

BIOPRODUÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS E COMPOSIÇÃO
MINERAL DE *Lavandula* spp. EM FUNÇÃO DE MANEJOS
NUTRICIONAIS

DIEGO ALVES PEÇANHA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
MARÇO – 2021

BIOPRODUÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS E COMPOSIÇÃO
MINERAL DE *Lavandula* spp. EM FUNÇÃO DE MANEJOS
NUTRICIONAIS

DIEGO ALVES PEÇANHA

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutor em Produção Vegetal”

Orientadora: Prof^a. Marta Simone Mendonça Freitas

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MARÇO - 2021

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pelo autor.

P364 Peçanha, Diego Alves.

Bioprodução de óleos essenciais e composição mineral de *Lavandula* spp. em função de manejos nutricionais / Diego Alves Peçanha. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2021.

107 f. : il.

Bibliografia: 96 - 103.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2021. Orientadora: Marta Simone Mendonça Freitas.

1. *Lavandula angustifolia*. 2. *Lavandula dentata*. 3. nutrição mineral. 4. espectros luminosos. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

BIOPRODUÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS E COMPOSIÇÃO
MINERAL DE *Lavandula* spp. EM FUNÇÃO DE MANEJOS
NUTRICIONAIS

DIEGO ALVES PEÇANHA

“Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
Título de Doutor em Produção Vegetal”

Aprovada em 25 de março de 2021

Comissão Examinadora

Prof^a. Daniela de Barros Oliveira (D. Sc., Química de Produtos Naturais) UENF

Prof. Miguel Urrestarazu Gavilán (D. Sc., Ciências Biológicas) UAL

Dr. Willian Pereira (D. Sc., Agronomia – Ciências do Solo) UFRRJ

Prof^a. Marta Simone Mendonça Freitas (D.Sc., Produção Vegetal) UENF
Orientadora

AGRADECIMENTOS

Resumir os agradecimentos de um período tão longo de trabalho é algo extremamente difícil, pois foram diversas formas de ajuda recebidas em todos os momentos, desde a concepção do projeto até chegar às tabelas formatadas, sem mencionar a grande ajuda que ainda precisarei até finalizar tudo de fato.

Muito obrigado ao programa de Pós-graduação em Produção Vegetal da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro e às agências financiadoras da pesquisa: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes, pela concessão da bolsa de estudos (88882.449529/2019-01; 88881.361680/2019-01), e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – FAPERJ, pela concessão de recursos de projetos aprovados (E-26/210.432/2019).

Muito obrigado à Professora Marta Simone Mendonça Freitas pela oportunidade de fazer parte da sua equipe de trabalho, pelos ensinamentos, por compartilhar suas vivências e pela orientação.

Muito obrigado ao Sr. José Accácio, por dividir toda sua experiência de vida e de trabalho. Por toda a ajuda nas análises laboratoriais e por ter me ensinado tanto nesses anos de convivência.

Muito obrigado ao Professor Miguel Urrestarazu e toda sua equipe de trabalho por terem me aceitado em sua equipe. Sou grato por todo seu profissionalismo e gentileza comigo.

Muito obrigado a todos os Professores da UENF com os quais tive contato durante minha formação. Vocês contribuíram imensamente para a minha bagagem.

Muito obrigado aos amigos do Setor de Nutrição Mineral de Plantas por todo o companheirismo, pela troca de saberes, pelo suporte durante toda a condução e análise, pelas ajudas incansáveis em corrigir meus trabalhos e pelos lanches descontraídos ao final das tardes.

Muito obrigado a todos os amigos que de alguma forma contribuíram para que fosse possível fazer esse trabalho se concretizar, principalmente a todos que me ajudaram a crescer tanto nesse tempo de curso.

E, é claro que não poderia deixar de agradecer à minha família. Obrigado a cada um de vocês por todo apoio, por todo o suporte e por entender alguns momentos familiares que foram sacrificados para que o curso de doutorado pudesse chegar ao seu fim.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo Geral	3
2.2. Objetivos específicos	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1. O nome lavanda	5
3.2. O metabolismo vegetal.....	8
3.3. Nutrientes minerais no metabolismo vegetal.....	11
3.4. A luz como um fator de produção	13
4. TRABALHOS	16
FERTILIZAÇÃO FOSFATADA NO CRESCIMENTO, RENDIMENTO E QUALIDADE DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE LAVANDA INGLESA PRODUZIDA EM CLIMA TROPICAL.....	16
QUALIDADE DA LUZ NO ENRAIZAMENTO E NA EFICIÊNCIA DO USO DE RECURSOS EM PLANTAS DE LAVANDA.....	45
FONTES E DOSES DE POTÁSSIO NA PRODUÇÃO, RENDIMENTO DE ÓLEOS ESSENCIAIS E TEORES NUTRICIONAIS DE LAVANDA.....	72
5. RESUMO E CONCLUSÕES	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96

APÊNDICE.....	104
1. Imagens do experimento com adubação fosfatada.....	105
2. Imagens do experimento com adubação potássica.	106
3. Imagens do experimento com espectros luminosos.....	107

RESUMO

PEÇANHA, Diego Alves. D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; março de 2021. Bioprodução de óleos essenciais e composição mineral de *Lavandula* spp. em função de manejos nutricionais. Orientadora: Prof^a. Marta Simone Mendonça Freitas.

O termo lavanda é utilizado para identificar mais de trinta espécies pertencentes à família Lamiaceae. Dentre as espécies, a *Lavandula angustifolia* e a *Lavandula dentata*, se destacam pelo seu amplo cultivo. A lavanda inglesa (*Lavandula angustifolia*) é cultivada para extração de óleo utilizado na perfumaria e na cosmética, enquanto a lavanda francesa (*Lