}^{-1}$ , inferior ao do tratamento completo  $15,5 \text{ g.Kg}^{-1}$ .

O magnésio e o nitrogênio são componentes estruturais da molécula de clorofila, que é uma porfirina magnesiana e em condições de deficiência deste nutriente, os sintomas aparecem primeiramente nas folhas mais velhas, devido à redistribuição este elemento na planta (Vitti et al., 2006).

Kobayashi et al. (2013) observaram em arroz, crescidas sob omissão de magnésio, redução nos teores de clorofila e do índice SPAD, entretanto, em abacaxizeiros, crescidos sob a omissão deste nutriente, não foi observado diferença (Ramos et al., 2013). Com o aumento nas doses de nitrogênio e magnésio em cultivo de milho, Szulc e Rybus-Zajac (2009) observaram elevação do índice SPAD.

#### 5.2.6. Enxofre

Os sintomas de deficiência de enxofre manifestaram-se aos 48 dias após o início da omissão desse nutriente. Inicialmente, as folhas mais novas apresentaram coloração verde mais clara em comparação às folhas mais velhas; com a progressão da deficiência, as folhas mais novas ficaram verde claro e as folhas velhas apresentaram coloração verde menos intensa (Figuras 10A e 10B).

Aos 65 dias, as folhas novas das plantas submetidas à deficiência de enxofre apresentavam redução de 58,7% no teor deste nutriente, enquanto as folhas velhas apresentavam redução de 42,8%, quando comparadas às folhas das plantas cultivadas em condições de disponibilidade deste nutriente (Tabela 6).

Aos 79 dias, as folhas novas e velhas apresentaram coloração mais clara, evidenciando a progressão da deficiência (Figuras 10C, 10D e 10E). Ao final do experimento, o teor de enxofre nas folhas novas do tratamento deficiente era  $0,50 \text{ g.Kg}^{-1}$ , enquanto que nas folhas do tratamento completo era  $1,31 \text{ g.Kg}^{-1}$ ; o teor nas folhas velhas das plantas deficientes era  $0,74 \text{ g.Kg}^{-1}$  e das plantas supridas com todos os nutrientes era  $1,74 \text{ g.Kg}^{-1}$  (Tabela 7).

Em capim-tanzânia, capim-elefante e sorgo, a deficiência de enxofre se caracterizou por coloração amarelo-pálida e verde claro das folhas mais novas (Prado et al., 2011; Avalhães et al., 2009, Santi et al., 2006). Em capim-tifton cultivado em argissolo vermelho-amarelo em condições de deficiência de enxofre, aos 47 dias, percebeu-se o aparecimento de clorose nas folhas mais novas, que com o avanço da deficiência se espalhou para toda a planta (Sarmiento et al., 2006).

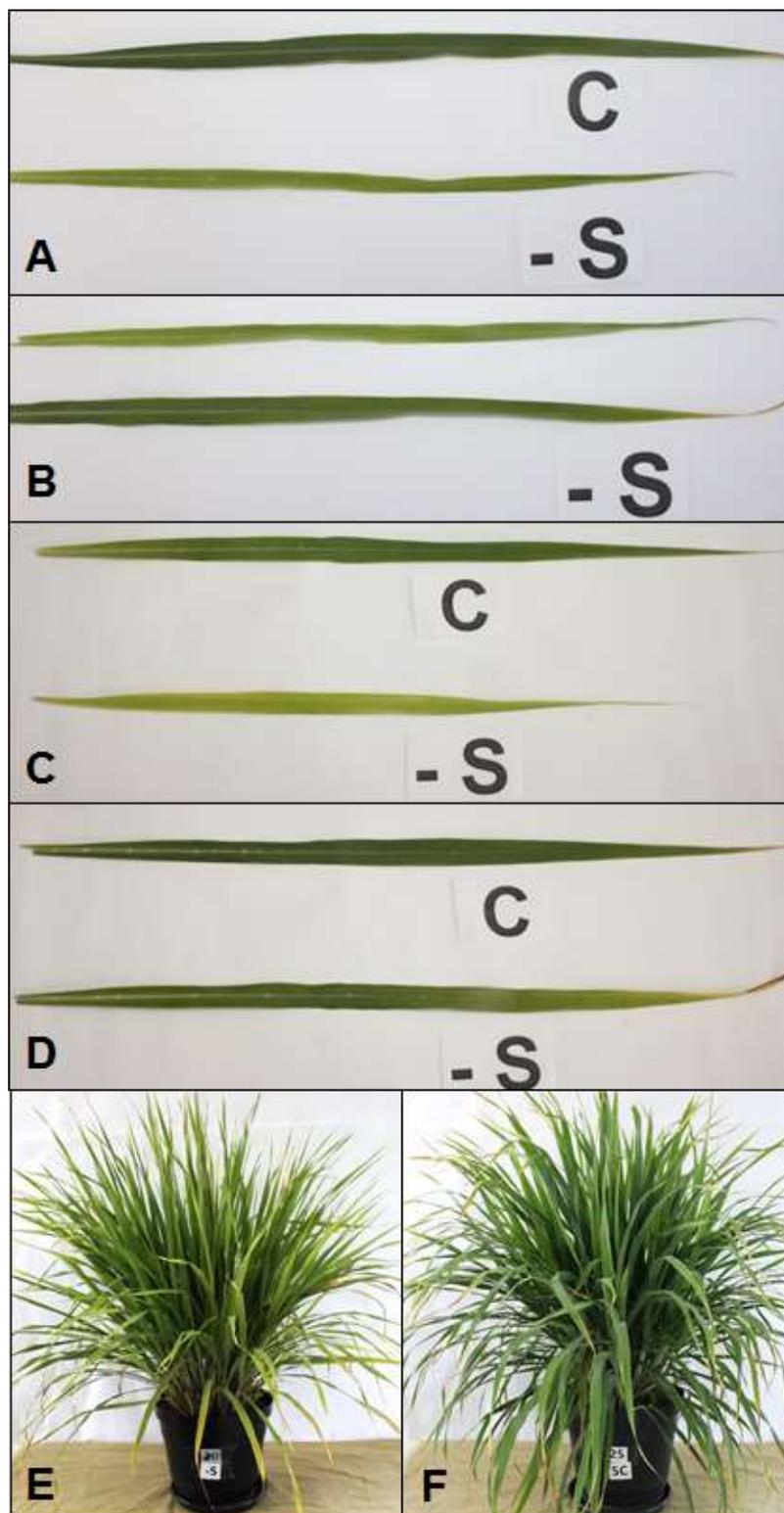


Figura 10: Sintomas de deficiência de Enxofre em *C. citratus*. A – comparação entre folhas novas aos 60 dias de omissão. B – folhas nova e velha aos 60 dias de omissão. C – comparação entre folhas novas aos 79 dias omissão. D – comparação entre folhas velhas aos 79 dias de omissão. E – planta aos 79 dias de omissão. F - planta aos 79 dias de cultivo em solução completa.

Prado e Vidal (2008) observaram em milho leve clorose internerval nas folhas de toda a planta. Em milho cultivado em solução nutritiva sem enxofre, os sintomas visuais descritos foram clorose generalizada, embranquecimento em algumas folhas, que se acentuava no ápice, encarquilhamento e pontos necróticos (Ferreira, 2012). Os sintomas visuais de deficiência de enxofre comumente se manifestam nas regiões mais jovens das plantas, visto que a capacidade de translocação deste elemento é muito pequena (Vitti et al., 2006).

O cultivo de *C. citratus* em solução nutritiva com omissão de enxofre reduziu a absorção de nitrogênio, cálcio e magnésio nas folhas novas e nitrogênio e boro nas folhas velhas e aumentou a absorção de molibdênio nas folhas novas e velhas, após 65 dias de aplicação dos tratamentos (Tabelas 6 e 8). Nas folhas coletadas aos 79 dias verificaram-se redução dos teores de nitrogênio e boro nas folhas velhas e aumento de molibdênio nas folhas mais novas (Tabelas 7 e 9).

Em trabalho de Sarmiento et al. (2006) a omissão de enxofre em cultivo de capim-tifton foi responsável por aumentar a absorção de cálcio e magnésio e reduzir cobre e zinco. Observaram-se em milho aumento nos teores de fósforo, potássio e cálcio e redução de magnésio, em decorrência da ausência de S (Gondim et al., 2010). Todavia, a absorção de todos os macronutrientes foi afetada negativamente em plantas de capim-tanzânia e capim-elefante crescidas sob a omissão de enxofre (Prado et al., 2011; Avalhães et al., 2009), porém, em sorgo, somente os teores de nitrogênio, cálcio e magnésio foram reduzidos (Santi et al., 2006).

O índice SPAD obtido em folhas novas, intermediárias e velhas (17,6; 28,4 e 39,9) de plantas cultivadas com ausência de enxofre na solução nutritiva, foram significativamente inferiores aos encontrados nas folhas das plantas cultivadas em solução contendo todos os nutrientes (36,1; 55,2 e 56,5) (Tabela 10). Estes dados concordam com os encontrados em trabalho de Lavres Junior et al. (2005) em que foi constatado efeito significativo no índice SPAD em plantas cultivadas com a omissão deste nutriente, o mesmo foi observado em pinhão-manso (Maia et al., 2014).

Entretanto, Ramos et al. (2013) não observaram diferença para o índice SPAD entre folhas de abacaxizeiro cultivados em solução completa e com omissão de enxofre.

Em trabalho de Koprivova et al. (2000) observa-se que a assimilação de nitrogênio e enxofre é afetada quando ocorre a deficiência de um destes nutrientes. No presente trabalho, os teores de N nas folhas foram reduzidos pela deficiência de enxofre (Tabelas 6 e 7), levando a uma redução na coloração verde das folhas e por consequência, do índice SPAD (Tabela 10).

Como o enxofre tem mobilidade limitada no tecido vegetal, seus sintomas de deficiência aparecem primeiramente nos órgãos mais novos (Vitti et al., 2006), o que pode ser evidenciado pelo valor de índice SPAD inferior encontrado nas folhas mais novas (17,62) em comparação com as folhas mais velhas (39,92) em plantas deficientes deste elemento.

#### 5.2.7. Boro

Após 79 dias de aplicação dos tratamentos, não foram observados sintomas visuais de deficiência de boro nas plantas cultivadas sob a omissão deste nutriente (Figuras 11A e 11B). Todavia, houve redução nos teores de boro em folhas intermediárias e velhas das plantas submetidas à omissão, foram encontrados respectivamente 14,7 mg.Kg<sup>-1</sup> e 17,2 mg.Kg<sup>-1</sup> nas folhas intermediárias e velhas, estes valores são 53,5 e 61,7% inferiores aos encontrados nas folhas das plantas do tratamento completo (31,6 e 44,8 mg.Kg<sup>-1</sup>), porém, para o teor em folhas novas não foi observada diferença (Tabela 9).

A ausência de sintoma visual de deficiência em *C. citratus* pode ser atribuída ao fato de que o boro é um micronutriente e por isso exigido em pequena quantidade pelas plantas. Neste trabalho, as plantas permaneceram 57 dias recebendo solução nutritiva completa, o que pode ter acarretado em acúmulo deste nutriente pelas plantas, ou ainda no substrato.

Em trabalho de Ferreira (2012), verificou-se em milho crescido sob condição de omissão de boro, diminuição acentuada do porte da planta, além de coloração verde muito intensa e estes sintomas foram mais evidentes nas folhas mais novas, que posteriormente se enrolaram, formando uma espécie de “charuto”.

Em sorgo, os sintomas de deficiência de boro se manifestaram aos cinco dias após o início dos tratamentos e caracterizaram-se pela presença nas folhas

novas de faixas aquosas e transparentes paralelas à nervura central que, depois, tornaram-se brancas e secas (Santi et al., 2006). Como a mobilidade do boro é limitada em muitas plantas, comumente seus sintomas se manifestam nas regiões mais novas dos vegetais (Dechen e Nachtigall, 2006).

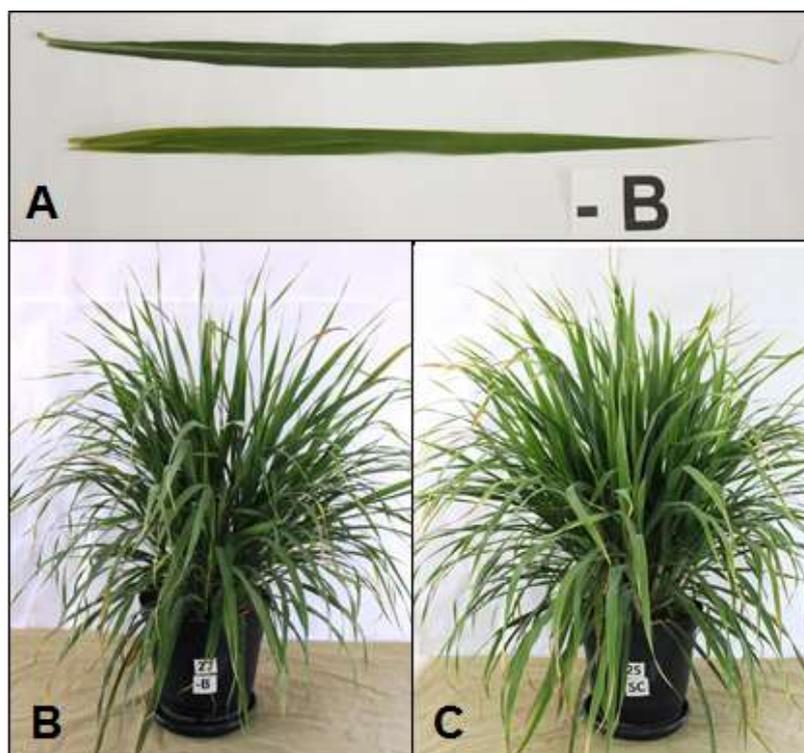


Figura 11: Sintomas de deficiência de Boro em *C. citratus*. A – folhas nova e velha aos 79 dias. B – planta aos 79 dias de omissão. C - planta aos 79 dias de cultivo em solução completa.

A ausência de boro na solução nutritiva no cultivo de *C. citratus* foi responsável por reduzir os teores de fósforo, cálcio e magnésio nas folhas novas e nitrogênio e cálcio nas folhas velhas, coletadas aos 65 dias de aplicação dos tratamentos (Tabela 6). Foi verificado redução nos teores de nitrogênio e cálcio nas folhas velhas e aumento no teor de zinco nas folhas novas coletadas aos 79 dias (Tabelas 7 e 9). De acordo com Dechen e Nachtigall (2006), o boro tem influência na absorção e no metabolismo de cátions, o que pode explicar a redução nos teores de nitrogênio e cálcio nas folhas.

Em trabalho desenvolvido por Viégas et al. (2013) utilizando *Piper histivum*, os autores observaram incremento nos teores de nitrogênio e redução de fósforo, cálcio e zinco em folhas de plantas crescidas sob ausência de boro. Em mamoneira cultivar Iris, Lange et al. (2005) observaram redução nos teores de cálcio em plantas crescidas em solução nutritiva sem boro.

O índice SPAD de folhas novas de *C. citratus*, cultivado sob ausência de boro, foi reduzido em comparação com plantas cultivadas em solução completa, o mesmo foi observado em mamoneira por Lange et al. (2005). As folhas do tratamento completo apresentaram índice SPAD 36,10 e as folhas do tratamento deficiente 25,8 (Tabela 10).

### 5.3. Rendimento e composição química de óleos essenciais de capim limão.

O rendimento de óleos essenciais obtido em *C. citratus* cultivado em solução nutritiva completa foi de 1,45% (Tabela 11). O teor de óleos essenciais em *C. citratus* pode variar em decorrência das condições de cultivo (Negrelle e Gomes 2007). Martins et al. (2002), observaram variações no rendimento de 1,38 a 1,67%. Ao testar o efeito da adubação química e orgânica em plantas de capim-limão, Costa et al. (2008) verificaram rendimento de óleos essenciais entre 1,49 a 1,76%, sendo que o valor máximo encontrado na literatura para o teor em óleos em capim-limão é 3,0% (Chisowa et al., 1998).

A deficiência em nitrogênio pode levar a um acúmulo de carboidratos, fornecendo desta forma substrato para a síntese de metabólitos secundários não nitrogenados, como os terpenos. Entretanto, apesar da produção de terpenóides acontecer em condições de acúmulo de carboidratos, deve-se levar em consideração que a biossíntese de enzimas e a construção de estruturas multicelulares de armazenagem, requerem o suprimento adequado em nutrientes, como nitrogênio, enxofre e fósforo, desta forma o acúmulo de terpenóides pode acontecer em situações de deficiência nutricional, porém somente quando esta é moderada (Gershenzon, 1994).

Nas condições deste experimento, onde as plantas foram cultivadas em solução nutritiva com total ausência de nitrogênio, foi possível observar redução no rendimento de óleos essenciais nas folhas intermediárias (Tabela 11). A menor

dose de nitrogênio, no cultivo de *C. flexuosus*, também acarretou em redução na produção de óleos essenciais, todavia as maiores doses proporcionaram maior massa de matéria seca, o que levou a um maior rendimento de óleos por planta (Zheljazkov et al., 2011).

Por outro lado Souza et al. (2007) observaram em cultivo de *Mentha piperita* em solução nutritiva, que as menores doses de nitrogênio foram responsáveis pelos maiores teores de óleos essenciais. Petropoulos et al. (2009), trabalhando com três variedades de salsa e doses crescentes de nitrogênio, obtiveram com as menores doses, maior teor de óleos essenciais para a *P. crispum* var. *crispum* e *P. crispum* var. *neapolitanum*, todavia em *P. crispum* var. *tuberosum* este mesmo efeito não foi observado.

Tabela 11. Teor de óleos essenciais, em folhas intermediárias de plantas de *Cymbopogon citratus*, cultivado por 79 dias sob omissão de macronutrientes e boro, em casa de vegetação. Campos dos Goytacazes, RJ. 2015

Tratamento	Teor (%)
Completo	1,45
-N	0,83 <sup>~</sup>
-P	1,17 <sup>~</sup>
-K	1,30 <sup>ns</sup>
-Ca	0,81 <sup>~</sup>
-Mg	1,10 <sup>~</sup>
-S	1,04 <sup>~</sup>
-B	1,16 <sup>~</sup>
CV (%)	10,8

<sup>~</sup>Significativo e superior ao tratamento completo pelo teste de Dunnett ( $p > 0.05$ ). <sup>~</sup> Significativo e inferior ao tratamento completo pelo teste de Dunnett ( $p > 0.05$ ). <sup>ns</sup> Não difere estatisticamente do tratamento completo, pelo teste de Dunnett ( $p > 0.05$ ).

Foi observado em plantas de *Carum carvi*, cultivadas com diferentes combinações de doses de nitrogênio e potássio, que a maior dose de nitrogênio aplicada foi responsável por maior crescimento vegetativo, teor e rendimento de óleos essenciais por planta (El-Din et al., 2010).

Amaral et al. (2008), testando diferentes doses de nitrogênio em cultivo de *Chamomila recutita* não verificaram efeito das doses no teor de óleos essenciais, todavia, a maior dose de N proporcionou incrementos na massa da matéria seca acarretando em maior rendimento de óleos essenciais. Em *Artemisia annua* a menor dose de nitrogênio foi responsável pelo menor teor de óleos essenciais (Ayanoglu et al., 2008).

*Ocimum basilicum*, cultivado sob três diferentes doses de nitrogênio, apresentou maior teor e rendimento de óleos, com a maior dose deste nutriente, além de maior produção de massa de matéria fresca (Sifola e Barbieri, 2006). Por outro lado, não foi observado efeito na produção de óleos em decorrência da aplicação foliar de nitrogênio em *Ocimum basilicum* (Nurzynska-Wierdak et al., 2013).

Em relação ao constituinte majoritário, os óleos essenciais de *C. citratus* apresentam teores de citral entre 65 e 80%, sendo que para ser considerado um óleo com qualidade é necessário que este teor seja superior a 75% (Schanenberg e Khan, 2002). No presente trabalho, os óleos essenciais obtidos em todos os tratamentos apresentavam teores de citral superiores a 75% (Tabela 12).

Os constituintes dos óleos essenciais de *C. citratus* também foram afetados pela carência em nitrogênio, os teores de linalol, citronelal, neral e geraniol foram reduzidos. Observou-se também, ausência de mirceno no óleo, além de aumento nos teores de geranial e citral (Neral+Geranial) (Tabela 12).

O geranial é uma substância derivada do GPP (precursor dos monoterpenos), a isomerização do GPP ocorre através da migração do grupamento difosfato do C1 para o C3, originando o difosfato linalílico (LPP), que por sua vez dará origem ao  $\beta$ -mirceno (Kollner et al., 2004). É possível que a ausência de nitrogênio no cultivo tenha acarretado em desvio na rota de síntese de LPP, levando a não formação de  $\beta$ -mirceno e ao incremento na produção de geranial, como pode ser observado na tabela 12.

Tabela 12. Teores de Mirceno, Linalol, Citronelol, Neral, Geraniol, Geranial e Citral (Neral + Geranial), em porcentagem de área, em folhas intermediárias de *Cymbopogon citratus*, cultivado por 79 dias sob omissão de macronutrientes e boro, em casa de vegetação. Campos dos Goytacazes, RJ. 2015

Tratamento	Mirceno (%)	Linalol (%)	Citronelol (%)	Neral (%)	Geraniol (%)	Geranial (%)	Citral (%) (Neral+Geranial)
<b>Completo</b>	6,27	0,47	0,43	38,12	1,85	54,12	91,24
<b>-N</b>	0,00 <sup>-</sup>	0,33 <sup>-</sup>	0,19 <sup>-</sup>	34,07 <sup>-</sup>	0,43 <sup>-</sup>	63,37 <sup>+</sup>	96,95 <sup>+</sup>
<b>-P</b>	1,93 <sup>-</sup>	0,47 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	37,07 <sup>ns</sup>	1,50 <sup>-</sup>	55,57 <sup>ns</sup>	92,64 <sup>ns</sup>
<b>-K</b>	3,65 <sup>-</sup>	0,50 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>-</sup>	36,67 <sup>ns</sup>	1,24 <sup>-</sup>	56,77 <sup>ns</sup>	93,49 <sup>ns</sup>
<b>-Ca</b>	2,03 <sup>-</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	0,29 <sup>ns</sup>	38,50 <sup>ns</sup>	1,21 <sup>-</sup>	56,32 <sup>ns</sup>	94,83 <sup>ns</sup>
<b>-Mg</b>	3,89 <sup>-</sup>	0,31 <sup>-</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	37,95 <sup>ns</sup>	1,50 <sup>-</sup>	53,35 <sup>ns</sup>	93,07 <sup>ns</sup>
<b>-S</b>	3,77 <sup>-</sup>	0,27 <sup>-</sup>	0,50 <sup>ns</sup>	37,40 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>-</sup>	56,72 <sup>ns</sup>	94,14 <sup>ns</sup>
<b>-B</b>	1,45 <sup>-</sup>	0,45 <sup>ns</sup>	0,37 <sup>ns</sup>	39,50 <sup>ns</sup>	1,22 <sup>-</sup>	56,55 <sup>ns</sup>	96,08 <sup>+</sup>
<b>CV (%)</b>	36,93	15,85	23,50	3,90	9,82	2,70	2,54

<sup>+</sup>Significativo e superior ao tratamento completo pelo teste de Dunnett ( $p > 0.05$ ). <sup>-</sup>Significativo e inferior ao tratamento completo pelo teste de Dunnett ( $p > 0.05$ ). <sup>ns</sup> Não difere estatisticamente do tratamento completo, pelo teste de Dunnett ( $p > 0.05$ ).

Deschamps et al. (2012), estudando o efeito de fontes e doses de nitrogênio, em cultivo de *M.piperita*, verificaram que o aumento no teor de mentol e neomentol correspondeu ao aumento da dose desse nutriente. A adubação nitrogenada também proporcionou incremento na produção de linalol e eucaliptol em *Ocimum basilicum* (Zheljazkov et al., 2008; Nurzynska-Wierdak et al., 2013). A omissão de nitrogênio na solução nutritiva eliminou a presença de limoneno e reduziu o teor de mentona nos óleos de *Mentha arvensis* (Maia, 1998).

Os monoterpenos são constituintes dos óleos essenciais do gênero *Cymbopogon* e são formados por duas unidades isoprênicas biologicamente ativas (isopentenil pirofosfato e dimetil difosfato) que se fundem para formar o geranil difosfato, precursor dos monoterpenos. Estes isoprenoides requerem acetil-CoA, ATP e NADPH para sua síntese. Dessa forma, a biossíntese de óleos essenciais é dependente de nitrogênio, uma vez que este elemento é constituinte da molécula de NADPH, enxofre, na molécula de acetil-CoA e fósforo já que este nutriente está particularmente envolvido na transferência de energia na forma de ATP (Croteau, 1987; Dubey et al., 2003).

Em *C.citratus* o cultivo sob omissão de fósforo proporcionou redução no rendimento de óleos essenciais (Tabela 11). David et al. (2007) observaram em cultivo de *Mentha x piperita* com diferentes doses de fósforo em solução nutritiva que a menor dose acarretou em menor produção de óleos, a deficiência de fósforo reduz a fosforilação necessária para a produção de geranyl difosfato podendo levar à redução da produção de óleos essenciais. Entretanto para *Mentha x villosa* e *Mentha piperita* diferentes doses deste nutriente não afetaram a produção de óleos essenciais (Ramos et al., 2005; Souza et al., 2007).

Plantas de *Mentha arvensis* var. *piperascens* crescidas na ausência de fósforo apresentaram maior rendimento de óleos essenciais (Singh e Singh, 1969). Por outro lado, em cultivo de *Mentha piperita* em diferentes doses de fósforo obteve-se menor rendimento de óleos na menor dose de P utilizada (Rodrigues et al., 2004).

Em trabalhos testando doses de fósforo e inoculação com fungos micorrízicos, plantas de *Foeniculum vulgare* e *Mentha arvensis* não micorrizadas e cultivadas na ausência de adubação fosfatada apresentaram os menores teores de fósforo, reduzindo a produção de óleos essenciais. Em *M. arvensis* também foi observado alterações nos teores de mentol (Kapoor et al., 2004; Freitas et al., 2004).

Ranaweera e Thilakaratne (1992), testando os efeitos de doses de fósforo e magnésio em cultivo de *Cymbopogon nardus*, observaram que com o aumento das doses de fósforo, houve incremento na produção de geraniol, diferentemente do observado em *Mentha arvensis*, onde a menor dose de fósforo foi responsável pelo maior teor de mentol nos óleos (Souza et al., 2014).

Em *Mentha piperita* foi observado comportamento semelhante, onde as menores doses de fósforo foram responsáveis pelo maior teor de mentol (David et al., 2006). No presente trabalho a omissão de fósforo na solução nutritiva proporcionou redução nos teores de mircenol e geraniol nos óleos essenciais de *C.citratus* (Tabela 12).

O potássio é capaz de ativar pelo menos 60 diferentes enzimas envolvidas no metabolismo vegetal, sendo assim, a quantidade deste nutriente no tecido da planta interfere na taxa de ativação enzimática e reações químicas (Prajapati e Modi, 2012). O aumento na concentração deste nutriente pode levar ao estímulo de atividades enzimáticas, levando à maior taxa fotossintética,

síntese de carboidratos e aumento na produção de óleos essenciais (El-Leithy et al., 2013).

Khalid (2013) observou que plantas de *Calendula officinalis* cultivadas em doses crescentes de potássio apresentaram redução da concentração e conteúdo de óleos essenciais para a menor dose de potássio estudada. Todavia, com o aumento das doses o crescimento vegetativo foi intenso, causando nas maiores doses um efeito de diluição, levando a um menor rendimento de óleos por planta.

Estudando em solução nutritiva, doses de potássio no cultivo de *Mentha x gracilis*, Garlet et al. (2007) observaram que as doses mais elevadas de K proporcionaram aumento no teor de óleos essenciais, por outro lado houve redução na massa da matéria seca, levando a um menor rendimento de óleos por planta.

O efeito negativo no teor e rendimento de óleos essenciais, em decorrência da ausência de potássio no cultivo também foi observado em *C. citratus*, cultivado sob doses crescentes de nitrogênio e potássio (Rashmi e Singh, 2008) e *Ocimum basilicum* (Nurzynska-Wierdak et al., 2013). No presente estudo verificou-se que não houve diferença no teor de óleos essenciais entre as folhas das plantas do tratamento completo e as folhas intermediárias das plantas de *C. citratus* cultivadas em solução nutritiva com ausência de potássio (Tabela 11).

Em relação à constituição dos óleos de *C. citratus* houve redução de mirceno, citronelol e geraniol nos óleos essenciais de plantas crescidas em situação com omissão de potássio (Tabela 12). Em *C. officinalis* os três constituintes majoritários dos óleos essenciais,  $\alpha$ -cadinol,  $\gamma$ -cadineno e  $\alpha$ -cadineno foram afetados pelas diferentes doses de potássio empregadas no cultivo, todavia, observou-se que a dose mediana ( $173,2 \text{ Kg.ha}^{-1}$ ) proporcionou o maior rendimento (Khalid, 2013).

Maffeis et al. (2000) observaram relação entre o teor de potássio e de citronelal nos óleos essenciais de *E. citriodora*. Estes autores atribuem este resultado à importante função do potássio como ativador enzimático. A medida que se aumentou a concentração de potássio na solução nutritiva, em cultivo de *Mentha x gracilis* observou-se aumento da produção de mirceno, alfa-pineno, beta-pineno e limoneno e redução de linalol e pulegona (Garlet et al., 2007). A omissão de potássio na solução nutritiva no cultivo de *S. rebaudiana* promoveu redução no teor de esteviosídeo (Utumi et al., 1999).

O menor rendimento de óleos (%) foi verificado nas plantas crescidas sob deficiência de cálcio, sendo cerca de 45% inferior ao tratamento completo (Tabela 11). Supanjani et al. (2005), testando diferentes concentrações de cálcio em solução nutritiva, no cultivo de *Chrysanthemum coronarium*, observaram que à medida que os teores de Ca na solução aumentaram, até 40 mM, houve incremento na produção de óleos essenciais.

O cálcio além de ser constituinte da lamela média e parede celular e atuar na manutenção da integridade de membranas, também é importante como co-fator de enzimas que atuam na hidrólise de ATP e fosfolipídeos, é mensageiro secundário de respostas a sinais ambientais e hormonais e agente regulador de processos metabólicos, quando ligado à calmodulina (Taiz e Zieger, 2006).

A aplicação foliar de cálcio e magnésio em cultivo de *Origanum vulgare* ssp *hirtum* não promoveu o incremento na concentração de óleos essenciais, por outro lado, o rendimento em óleos por planta foi maior, devido ao aumento no acúmulo de massa de matéria seca (Dordas, 2009). Este trabalho corrobora com Dzida (2010), que utilizando doses de  $\text{CaCO}_3$  não observou, com o aumento das doses, incrementos no teor de óleos em *Ocimum basilicum*. Entretanto, a aplicação foliar de solução de  $\text{CaCl}_2$  (0,5%) foi responsável por aumentar o teor e o conteúdo de óleos em *Pelargonium* sp. (Prasad et al., 2008), assim como a aplicação foliar de  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  também proporcionou aumento na concentração e rendimento em *Artemisia dracunculus* (Heidari et al., 2014).

Em cultivo de *Satureja hortensis* L. cv. Saturn, Mumivand et al. (2011), testando diferentes doses de nitrogênio e cálcio, relataram que à medida que houve aumento nas doses de cálcio (até 5 t.ha<sup>-1</sup>), ocorreu incremento nos teores e rendimento de óleos essenciais nestas plantas. No entanto, os autores atribuem este incremento à melhora das características do solo e da absorção de outros nutrientes.

Estudando o efeito de doses de cálcio sobre os constituintes dos óleos essenciais de *Ocimum basilicum* Dzida, (2010) observou que o aumento da dose desse nutriente promoveu redução do teor de linalol, D-germacreno,  $\gamma$ -cadineno e epi- $\alpha$ -cadinol, por outro lado, proporcionou aumento 1,8-cineol e geraniol. Em cultivo de *C. citratus* a omissão de cálcio resultou em redução nos teores de mirceno e geraniol (Tabela 12). Todavia, não foi observado alteração nos constituintes dos óleos de *E. citriodora* cultivado sob omissão de Ca (Maffeis, et

al., 2000). Em cultivo de *Stevia rebaudiana* Utumi et al. (1999) e Lima Filho et al., (1997) verificaram redução nos teores de esteviosídeo em decorrência da omissão de cálcio da solução nutritiva.

Em cultivo de *Corymbia citriodora* a menor dose de magnésio promoveu redução do teor de óleos essenciais (Favaro et al., 2011). Entretanto, Dordas (2009) não observou diferenças na concentração de óleos essenciais em plantas de *Origanum vulgare* após aplicação foliar de  $MgSO_4$ . Todavia, o rendimento de óleos foi superior, devido ao acúmulo de matéria seca decorrente da adubação foliar. A produção de óleos essenciais em *Cymbopogon citratus* foi reduzida pela ausência de magnésio na solução nutritiva, como pode ser observado na tabela 11.

O incremento da adubação com Mg e P foi responsável por maior produção de óleos em *Cymbopogon nardus* (Ranaweera e Thilakarate, 1992). Os terpenos são produzidos através do metabolismo secundário, a partir de compostos do metabolismo primário. A deficiência de magnésio leva à redução da atividade fotossintética, uma vez que este nutriente é constituinte da molécula de clorofila, além de ser importante na ativação de inúmeras enzimas no metabolismo vegetal. Desta forma, a produção destes compostos pode ser reduzida quando sob situações de escassez de nutrientes (Taiz e Zieger, 2006; Vitti et al., 2006).

Em *C. citratus*, a omissão de magnésio na solução nutritiva acarretou em redução na produção de mircenol, linalol e geraniol, como pode ser observado na tabela 12, entretanto, o mesmo não foi observado em *E. citriodora*, onde a deficiência de magnésio não promoveu alterações nos constituintes do óleos (Maffeis et al., 2000). No cultivo de *C. nardus*, a adubação magnesiana promoveu incremento na produção de geraniol e borneol (Ranaweera e Thilakarathne, 1992).

Muitas reações de fosforilação de compostos precursores estão envolvidas na biossíntese de óleos essenciais e se mostram dependentes de ATP e íons  $Mg^{+2}$  (Ranaweera e Thilakarathne, 1992).

Os monoterpenos podem ser sintetizados a partir de duas rotas: ácido mevalônico (MVA) e metil-eritritol-4-fosfato (MEP). Na rota MVA o IPP é produzido a partir da descarboxilação e pirofosforilação do ácido mevalônico que é produzido a partir da redução de 3 hidróxi-3metil-glutaril coenzima A (HMG-CoA),

oriundo da condensação de três unidades de acetil CoA (Ganjewala e Luthra, 2010; Dubey et al., 2003).

O enxofre é componente da molécula acetil CoA, desta forma sua ausência interfere no metabolismo de carboidratos, podendo ocasionar alterações na produção de óleos essenciais no metabolismo secundário (Vitti et al., 2006). Diante disso, as plantas de *C. citratus* cultivadas sob omissão de enxofre tiveram sua produção de óleos reduzida (Tabela 11).

Rao et al. (2015) observaram que o rendimento e o teor de óleos essenciais em *Cymbopogon martini* foi maior em plantas cultivadas na dose de 40 Kg.ha<sup>-1</sup> de enxofre, em comparação com plantas cultivadas com 0 Kg.ha<sup>-1</sup>. Verificou-se também que a maior dose de S foi responsável por aumentar os teores de cis- $\beta$ -Ocimeno, linalol, geraniol, geranyl acetato e geranyl hexanoato.

Todavia, em *Eucalyptos citriodora*, Maffeis et al. (2000) não verificaram redução na produção de óleos essenciais, assim como Zheljzakov et al. (2008) não observaram efeito de doses crescentes de enxofre sobre a produção de óleos essenciais em cultivo de *Ocimum basilicum*.

Em *C. citratus* houve redução nas quantidades de mircenol, linalol e geraniol nos óleos em decorrência da omissão de enxofre (Tabela 12), em cultivo de *C. flexuosus* sob doses crescentes de N e S, o teor de citral foi reduzido nas plantas cultivadas na menor dose de S (Zheljzakov et al., 2011). Zheljzakov et al. (2008), também, testando diferentes doses de nitrogênio e enxofre, verificaram aumento nos teores de eucaliptol em *Ocimum basilicum* cultivados nas maiores doses de enxofre. Em *Stevia rebaudiana* o teor de esteviosídeo foi reduzido pela deficiência de enxofre (Utumi et al., 1999).

O cultivo de *C. citratus* em solução nutritiva com ausência de boro reduziu a produção de óleos essenciais (Tabela 11). Este resultado concorda com o observado por Dixit et al. (2002), em *Curcuma longa* crescida em condição de deficiência de boro. Nestas plantas o teor de óleos essenciais foi reduzido, em comparação com plantas cultivadas na presença do nutriente, todavia, o teor de curcumim foi superior nos óleos das plantas deficientes. Nos óleos de *C. citratus* os teores de mircenol e geraniol foram reduzidos, todavia, o citral foi maior sob deficiência de boro (Tabela 12).

Fávaro et al. (2011) observaram queda no teor de óleos essenciais em *C. citriodora* crescida sob supressão de boro. Em cultivo de *E. citriodora*, a omissão

de boro na solução nutritiva resultou em baixos teores de óleos, além de redução da concentração de citronelal, não atingindo a quantidade mínima requerida para ser considerado de qualidade, cerca de 70% (Maffeis et al., 2000).

Alguns autores consideram que o boro tem papel importante na translocação de açúcares e no metabolismo de carboidratos, além de este nutriente atuar em alguns sistemas enzimáticos, seja como constituinte ou como componente ativo. Todavia, comprovadamente, o boro tem importância na estabilidade de membranas e paredes celulares (Dechen e Nachtigall, 2006).

## 6. CONCLUSÕES

- A omissão de nutrientes no cultivo de *C. citratus* provocou redução das variáveis de crescimento, sendo de forma mais expressiva no tratamento deficiente em nitrogênio.
- A ordem cronológica de aparecimento dos sintomas visuais de deficiência em plantas de *C. citratus* foi: N, Mg, K, S, P e Ca. Não foi observado sintoma visual de deficiência de boro após 79 dias de omissão deste micronutriente.
- O teor de óleos essenciais foi reduzido em todas as plantas de *C. citratus* submetidas aos tratamentos, exceto no tratamento -K e observou-se no tratamento deficiente em Ca o menor teor.
- Os óleos essenciais de todos os tratamentos apresentaram teores de citral superiores a 75%.
- A composição dos óleos essenciais de *C. citratus* foi alterada em decorrência da omissão de nutrientes na solução nutritiva durante o cultivo, foi observado redução de mirceno e geraniol em todos os tratamentos.

- Nos óleos das plantas cultivadas na ausência de nitrogênio não foi observada presença de mirceno, todavia, o teor de geranial foi superior ao encontrado em plantas do tratamento completo.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adeneye, A.A., Agbaje, E.O. Hypoglycemic and hypolipidemic effects of fresh leaf aqueous extract of *Cymbopogon citratus* Stapf. in rats. (2007) *Journal of Ethnopharmacology*, Ireland, 112(2):440-444.
- Aharoni, A., Jongsma, M.A., Kim, T.Y., Ri, M.B., Giri, A.P., Verstappen, F.W.A., Schwab, W., Bouwmeester, H.J. (2006) Metabolic engineering of terpenoid biosynthesis in plants. *Phytochemistry Reviews*, 5:49-58.
- Almeida, M.A.O., Botura, M.B., Santos, M.M., Almeida, G.N., Domingues, L.F., Costa, S.L., Batatinha, M.J.M. (2003) Efeito dos extratos aquosos de folhas de *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf (Capim-santo) e de *Digitaria insularis* (L.) Fedde (Capim-açu) sobre cultivos de larvas de nematóides gastrintestinais de caprinos. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*, Jaboticabal, 12(3):125-129.
- Amaral, A.S., Radunz, L.L., Mossi, A.J., Santi, A., Rosa, N.M.F.F., Feiten, F. (2010) Rendimento de matéria seca e óleo essencial de *Bacharis trimera* com adubação química e orgânica. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, 9(1):20-28.

- Amaral, W., Deschamps, C., Favaretto, N., Koeler, H.S., Sheer, A.P., Yamamoto, C., Cocco, L. (2008) Desenvolvimento, rendimento e composição de óleo essencial de camomila [*Chamomila recutita* (L.) Rauschert] sob adubação orgânica e mineral. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, Botucatu, 10(4):1-8.
- Andrade, M.L.F., Boaretto, A.E. (2012) Deficiência nutricional em plantas jovens de aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). *Scientia Florestalis*, Piracicaba, 40(95):383-392.
- Argenta, G., Silva, P.R.F., Bortolini, C.G., Forsthofer, E.L., Strieder, M.L. (2001). Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Campinas, 13(2):158-167.
- Aschwaden, C. (2001) Herbs for health, but how safe are they? *Bulletin of the World Health Organ*, Colorado, 79(7):691-692.
- Avalhães, C.C., Prado, R.M, Rozane, D.E., Romualdo, L.M., Correia, M.A.R. (2009) Omissão de macronutrientes no crescimento e no estado nutricional de capim-elefante (cv. Mott) cultivado em solução nutritiva. *Scientia Agraria*, Curitiba, 10(3):215-222
- Ayanoğlu, F., Mert, A., Kirici, S. (2002) The effects of different nitrogen doses on *Artemisia annua* L. *Journal of Herbs, Species and Medicinal Plant*, 9(4):399-404.
- Batista, K., Monteiro, F.A., (2010) Variações nos teores de potássio, cálcio e magnésio em capim-marandu adubado com doses de nitrogênio e de enxofre. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 34:151-161.
- Benedetti, E.L., Wink, C., Santin, D., Sereda, F., Roveda, L.F., Serrat, B.M. (2009) Crescimento e sintomas em mudas de espinheira-santa com omissão de nitrogênio, fósforo e potássio. *Floresta*, Curitiba 39 (2): 335-343.

- Bennett, B.C., Prance, G.T. (2000) Introduced plants in the indigenous pharmacopoeia of northern South America. *Econ. Bot.*, Bronx, 54:90-102.
- Bizzo, H.R., Hovell A.M.C., Rezende, C.M. (2009) Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. *Química Nova*, São Paulo 32(3):588-594.
- Bonato, C.M., Rubin Filho, C.J., Melges, E., Santos, V.D. (1998) *Nutrição Mineral de Plantas*. Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá –PR, 137p.
- Blevins, D.G., Lukaszewski, K.M. (1998) Boron in plant structure and function. *Plant Physiology*, 48:481-500.
- Brasil (2012) Ministério da Saúde. *Notícias*. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/saude/2012/07/saude-repassa-r-6-7-milhoes-para-programa-de-plantas-medicinais-e-fitoterapicos>> Acesso: 15/01/2014
- Brasil (2013) Ministério da Saúde. *Notícias*. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/saude/2013/06/producao-de-plantas-medicinais-e-fitoterapicas-recebera-r-12-milhoes-em-recursos>> Acesso:15/01/2014
- Brasil. (2006) *Política Nacional de plantas medicinais e fitoterápicos* (Série B. Textos Básicos de Saúde). Brasília – Ministério da Saúde, 60p.
- Calixto, J.B., Scheidt, C., Otuki, M., Santos, A.R.S. (2001) Biological activity of plant extracts: novel analgesic drugs. *Expert Opinion on Emerging Drugs*, Londres, 6(2):261-279.
- Carbajal, D., Casaco, A., Arruzazabala, L., Gonzalez, R., Tolon, Z., (1989) Pharmacological study of *Cymbopogon citratus* leaves. *Journal of Ethnopharmacology*, Ireland, 25(1):103-107.
- Castro, L.O., Ramos, R.L.D. Principais gramíneas produtoras de óleos essenciais: *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf., capim-cidró, *Cymbopogon martinii* (Rox)

- J.F. Watson, palma-rosa, *Cymbopogon nardus* (L.) Rendle, citronela, *Elyonurus candidus* (Trin.) Hack., capim-limão, *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash, vetiver. (2002) *Boletim FEPAGRO*, Porto Alegre, 31p. (Boletim técnico, 11).
- Cheng, A.X., Lou, Y.G., Mao, Y.B., Lu, S., Wang, L.L., Chen, X.Y. (2007) Plant terpenoids: Biosynthesis and ecological functions. *Journal of integrative plant biology*, 49(2):179-186.
- Chisowa, E.H., Hall, D.R., Farman, D.I. (1998) Volatile constituents of the essential oil of *Cymbopogon citratus* Stapf grown in Zambia. *Flavour and Fragrance Journal*, New Jersey, 13(1):29-30.
- Cimanga, K., Apers, S., Bruyne, T., Miert, S.V., Hermans, N., Totte, J., Pieters, L., Vlietinck, A.J. (2002) *Journal of essential oil research*, 14:382-387.
- Clarkson, D.T., Hanson, J.B. (1980) The mineral nutrition of higher plants. *Annual review plant physiology*, 31:239-298.
- Correa, C.C., Alves, A.F. (2008) Plantas medicinais como alternativa de negócio: caracterização e importância. *XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural*. Acre - Rio Branco.
- Correa, M. P. (1984) *Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas*. Volume 1. Rio de Janeiro: Nacional, 577p.
- Costa, L.C.B., Rosal, L.F., Pinto, J.E.B.P., Bertolucci, S.K.V. (2008) Efeito da adubação química e orgânica na produção de biomassa e óleo essencial em capim-limão [*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf.]. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 10(1):16-20.
- Craveiro, A.A., Queiroz, D.C. (1993) Óleos essenciais e química fina. *Química nova*, 16(3):224-228.

- Croteau, R. (1987) Biosynthesis and catabolism of monoterpenoids. *Chemical Reviews*, 87(5):929-954.
- David, E.F.S., Boaro, C.S.F., Marques, M.O.M. (2006) Rendimento e composição do óleo essencial de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes níveis de fósforo. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, Botucatu, 8(4):183-188.
- David, E.F.S., Mischán, M.M., Boaro, C.S.F. (2007) Desenvolvimento e rendimento de óleo essencial de menta (*Mentha x piperita* L.) cultivada em solução nutritiva com diferentes níveis de fósforo. *Biotemas*, 20(2):15-26.
- Dechen, A.R., Nachtigall, G.R. (2006) Elementos essenciais e benéficos às plantas superiores. In: Fernandes, M.S. *Nutrição Mineral de Plantas*. Viçosa, 432p.
- Deschamps, C., Monteiro, R., Machado, M.P., Bizzo, H., Biasi, L.A. (2012) Produção e biomassa, teor e composição do óleo essencial de *Mentha piperita* L. em resposta a fontes e doses de nitrogênio. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, Botucatu, 14(1):12-17.
- Dixit, D., Srivastava, N.K., Sharma, S. (2002) Boron deficiency induced changes in translocation of  $^{14}\text{CO}_2$ -photosynthate into primary metabolites in relation to essential oil and curcumin accumulation in turmeric (*Curcuma longa* L.) *Photosynthetica*, 40(1):109-113.
- Dixon, R.A., Paiva, N. (1995) Stressed induced phenyl propanoid metabolism. *Plant Cell*, Waterbury, 7(7):1085-1097.
- Dordas, C. (2009) Foliar application of calcium and magnesium improves growth, yield and essential oil of oregano (*Origanum vulgare* ssp *hirtum*) *Industrial Crops and Production*, 29:599-608.

- Duarte, M.R., Zaneti, C.C. (2004) Estudo farmacobotânico de folhas de capim-limão: *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf, Poaceae. *Visão Acadêmica*, Curitiba, 5(2):117-124.
- Dubey, V.S., Bhalla, R., Luthra, R. (2003) An overview of the non-mevalonate pathway for terpenoid biosynthesis in plants. *Journal Bioscience*, 28(5):637-646.
- Dzida, K. (2010) Biological value and essential oil content in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) dependin on calcium fertilization and cultivar. *Acta Scientiarum Polonorum*, 9(4):153:161.
- El-Din, A.A.E., Hendaway, S.F., Aziz, E.E., Omer, E.A. (2010) Enhancing growth, yield and essential oil of caraway plants by nitrogen and potassium fertilizers. *International Journal of Academic Research*, 2(3):192-197.
- El-Leithy, A.S., Hanafy, S.H., Omer, E.A., El-Sayed, A.A.A. (2013) Effect of nitrogen and potassium biofertilization on growth, yield and essential oil production of white horehound, *Marrubium vulgare* L. plant. *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants*, 5(1):46-59.
- Epstein, E. Bloom, A.J. (2004) *Nutrição mineral de plantas – princípios e perspectivas*. 2 ed. Editora Planta: Londrina, 403p.
- Farnsworth, N.R., Soejarto, D.D. (1991) *Global importance of medicinal plants*. In: Akerele, O., Heywood, V., Syngé, H. *The conservation of Medicinal Plants*. Cambridge: Cambridge University Press, p.25-51.
- Favaro, E.A., Vitorino, A.C.T., Daniel, O., Novelino, J.O. (2011) Boro e magnésio na produção de óleo essencial de *Corymbia citriodora* e teor de clorofila. *Revista Floresta*, 41(1):39-46.
- Feng, J., Barker, A.V. (1993) Polyamine concentration and ethylene evolution in tomato plants under nutritional stress. *HortScience*, 28(2):109-110.

- Ferreira, M.M.M. (2012) Sintomas de deficiência de macro e micronutrientes de plantas de milho híbrido BRS 1010. *Revista Agro-ambiente on line*, 6(1):74-83.
- Figueira, G.M. (1998) Nutrição mineral, produção e concentração de artemisinina em *Artemisia annua* L. Ming, L.C. In: Plantas Medicinais Aromáticas e Condimentares: Avanços na Pesquisa Agronômica. Volume I. 217p.
- Figueiredo, R.O., Delachiave, M.E.A., Ming, L.C. (2006) Reguladores vegetais na produção de biomassa e teor de óleos essenciais em *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf, em diferentes épocas do ano. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, Botucatu, 8(3):31-35.
- Freitas, M.S.M., Martins, M.A., Curcino, I.J. (2004) Produção e qualidade de óleos essenciais de *Mentha arvensis* em resposta à inoculação de fungos micorrízicos arbusculares. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 39(9):887-894.
- Freitas, M.S.M., Monnerat, P.H., Carvalho, A.J.C. de, Vasconcelos, M.A. da Silva (2011) Sintomas visuais de deficiência de macronutrientes e boro em maracujazeiro-doce. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal - SP, 33(40):1329-1341.
- Galvez, J.L.H., Torrez, I.P., Aguilar, O.E.A., Lara, M.L. (1998) Estudio del efecto diurético de la hoja de *Cymbopogon citratus* en modelo de ratas. *Rev. Cubana de Plantas Mediciniais*, Cuba, 2(2):79-82.
- Gama, M.C. (2010) *Deficiência de macronutrientes e boro em Catharanthus roseus*. Monografia (Graduação em Engenharia Agrônômica) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, 42p
- Ganjewala, D., Luthra, R. (2010) Essential oil biosynthesis and regulation in the genus *Cymbopogon*. *Natural Product Communications*, 5(1):163-172.

- Garcez Neto, A.F., Nascimento Junior, D., Regazzi, A.J., Fonseca, D.M., Mosquim, P.R., Gobbi, K.F. (2002) Respostas morfogênicas e estruturais de *Panicum maximum* cv. Mombaça sob diferentes níveis de adubação nitrogenada e alturas de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 31(5):1890-1900.
- Garlet, T.M.B., Santos, O.S., Medeiros, S.L.P., Manfron, P.A., Garcia, D.C., Sinchak, S.S. (2007) Crescimento e teor de óleo essencial de mentas com diferentes concentrações de potássio na solução nutritiva. *Horticultura Brasileira*, 25:230-237.
- Gershenzon, J. (1984) Changes in the levels of plant secondary metabolites under water and nutrient stress. In: Timmermann, B.N., Steelink, C., Loewus, F.A. (eds.). *Phytochemical adaptations to stress*, 273-230.
- Gershenzon, J. (1994) Metabolic costs of terpenoid accumulation in higher plants. *Journal of Chemical Ecology*, 20(6):1281-1328.
- Gomes, E.C., Negrelle, R.R.B. (2003) *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf: Botanical and ecological aspects. *Visão Acadêmica*, Curitiba, 4(3):137-144.
- Gonçalvez, A.H. (2012) *Atividade fungitóxica dos óleos essenciais de Lippia sidoides Cham e de Cymbopogon citratus (D.C.) Stapf. no controle de fitopatógenos do feijoeiro comum*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Tocantins, Universidade Federal do Tocantins, 90p.
- Gondim, A.R.O., Prado, R.M., Alves, A.U., Fonseca, I.M. (2010) Eficiência nutricional do milho cv. BRS 1030 submetido à omissão de macronutrientes em solução nutritiva. *Revista Ceres*, Viçosa, 57(4):539-544.
- Guimarães, L.G.L., Cardoso, M.G.C., Souza, P.E., Andrade, J., Vieira, S.S. (2011) Atividades antioxidante e fungitóxica do óleo essencial de capim-limão e do citral. *Revista Ciência Agronômica*, Ceará, 42(2):464-472.

- Heenan, D.P., Campbell, L.C. (1981) Influence of potassium and manganese on growth and uptake of magnesium by soybeans (*Glicine max* (L.) Meer. Cv. Bragg) *Plant and Soil*, 61:447-456.
- Heidari, S., Soltani, F., Azizi, M., Hadian, J. (2014) Foliar application of Ca and K improves growth, yield, essential oil yield and nutrient uptake of tarragon (*Artemisia dracunculus* L.) grown in Iran. *International Journal of Biosciences*, 4(2):323-338.
- Hoagland, D.R., Arnon, D.I. (1950) *The water culture method for growing plants without soils*. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 347p.
- Jackson, M. L. (1965) *Soil chemical analysis*. New Jersey: Prentice Hall, 498p.
- Kapoor, R., Giri, B., Mukerji, K.G., (2004) Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgare* mill on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. *Bioresource Technology*, 93:307-311.
- Kasali, A.A., Oyedeji, A.O., Ashilokun, A.O. (2001) Volatile leaf oil constituents of *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf. *Flavour and Fragrance Journal*, New Jersey, 16(1):377-378.
- Khalid, A.K. (2013) Effect of potassium uptake on the composition of essential oil content in *Calendula officinalis* L. flowers. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 25(3):189-195.
- Kobayashi, N.I., Saito, T., Iwata, N., Ohmae, Y., Iwata, R., Tanoi, K., Nakashini, T.M. (2013) Leaf senescence in rice due to magnesium deficiency mediated defect in transpiration rate before sugar accumulation and chlorosis. *Physiologia Plantarum*, 148:490-501.
- Koprivova, A., Suter, M., Camp, R.O., Brunold, C., Kopriva, S. (2000) Regulation of sulfate assimilation by nitrogen in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 122:737-746.

- Lange, A., Martines, A.M., Silva, M.A.C., Sorreano, M.C.M., Cabral, C.P., Malavolta, E. (2005) Efeito de deficiência de micronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Iris. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 40(1):61-67.
- Lavres Junior, J., Boaretto, R.M., Silva, M.L.S., Correira, D., Cabral, C.P., Malavolta, E. (2005) Deficiência de macronutrientes no estado nutricional da mamoneira cultivar Iris. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 40(2):145-151.
- Lavres Junior, J., Monteiro, F.A. (2006) Diagnose nutricional de nitrogênio no capim-aruaana em condições controladas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30:829-837.
- Lawlor, D.W. (2002) Carbon and nitrogen in relation to yield: mechanisms are the key to understanding production systems. *Journal of experimental botany*, 53(370):773-787.
- Lemos, G.C.S., Freitas, F.P., Freitas, S.P. (2006) Demanda identificada de plantas medicinais ou aromáticas no comércio de Campos dos Goytacazes, RJ. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, Botucatu, 8(4):96-99.
- Lewinsohn, E., Dudai, N., Tadmor, Y., Katzir, I., Ravid, U., Putievsky, E., Joel, D.M. (1998) Histochemical localization of citral accumulation in lemongrass leaves (*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf., Poaceae. *Annals of Botany*, England, 81(1):35-39.
- Li, Y., Hou, L., Qi, C., Sun, H., Liu, L., Sui, P., Guo, X., Zhao, G. (2010) Effects of different levels of phosphorus nutrient on the photosynthesis characteristic of rice flag leaf, *Agricultural Science and Technology*, 11(6):11-14.
- Liu, Z.A., Yang, J.P., Yang, Z.C., (2012) Using a chlorophyll meter to estimate tea leaf chlorophyll and nitrogen contents. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12(2):339-348.

- Lima Filho, O.F. de, Malavolta, E. Yabico, H.Y. (1997) Influência de estresses nutricionais no teor e produção de esteviosídeo durante o desenvolvimento da estévia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 32(5):135-140.
- Lima, R.K., Cardoso, M.G., Moraes, J.C., Vieira, S.S., Melo, B.A., Filgueiras, C.C. (2008) Composição dos óleos essenciais de Anis-estrelado *Illicium verum* L. e de Capim-limão *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf: Avaliação do efeito repelente sobre *Brevicoryne brassicae* (L.) (Hemiptera: Aphididae). *BioAssay*, São Paulo, 3(8):1-6.
- Lorenzetti, B.B., Souza, G.E.P., Sarti, S.J., Santos Filho, D., Ferreira, S.H. (1991) Myrcene mimics the peripheral analgesic activity of lemongrass tea. *Journal of Ethnopharmacology*, Ireland, 34(1):43-48.
- Lorenzi H., Matos, F.J. (2002) *Plantas Medicinais do Brasil: Nativas e exóticas cultivadas*. São Paulo: Instituto Plantarum, 502p.
- Lourenzani, A.E.B.S., Lourenzani, W.L., Batalha, M.O. (2004) Barreiras e oportunidades na comercialização de plantas medicinais provenientes da agricultura familiar. *Informações Econômicas*, 34(3):15-25.
- Lousada, L.L., Lemos, G.C.S., Freitas, S.P., Daher, R.F., Esteves, B.S. (2012) Bioatividade de extratos hidroalcoólicos de de *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf. sobre picão-preto (*Bidens pilosa* L.) e alface (*Lactuca sativa* L.). *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, Botucatu, 14(2):282-86.
- Lucena, Y.B., Leite, A.C.A.S., Oliveira, K.A., Junior, F.G, Rodrigues, O.G., Neto, V.Q. (2013) Avaliação da atividade do óleo essencial do capim-santo (*Cymbopogon citratus* DC, Stapf) em bactérias cariogênicas. *Revista Brasileira de Biologia e Farmácia*, Campina Grande, 9(2):114-129.
- Maciel M.A.M., Pinto, A.C., Veiga Junior, V.F. (2002) Plantas Mediciniais: A necessidade de estudos multidisciplinares. *Química nova*, São Paulo, 25(3):429-438.

- Maffeis, A.R., Silveira, R.L.V.A., Brito, J.O. (2000) Reflexos das deficiências de macronutrientes e boro no crescimento de plantas, produção e qualidade de óleo essencial em *Eucalyptus citriodora*. *Scientia Florestalis*, 57:87-98.
- Maia, J.T.L.S., Bonfim, F.P.G., Guanabens, R.E.M., Trentin, R., Martinez, H.E.P., Pereira, P.R.G., Fontes, P.C.R. (2014) Omissão de nutrientes em plantas de pinhão-mansão cultivadas em solução nutritiva. *Revista Ceres*, Viçosa, 61(5):723-731.
- Maia, N.B. (1998) Efeito da nutrição mineral na qualidade do óleo essencial da menta (*Mentha arvensis* L.) cultivada em solução nutritiva. Ming, L.C. In: Plantas Medicinais Aromáticas e Condimentares: Avanços na Pesquisa Agronômica. Volume II. 237p.
- Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. (1997) *Avaliação do estado nutricional das plantas – Princípios e aplicações*. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 319p.
- Mann, J. (2001) *Secondary Metabolism*. Oxford Science Publications, 2 ed. 374p.
- Marchezan, E., Santos, O.S., Avila, L.A., Silva, R.P. (2001) Adubação foliar com micronutrientes em arroz irrigado, área sistematizada. *Ciência Rural*, Santa Maria, 31(6):941-945.
- Marschner, H. (1995) *Mineral Nutrition of Higher plants*. 2 ed. Londres: Academic Press, 889p.
- Martinazzo, A.P., Melo, E.C., Demuner, A.J., Berbert, P.A. (2013) Avaliação do óleo essencial de folhas de *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf após o processo de secagem. *Boletim Latino Americano e del Caribe de Plantas Medicinales e Aromáticas*, 12(5):523-536.
- Martins, P.M., Melo, E.C., Barbosa, L.C.A., Santos, R.H.S., Machado, M.C. (2002) Influência da temperatura e velocidade do ar de secagem no teor e

composição química do óleo essencial de capim-limão. *Acta Horticultura*, 569:155-161.

Mathe A. (2014) *Medicinal and aromatic plants*. In: Soils, plant growth and crop production. v.2. Enciclopedia of Life Support Systems. Hungria. Disponível em: <<http://www.eolss.net/Sample-Chapters/C10/E1-05A-26.pdf>.> Acesso em: 10/02/2014.

Morais L.A.S. (2009) Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. *Horticultura Brasileira*, Bahia, 27(2):50-63.

Mumivand, H., Babalar, M., Hadian, J., Fakhr-Tabatabaei, M. (2011) Plant growth and essential oil content and composition of *Satureja hortensis* L; cv. Saturn in response to calcium carbonate and nitrogen application rates. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(10):1859-1866.

Nagegowda, D.A. (2010) Plant volatile terpenoid metabolism: Biosynthetic genes, transcriptional regulation and subcellular compartmentation. *FEBS Letters*, 584:2965-2973.

Negrelle, R.R.B., Gomes, E.C. (2007) *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf: chemical composition and biological activities. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, Botucatu, 9(1):80-92.

Nurzynska-Wierdak, R., Borowski, B., Dzida, K., Zawislak, G., Kowalski, R. (2013) Essential oil composition of sweet basil cultivars as affected by nitrogen and potassium fertilization. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 37:427-436.

Oliveira, M.M.M., Brugnera, D.F., Cardoso, M.G., Guimarães, L.G.L., Piccoli, R.H. (2011) Rendimento, composição química e atividade antilisterial de óleos essenciais de espécies de *Cymbopogon*. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, Botucatu, 13(1):8-16.

- Onawunmi, G.O., Yisak, W.A., Ogunlana, E.O. (1984) Antibacterial constituents in the essential oil of *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf. *Journal of Ethnopharmacology*, Ireland, 12(3):279-286.
- Ortiz, R.S., Marrero, G.V., Navarro, A.L.T. (2002) Instructivo técnico del cultivo de *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf. (caña santa). *Revista de Plantas Medicinales*, Cuba, 7(2) Disponível em: <[http://www.informed.sld.cu/revistas/pla/vol7\\_2\\_02/plasu0202.htm](http://www.informed.sld.cu/revistas/pla/vol7_2_02/plasu0202.htm)> Acesso em: 30/01/2014.
- Paranagama, P.A., Abeysekera, K.H.T., Abeywickrama, K., Nugaliyadde, L. (2003) Fungicidal and anti-aflatoxigenic effects of the essential oil of *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf. (lemongrass) against *Aspergillus flavus* Link. isolated from stored rice. *Letters in Applied Microbiology*, United Kingdom, 37(1):86-90.
- Paulus, D., Medeiros, S.L.P., Santos, O.S., Paulus, E. (2008) Solução nutritiva para produção de menta em hidroponia. *Horticultura brasileira*, 26(1):61-67.
- Pereira, R.P., Fachinetto, R., Prestes, A.S., Puntel, R.L., Silva, G.N.S., Heinzmann, B.M., Boschetti, T.K., Athayde, M.L., Burguer, M.E., Morel, A.F., Morsch, V.M., Rocha, J.B.T. (2009) Antioxidant effects of different extracts from *Melissa officinalis*, *Matricaria recutita* and *Cymbopogon citratus*. *Neurochemical research*, 34(5):973-983.
- Peters, J.B. (2005). *Wisconsin Procedures for Soil Testing, Plant Analysis and Feed & Forage Analysis: Plant Analysis*. Department of Soil Science, College of Agriculture and Life Sciences, University of Wisconsin-Extension, Madison, WI.<[http://uwlabs.soils.wisc.edu/files/procedures/plant\\_icp.pdf](http://uwlabs.soils.wisc.edu/files/procedures/plant_icp.pdf)> Acesso em: 20/02/2014.
- Peterson, A.G., Ball, J.T., Luo, Y., Field, C.B., Curtis, P.S., Griffin, K.L., Gunderson, C.A., Norby, R.J., Tissue, D.T., Forstreuter, M., Rey, A., Vogel, C.S., (1999) Quantifying the response of photosynthesis to changes in leaf

nitrogen content and leaf mass per area in plants grown under atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment. *Plant, Cell and Environment*, 22:1109-1119.

Petropoulos, S.A., Daferera, D., Polissiou, M.G., Passam, H.C. (2009) Effect of nitrogen-application rate on the biomass, concentration, and composition of essential oils in the leaves and roots of three types of parsley. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172:210-215.

Pinto, J.E.B.P., Lameira, O.A. (2001) *Micropropagação e metabólitos secundários in vitro de plantas medicinais*. Lavras: UFLA, 102p.

Prado, R.M., Fernandes, F.M., Roque, C.G. (2001) Resposta da cultura do milho a modos de aplicações e doses de fósforo em adubação de manutenção. *Revista Brasileira de ciência do solo*, 25:83-90.

Prado, R.M., Hojo, R.H., Avalhães, C.C., Vale, D.W., Pimentel, U.V. (2011) Desempenho do capim-tanzânia cultivado em solução nutritiva com a omissão de macronutrientes. *Scientia Agraria Paranaensis*, Cascavel, 10(1):58-68.

Prado, R.M., Vale, D.W., (2008) Nitrogênio, fósforo e potássio na leitura SPAD em porta-enxerto de limoeiro cravo, *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 38(4):227-232.

Prado, R.M., Vidal, A.A. (2008) Efeito da omissão de macronutrientes em solução nutritiva sobre o crescimento e a nutrição do milheto. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, 38(3):208-214.

Prajapati, K., Modi, H.A. (2012) The importance of potassium in plant growth – A review. *Indian Journal of Plant Sciences*, India, 1(2-3):177-186.

Prasad, A., Chattopadhyay, A., Yadav, A., Kumari, R. (2008) Variation in the chemical composition and yield of essential oil of rose-scented geranium (*Pelargonium* sp.) by the foliar application of metallic salts. *Flavour and Fragrance Journal*, 23:133-136.

- Prins, C.L., Freitas, S.P., Campostrini, E., Gravina, G.A., Reis, F.O. (2008) Efeitos do confinamento do sistema radicular sobre capim-limão (*Cymbopogon citratus*). *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, 39(3):416-42.
- Puatanachokchaia, R., Kishidaa, H. Denda, A., Murata, N., Konishia, Y. Vinitketkumnuenb, U., Nakae, D. (2002) Inhibitory effects of lemon grass (*Cymbopogon citratus*, Stapf) extract on the early phase of hepatocarcinogenesis after initiation with diethylnitrosamine in male Fischer 344 rats. *Cancer Letters*, Netherlands, 183(8):9-15.
- Queiroz, A.M., Souza, C.H.E., Machado, V.J., Lana, R.M.Q., Korndorfer, G.H., Silva, A.A. (2011) Avaliação de diferentes fontes e doses de nitrogênio na adubação da cultura do milho (*Zea mays* L.). *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 10(3):257-266.
- Ramakrishna, A., Ravishankar, G.A. (2011) Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant Signaling & Behavior*, United States, 6(11):1720-1731.
- Ramos, M.J.M., Monnerat, P.H., Pinho, L.G.R. (2013) Leitura SPAD em abacaxizeiro imperial cultivado em deficiência de macronutrientes e de boro. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, 35(1):277-281.
- Ramos, S.J., Fernandes, L.A., Marques, C.C.L., Silva, D.D., Palmeira, C.M., Martins, E.R. (2005) Produção de matéria seca e óleo essencial em menta sob diferentes doses de fósforo. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, Botucatu, 8(1):9-12.
- Ranaweera, S.S., Thilakaratne, W.P. (1992) Mineral nutrition of *Cymbopogon nardus* (L) Rendle: Part I. Effects of magnesium and phosphorus nutrition on growth and the yield of essential oil. *Vidyodaya Journal os Science*, 4(1):201-208.

- Rao, B.R.R., Rajput, D.K., Patel, R.P. (2015) Improving yield and quality of palmarosa [*Cymbopogon martini* (Roxb.) Wats. var. Motia Burk.] with sulfur fertilization. *Journal of Plant Nutrition*. 38:384-396.
- Rashmi, Singh, S.B. (2008) Studying the effect of nitrogen and potassium fertilizer on growth and essential oil content of *Cymbopogon citratus* and *Vetiveria zizanioides*. *Journal of Essential Oil Bearing Plants* (2):188-193.
- Reis, M.S., Mariot, A. (2001) *Diversidade natural e aspectos agronômicos dlantas medicinais*. Simões, C.M.O., Schenkel, E.P., Gosmann, G., Mello, J.C.P., Mentz, L.A., Petrovick, P.R. *In: Farmacognosia da planta ao medicamento*. 3 ed. Porto Alegre: Editora universidade UFSC/UFRGS, p.41-62.
- Rodrigues, C.R., Faquin, V., Trevisan, D., Pinto, J.E.B.P., Bertolucci, S.K.V., Rodrigues, T.M. (2004) Nutrição mineral, crescimento e teor de óleo essencial da menta em solução nutritiva sob diferentes concentrações de fósforo e épocas de coleta. *Horticultura Brasileira*, Brasília, 22(3):573-578.
- Rodrigues, W., Nogueira, J.M. (2008) Competitividade da cadeia produtiva de plantas medicinais no Brasil: uma perspectiva a partir do comércio exterior. *Informe Gepec*, Paraná, 12(2):91-105.
- Rohmer, M., Knani, M., Simonin, P., Sutter, B., Sahm, H. (1993) Isoprenoid biosynthesis in bacteria: a novel pathway for the early steps leading to isopentenyl diphosphate. *Biochemistry journal*, 295:517-524.
- Rosa, Y.B.C.J., Silva, E.F., Fonseca, I.C., Silva, J.F., Rosa Junior, E.J., Rosa, D.B.C.J., Sorgato, J.C. (2012) Crescimento e sintomas de deficiência nutricional em *Iris germanica* (L) decorrentes da omissão de macronutrientes. *Revista Agrarian*, 5(17):303-309.
- Rozane, D.E., Prado, R.M., Romualdo, L.M. (2008) Deficiências de macronutrientes no estado nutricional da aveiapreta cultivar comum. *Científica, Jaboticabal*, 36(2):116 – 122.

- Sanders, D., Brownlee, C., Harper, J.F. (1999) Communicating with calcium. *The Plant Cell, American Society of Plant Physiologists*, v.11, 691-706.
- Santi, A., Camargos, S.L., Pereira, W.L.M., Scaramuzza, J.F. (2005) Deficiências de micronutrientes em sorgo (*Sorghum bicolor*) *Revista de Ciências Agroambientais*, Alta Floresta, 3:54-63.
- Santi, A., Camargos, S.L., Scaramuzza, W.L.M.P., Scaramuzza, J.F. (2006) Deficiências de macronutrientes em sorgo. *Ciência agrotec.*, Lavras, 30(2):228-233.
- Santos, A. Paduan, R.H., Gazin, Z.C., Jacomassi, E., Oliveira, P.S., Cortez, D.A.G., Cortez, L.E.R. (2009) Determinação do rendimento e atividade antimicrobiana do óleo essencial de *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf em função de sazonalidade e consorciamento. *Brazilian Journal of Pharmacognosy*, Paraná, 19(2):436-441.
- Sarmiento, P., Nascimento, R.C., Martins, A.T., Cruz, M.C.P., Ferreira, M.E. (2006) Nutrientes limitantes ao desenvolvimento do capim-tifton 85 em argisolo vermelho-amarelo. *Revista Brasileira de Indústria Animal*, 63(1):11-18.
- Scaramuzza, W.L.M.P., Rodrigues, R.C., Monteiro, F.A. (2007) Características produtivas e fisiológicas do capim-mombaça submetido à doses de potássio. *Brasileira de Indústria Animal*, 64(3):213-220.
- Schaneberg, B.T., Khan, I.A. (2002) Comparison of extraction methods for marker compounds in the essential oil of lemon grass by GC. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, United States, 50(6):1345-1349.
- Scheffer, M.C., Ronzelli Júnior, P. Koehler, H.S. (1993) Influence of organic fertilization on the biomass, yield and composition of the essential oil of *Achillea millefolium* L. *Acta Horticulturae*, Bélgica 331:109-114.

- Schuck, V.J.A., Fratini, M., Rauber, C.S., Henriques, A., Schapoval, E.E.S. (2001) Avaliação da atividade antimicrobiana de *Cymbopogon citratus*. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, São Paulo,37(1):45-49.
- Sifola, M.I., Barbieri, G. (2006) Growth, yield and essential oil content of three cultivars of basil grown under different level of nitrogen in the field. *Scientia Horticulture*, 108:408-413.
- Silva, C.D. da, Pereira, P.R.G, Silva, D.D, Diniz, E.R. (1999) Sintoma de deficiência em manjerição ( *Ocimum basilicum* L.), em resposta à omissão de macronutrientes, ferro e boro. *Anais da XI jornada de Iniciação Científica da UFRRJ*. 1(2):51-54.
- Silva Junior, M.L., Seabra, D.A., Melo, V.S., Santos, M.M.L.S., Santos, P.C.T.C. (2007) Crescimento, composição mineral e sintomas de deficiências de pariri cultivado sob omissão de macronutrientes. *Revista Ciência Agrárias*, Belém, (48):85-87.
- Silva, W.W., Athayde, A.C.R., Rodrigues, O.G., Araújo, G.M.B., Santos, V.D., Neto, A.B.S., Coelho, M.C.O.C., Marinho, M.L. (2007) Efeitos do neem (*Azadirachta indica* A. Juss) e do capim santo [*Cymbopogon citratus* (DC) Stapf] sobre os parâmetros reprodutivos de fêmeas ingurgitadas de *Boophilus microplus* e *Rhipicephalus sanguineus* (Acari: Ixodidae) no semiárido paraibano. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, Botucatu, 9(3) :1-5.
- Simões, C.M.O, Spitzer, V. (2001) *Óleos voláteis*. Simões, C.M.O., Schenkel, E.P., Gosmann, G., Mello, J.C.P., Mentz, L.A., Petrovick, P.R. *In:Farmacognosia da planta ao medicamento*. 3 ed. Editora universidade UFSC/UFRGS. Porto Alegre, 397-425.
- Singi, G., Damasceno, D.D., D'Andréa, E.D., Silva, G.A. (2005) Efeitos agudos dos extratos hidroalcoólicos do alho (*Allium sativum* L.) e do capim-limão (*Cymbopogon citratus* (DC) Stapf) sobre a pressão arterial média de ratos anestesiados. *Brazilian Journal of Pharmacognosy*, Paraná, 15(2):94-97.

- Singh, J.N., Singh, D.P. (1969) Effect of phosphorus deficiency and seasonal variations on growth and essential oil content of Japanese mint (*M. arvensis* var. *piperascens*). *Soil Science and Plant Nutrition*, 15(2):67-74.
- Singh, M. (2008) Effect of nitrogen and potassium fertilizer on growth, herbage and oil yield of irrigated palmarosa (*Cymbopogon martini* [roxb.] wats. var. *motia burk*) in a semi-arid tropical climate. *Archives of agronomy and soil science*, 54(4):395-400.
- Souza, M.A.A., Araújo, O.J.L., Brito, D.M.C., Fernandes, M.S., Castro, R.N., Souza, S.R. (2014) Chemical composition of the essential oil and nitrogen metabolism of menthol mint under different phosphorus levels. *American Journal of Plant Science*, 5:2312-2322.
- Souza, M.A.A., Araújo, O.J.L., Ferreira, M.A., Stark, E.M.L.M., Fernandes, M.S., Souza, S.R. (2007) Produção de biomassa e óleo essencial de hortelã em hidroponia em função de nitrogênio e fósforo. *Horticultura Brasileira*, 25(1):41-48.
- Souza, M.R.M., Pereira, R.G.F., Fonseca M.C.M. (2012) Comercialização de plantas medicinais no contexto da cadeia produtiva em Minas Gerais. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 14:242-245.
- Souza, S.R., Fernandes, M.S. (2006) Nitrogênio *In*: Fernandes, M.S. *Nutrição Mineral de plantas*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 432p.
- Suh, E.J., Park, K.W. (1999) Effect of magnesium on the content and composition of essential oil of basil cultivars grown in hydroponics. *Journal Korean Society Horticultural Science*, 40(3):336-340.
- Supanjani, Tawaha, A.R.M., Yang, M.S., Han, H.S., Lee, K.D. (2005) Calcium effects on yield, mineral uptake and terpene components of hydroponic *Chrysanthemum coronarium* L. *Research Journal of Agriculture and Biological Science*, 1(2):146-151.

- Szulc, P., Rybus-Zajac, M. (2009) Content of chloroplast pigments in the phase os maize ear blooming depending on nitrogen and magnesium fertilization. *Acta Scientiarum Polonorum*, 8(3):43-54.
- Taffarel, L.E., Mesquita, E.E., Castagnara, D.D., Oliveira, P.S.R., Oliveira, N.T.E., Galbeiro, S., Costa, P.B. 2014. Produção de matéria seca e valor nutritivo do feno do tifton 85 adubado com nitrogênio e colhido com 35 dias. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, Salvador, 15(3):544-560.
- Taiz, L., Ziege, E. (2004) *Fisiologia Vegetal*. 3 ed. Porto Alegre: Artmed, 719p.
- Utumi, M.M., Monnerat, P.H., Pereira, P.R.G., Fontes, P.C.R., Godinho, V. de P.C. (1999) Deficiência de macronutrientes em estêvia: sintomas visuais e efeitos no crescimento, composição química e produção de esteviosídeo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 34 (6): 1039-1043
- Vale, D.W., Prado. R.M., Avalhães, C.A., Hojo, R.H. (2011) Omissão de macronutrientes na nutrição e no crescimento da cana-de-açúcar cultivada em solução nutritiva. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 6(2):189-196.
- Valmorbida, J., Boaro, C.S.F., Marques, M.O.M., Ferri, A.F. (2006) Rendimento e composição química de óleos essenciais de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de potássio. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, Botucatu, 8(4):56-61.
- Veiga Junior, V.F. (2008) Estudo do consumo de plantas medicinais na Região Centro-Norte do Estado do Rio de Janeiro: aceitação pelos profissionais de saúde e modo de uso pela população. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, Curitiba, 18(2):308-313.
- Viegas, I.J.M., Sousa, G.O., Silva, A.F., Carvalho, J.G., Lima, M.M. (2013) Composição mineral e sintomas visuais de deficiências de nutrientes em plantas de pimenta-longa (*Piper histivum* C. DC.) *Acta Amazonica*, 43(1):43-50.

- Vitti, G. C., Lima, E., Cicarone, F. (2006). Cálcio, magnésio e enxofre. *Nutrição mineral de plantas. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, 299-325.
- Zheljazkov, V.D., Cantrell, C.L., Ebelhar, M.W., Rowe, D.E., Coker, C. (2008) Productivity, oil content, and oil composition of sweet basil as a function of nitrogen and sulphur fertilization. *HortScience*, 43(5):1415-1422.
- Zheljazkov, V.C., Cantrell, C.L., Astatkie, T., Cannon, J.B. (2011) Lemongrass productivity, oil content and composition as a function of nitrogen, sulphur and harvest time. *Agronomy Journal*, 103(3):805-812.
- Zonta, E.P., Machado, A.A., Silveira Junior, P. (1984) *Sistema de análises estatísticas para microcomputadores (SANEST)*. Pelotas: UFP, 151p.
- Zuanazzi, J.A.S., Mayorga, P. (2010) Fitoprodutos e desenvolvimento econômico. *Química Nova*, 33(6):1421-1428.

## 1. APÊNDICES

Tabela 1A. Análise química do substrato utilizado em cultivo de *C. citratus* em casa de vegetação, em solução nutritiva com omissão de nutrientes.

pH	Macronutrientes (mg.dm <sup>-3</sup> )					Micronutrientes (mg.dm <sup>-3</sup> )					(g.dm <sup>-3</sup> )		(mmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> )	
	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B	C	MO	CTC	SB
7,3	5	23,4	170	26,4	6	86,36	0,33	2	29,04	0,12	6,4	11,03	11,7	11,7

Tabela 2A. Análise de variância dos parâmetros biométricos de plantas de *C. citratus* cultivadas por 79 dias em casa de vegetação, em solução nutritiva com omissão de nutrientes

Fonte de Variação	GL	Número de Folhas Novas			Número de Folhas Intermediárias		Número de Folhas Velhas		Número Total de Folhas				
		QM	F	CV (%)	QM	F	CV (%)	QM	F	CV (%)			
<b>Bloco</b>	3	31,36	0,19	10,26	134,11	0,61	11,40	1170,11	0,79	28,32	1334,86	0,47	13,56
<b>Omissão</b>	7	2888,38	17,49**		3527,53	16,17**		9100,63	6,16**		38962,20	13,90**	
<b>Resíduo</b>	21	165,07	-		218,13	-		1475,09	-		2802,81	-	
		CV (%)=10,26			CV (%)=11,40		CV (%)=28,32		CV (%)=13,56				

Legenda: \*\* significativo pelo teste de Dunnett ( $P \leq 0,05$ ).

Tabela 3A. Análise de variância dos parâmetros biométricos de plantas de *C. citratus* cultivadas por 79 dias em casa de vegetação, em solução nutritiva com omissão de nutrientes.

Fonte de Variação	GL	Altura (cm)		Número de Perfilhos		Índice SPAD de Folhas Novas		Índice SPAD de Folhas Intermediárias		Índice SPAD de Folhas Velhas	
		QM	F	QM	F	QM	QM	F	QM	QM	F
<b>Bloco</b>	3	13,11	1,82	17,58	1,68	17,58	1,68	32,79	1,54	20,55	0,75
<b>Omissão</b>	7	51,45	7,16**	240,53	23,03**	240,53	23,03**	696,30	32,80**	1340,91	49,22**
<b>Resíduo</b>	21	7,18	-	10,44	-	10,44	-	21,22	-	27,23	-
		CV (%)=3,21		CV (%)=14,69		CV (%)=10,66		CV (%)=11,30		CV (%)=14,13	

Legenda: \*\* significativo pelo teste de Dunnett ( $P \leq 0,05$ ).

Tabela 4A. Análise de variância dos parâmetros biométricos de plantas de *C. citratus* cultivadas por 79 dias em casa de vegetação, em solução nutritiva com omissão de nutrientes.

Fonte de Variação	GL	Área Foliar de Folhas Novas		Área Foliar de Folhas Intermediárias		Área Foliar de Folhas Velhas		Área Foliar Total de Folhas	
		QM	F	QM	F	QM	F	QM	F
<b>Bloco</b>	3	639342,56	1,31	3277833,51	4,85	655079,09	0,29	6973716,83	1,77
<b>Omissão</b>	7	8297448,56	17,09**	10267631,03	15,21**	9521523,11	4,26**	66044066,75	16,85**
<b>Resíduo</b>	21	485469,29	-	674662,61	-	2234105,19	-	3917980,72	-
		CV (%)=18,78		CV (%)=13,30		CV (%)=26,94		CV (%)=12,82	

Legenda: \*\* significativo pelo teste de Dunnett ( $P \leq 0,05$ ).

Tabela 5A. Análise de variância dos parâmetros biométricos de plantas de *C. citratus* cultivadas por 79 dias em casa de vegetação, em solução nutritiva com omissão de nutrientes.

Fonte de Variação	GL	Massa Fresca de Folhas Novas		Massa Fresca de Folhas Intermediárias		Massa Fresca de Folhas Velhas		Massa Fresca de Perfilhos		Massa Fresca Total	
		QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F
<b>Bloco</b>	3	1158,05	5,15	3479,65	7,83	587,3	0,56	114757,4	8,22	190414,1	8,69
<b>Omissão</b>	7	5143,03	22,87**	5631,62	12,67**	7136,4	6,86**	133546,1	9,57**	307041,1	14,1**
<b>Resíduo</b>	21	224,84	-	444,33	-	1040,2	-	13954,5	-	21898,2	-
		CV (%)=15,22		CV (%)=13,21		CV (%)=22,33		CV (%)=15,74		CV (%)=12,63	

Legenda: \*\* significativo pelo teste de Dunnett ( $P \leq 0,05$ ).

Tabela 6A. Análise de variância dos parâmetros biométricos de plantas de *C. citratus* cultivadas por 79 dias em casa de vegetação, em solução nutritiva com omissão de nutrientes.

Fonte de Variação	GL	Massa Seca de Folhas Novas		Massa Seca de Folhas Intermediárias		Massa Seca de Folhas Velhas		Massa Seca de Perfilhos		Massa Seca Total	
		QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F
<b>Bloco</b>	3	120,07	4,35	490,56	9,32	76,29	0,77	17377,85	28,74	35429,61	26,64
<b>Omissão</b>	7	367,20	13,30**	385,88	7,33**	550,12	5,60	3042,51	5,03**	11073,22	8,32**
<b>Resíduo</b>	21	24,59	-	52,61	-	98,19	-	604,62	-	1329,82	-
		CV (%)=18,05		CV (%)=14,73		CV (%)=19,92		CV (%)=13,86		CV (%)=10,88	

Legenda: \*\* significativo pelo teste de Dunnett ( $P \leq 0,05$ ).

Tabela 7A. Análise de variância dos teores de macronutrientes em folhas novas de plantas de *C. citratus* cultivadas por 65 dias em casa de vegetação, em solução nutritiva com omissão de nutrientes.

Fonte de Variação	GL	N (g.Kg <sup>-1</sup> )		P (g.Kg <sup>-1</sup> )		K (g.Kg <sup>-1</sup> )		Ca (g.Kg <sup>-1</sup> )		Mg (g.Kg <sup>-1</sup> )		S (g.Kg <sup>-1</sup> )	
		QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F
<b>Bloco</b>	3	2,17	4,95	0,09	2,40	1,97	1,46	0,15	5,35	0,01	0,59	0,01	1,30
<b>Omissão</b>	7	23,98	54,54**	0,81	19,78**	53,75	39,97**	2,61	90,43**	0,81	25,12**	0,27	34,59**
<b>Resíduo</b>	21	0,43	-	0,04	-	1,34	-	0,02	-	0,03	-	0,01	-
		CV (%)=5,30		CV (%)=8,33		CV (%)=6,13		CV (%)=9,66		CV (%)=18,33		CV (%)=9,73	

Legenda: \*\* significativo pelo teste de Dunnett (P≤0,05).

Tabela 8A. Análise de variância dos teores de micronutrientes em folhas novas de plantas de *C. citratus* cultivadas por 65 dias em casa de vegetação, em solução nutritiva com omissão de nutrientes.

Fonte de Variação	GL	B (g.Kg <sup>-1</sup> )		Cu (g.Kg <sup>-1</sup> )		Fe (g.Kg <sup>-1</sup> )		Mn (g.Kg <sup>-1</sup> )		Zn (g.Kg <sup>-1</sup> )		Mo (g.Kg <sup>-1</sup> )		Ni (g.Kg <sup>-1</sup> )	
		QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F
<b>Bloco</b>	3	21,03	8,38	1,80	2,80	207,8	1,44	172,0	2,79	41,6	3,93	0,73	3,58	0,01	4,44
<b>Omissão</b>	7	48,5	19,3**	2,68	4,17**	297,2	2,07	349,8	5,68**	30,3	2,86	7,09	34,4**	0,01	2,28
<b>Resíduo</b>	21	2,50	-	0,64	-	143,5	-	61,5	-	10,6	-	0,20	-	0,01	-
		CV (%)=11,21		CV (%)=24,14		CV (%)=20,5		CV (%)=32,4		CV (%)=15,29		CV (%)=17,79		CV (%)=20,28	

Legenda: \*\* significativo pelo teste de Dunnett (P≤0,05).

Tabela 9A. Análise de variância dos teores de macronutrientes em folhas velhas de plantas de *C. citratus* cultivadas por 65 dias em casa de vegetação, em solução nutritiva com omissão de nutrientes.

Fonte de Variação	GL	N (g.Kg <sup>-1</sup> )		P (g.Kg <sup>-1</sup> )		K (g.Kg <sup>-1</sup> )		Ca (g.Kg <sup>-1</sup> )		Mg (g.Kg <sup>-1</sup> )		S (g.Kg <sup>-1</sup> )	
		QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F
<b>Bloco</b>	3	2,19	3,09	0,18	9,08	1,33	0,74	0,50	1,37	0,01	0,16	0,01	0,67
<b>Omissão</b>	7	50,17	70,75**	0,61	30,51**	143,89	80,15**	38,71	105,44**	5,01	62,95**	0,45	29,40**
<b>Resíduo</b>	21	0,70	-	0,02	-	1,79	-	0,36	-	0,07	-	0,01	-
		CV (%)=6,53		CV (%)=11,35		CV (%)=9,20		CV (%)=8,29		CV (%)=13,45		CV (%)=9,85	

Legenda: \*\* significativo pelo teste de Dunnett ( $P \leq 0,05$ ).

Tabela 10A. Análise de variância dos teores de micronutrientes em folhas velhas de plantas de *C. citratus* cultivadas por 65 dias em casa de vegetação, em solução nutritiva com omissão de nutrientes.

Fonte de Variação	GL	B (g.Kg <sup>-1</sup> )		Cu (g.Kg <sup>-1</sup> )		Fe (g.Kg <sup>-1</sup> )		Mn (g.Kg <sup>-1</sup> )		Zn (g.Kg <sup>-1</sup> )		Mo (g.Kg <sup>-1</sup> )		Ni (g.Kg <sup>-1</sup> )	
		QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F
<b>Bloco</b>	3	12,8	0,91	0,92	2,92	148,4	0,67	1535,9	4,09	2,95	0,77	1,53	11,8	0,02	8,55
<b>Omissão</b>	7	326,7	23,1**	2,34	7,43**	162,2	0,73	1474,1	3,92	9,59	2,51**	3,71	28,7**	0,01	3,13**
<b>Resíduo</b>	21	14,1	-	0,31	-	220,1	-	375,4	-	3,81	-	0,12	-	0,01	-
		CV (%)=12,57		CV (%)=22,58		CV (%)=14,57		CV (%)=17,07		CV (%)=18,50		CV (%)=16,47		CV (%)=19,12	

Legenda: \*\* significativo pelo teste de Dunnett ( $P \leq 0,05$ ).

Tabela 11A. Análise de variância dos teores de macronutrientes em folhas novas de plantas de *C. citratus* cultivadas por 79 dias em casa de vegetação, em solução nutritiva com omissão de nutrientes.

Fonte de Variação	GL	N (g.Kg <sup>-1</sup> )		P (g.Kg <sup>-1</sup> )		K (g.Kg <sup>-1</sup> )		Ca (g.Kg <sup>-1</sup> )		Mg (g.Kg <sup>-1</sup> )		S (g.Kg <sup>-1</sup> )	
		QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F
<b>Bloco</b>	3	2,13	1,71	0,29	3,27	7,03	2,73	1,22	3,73	0,04	0,61	0,01	1,41
<b>Omissão</b>	7	41,58	33,30**	2,06	22,97**	103,65	40,25**	4,61	14,12**	2,16	29,06**	0,45	41,75**
<b>Resíduo</b>	21	1,24	-	0,08	-	2,57	-	0,32	-	0,07	-	0,01	-
		CV (%)=8,41		CV (%)=11,12		CV (%)=6,87		CV (%)=24,26		CV (%)=20,55		CV (%)=10,12	

Legenda: \*\* significativo pelo teste de Dunnett ( $P \leq 0,05$ ).

Tabela 12A. Análise de variância dos teores de macronutrientes em folhas intermediárias de plantas de *C. citratus* cultivadas por 79 dias em casa de vegetação, em solução nutritiva com omissão de nutrientes.

Fonte de Variação	GL	N (g.Kg <sup>-1</sup> )		P (g.Kg <sup>-1</sup> )		K (g.Kg <sup>-1</sup> )		Ca (g.Kg <sup>-1</sup> )		Mg (g.Kg <sup>-1</sup> )		S (g.Kg <sup>-1</sup> )	
		QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F
<b>Bloco</b>	3	2,68	3,51	0,26	4,43	2,09	0,92	1,56	1,71	0,06	0,65	0,01	0,64
<b>Omissão</b>	7	48,2	63,1**	1,08	18,1**	2227,4	100,8**	35,86	39,1**	5,75	54,2**	0,65	40,3**
<b>Resíduo</b>	21	0,76	-	0,05	-	2,25	-	0,91	-	0,10	-	0,01	-
		CV (%)=6,88		CV (%)=13,76		CV (%)=6,99		CV (%)=16,74		CV (%)=15,67		CV (%)=10,72	

Legenda: \*\* significativo pelo teste de Dunnett ( $P \leq 0,05$ ).

Tabela 13A. Análise de variância dos teores de macronutrientes em folhas velhas de plantas de *C. citratus* cultivadas por 79 dias em casa de vegetação, em solução nutritiva com omissão de nutrientes.

Fonte de Variação	GL	N (g.Kg <sup>-1</sup> )		P (g.Kg <sup>-1</sup> )		K (g.Kg <sup>-1</sup> )		Ca (g.Kg <sup>-1</sup> )		Mg (g.Kg <sup>-1</sup> )		S (g.Kg <sup>-1</sup> )	
		QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F
<b>Bloco</b>	3	2,61	4,15	0,20	5,32	12,9	6,24	1,16	0,66	0,03	0,35	0,03	0,96
<b>Omissão</b>	7	58,3	92,8**	1,04	27,3**	177,1	85,2**	73,6	42,1**	6,57	63,7**	0,91	28,6**
<b>Resíduo</b>	21	0,62	-	0,03	-	2,07	-	1,74	-	0,10	-	0,03	-
		CV (%)=6,60		CV (%)=14,2		CV (%)=8,31		CV (%)=14,71		CV (%)=13,27		CV (%)=13,18	

Legenda: \*\* significativo pelo teste de Dunnett ( $P \leq 0,05$ ).

Tabela 14A. Análise de variância dos teores de micronutrientes em folhas novas de plantas de *C. citratus* cultivadas por 79 dias em casa de vegetação, em solução nutritiva com omissão de nutrientes.

Fonte de Variação	GL	B (g.Kg <sup>-1</sup> )		Cu (g.Kg <sup>-1</sup> )		Fe (g.Kg <sup>-1</sup> )		Mn (g.Kg <sup>-1</sup> )		Zn (g.Kg <sup>-1</sup> )		Mo (g.Kg <sup>-1</sup> )		Ni (g.Kg <sup>-1</sup> )	
		QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F
<b>Bloco</b>	3	25,54	4,93	1,11	1,78	310,70	1,99	225,55	3,97	3,86	0,49	0,87	13,77	0,09	1,63
<b>Omissão</b>	7	74,89	14,48**	3,32	5,29**	279,69	1,80**	367,56	6,47**	39,8	5,07**	5,49	86,2**	0,02	0,46
<b>Resíduo</b>	21	5,17	-	0,62	-	155,38	-	59,79	-	7,86	-	0,06	-	0,05	-
		CV (%)=13,97		CV (%)=22,26		CV (%)=13,00		CV (%)=22,20		CV (%)=18,66		CV (%)=10,54		CV (%)=74,23	

Legenda: \*\* significativo pelo teste de Dunnett ( $P \leq 0,05$ ).

Tabela 15A. Análise de variância dos teores de micronutrientes em folhas intermediárias de plantas de *C. citratus* cultivadas por 79 dias em casa de vegetação, em solução nutritiva com omissão de nutrientes.

Fonte de Variação	GL	B (g.Kg <sup>-1</sup> )		Cu (g.Kg <sup>-1</sup> )		Fe (g.Kg <sup>-1</sup> )		Mn (g.Kg <sup>-1</sup> )		Zn (g.Kg <sup>-1</sup> )		Mo (g.Kg <sup>-1</sup> )		Ni (g.Kg <sup>-1</sup> )	
		QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F
<b>Bloco</b>	3	32,6	2,85	1,11	2,85	762,3	1,77	234,9	0,77	3,86	0,49	1,10	5,19	0,01	0,92
<b>Omissão</b>	7	217,8	19,1**	2,09	5,36**	185,1	0,43	1033	3,41	39,89	5,07	3,65	17,19**	0,01	1,77
<b>Resíduo</b>	21	11,4	-	0,39	-	428,3	-	302	-	7,86	-	0,21	-	0,01	-
		CV(%)=13,14		CV(%)=22,59		CV(%)=15,74		CV(%)=26,25		CV(%)=18,66		CV(%)=1,92		CV(%)=38,28	

Legenda: \*\* significativo pelo teste de Dunnett ( $P \leq 0,05$ ).

Tabela 16A. Análise de variância dos teores de micronutrientes em folhas velhas de plantas de *C. citratus* cultivadas por 79 dias em casa de vegetação, em solução nutritiva com omissão de nutrientes.

Fonte de Variação	GL	B (g.Kg <sup>-1</sup> )		Cu (g.Kg <sup>-1</sup> )		Fe (g.Kg <sup>-1</sup> )		Mn (g.Kg <sup>-1</sup> )		Zn (g.Kg <sup>-1</sup> )		Mo (g.Kg <sup>-1</sup> )		Ni (g.Kg <sup>-1</sup> )	
		QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F
<b>Bloco</b>	3	14,9	0,60	1,43	5,41	1956	2,91	1178	1,42	3,94	0,86	3,32	7,41	0,03	1,71
<b>Omissão</b>	7	490,1	19,8**	0,69	2,63	662,4	0,92	2591	3,13	40,6	8,87	2,86	6,39**	0,01	0,58
<b>Resíduo</b>	21	24,7	-	0,26	-	670,1	-	825,2	-	4,57	-	0,44	-	0,02	-
		CV(%)=16,96		CV(%)=20,51		CV(%)=14,40		CV(%)=22,60		CV(%)=17,55		CV(%)=31,15		CV(%)=44,85	

Legenda: \*\* significativo pelo teste de Dunnett ( $P \leq 0,05$ ).

Tabela 17A. Análise de variância do rendimento de óleo essencial e porcentagem de área dos constituintes do óleo essencial de folhas intermediárias de plantas de *C. citratus* cultivadas por 79 dias em casa de vegetação, em solução nutritiva com omissão de nutrientes.

Fonte de Variação	GL	Rendimento (%)		Mirceno (%)		Linalol (%)		Citronelol (%)		Neral (%)		Geraniol (%)		Geranial (%)	
		QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F	QM	F
<b>Bloco</b>	3	0,01	0,54	1,36	1,21	0,01	0,75	0,01	0,72	1,30	0,61	0,01	0,42	8,76	3,75
<b>Omissão</b>	7	0,18	12,9**	14,7	13,1**	0,03	7,48**	0,04	6,56**	10,3	4,86**	1,02	77,1**	36,4	15,5**
<b>Resíduo</b>	21	0,01	-	1,12	-	0,01	-	0,01	-	2,13	-	0,01	-	2,33	-
		CV (%)=10,80		CV (%)=36,93		CV (%)=15,85		CV (%)=23,50		CV (%)=3,90		CV (%)=9,82		CV (%)=2,70	

Legenda: \*\* significativo pelo teste de Dunnett ( $P \leq 0,05$ ).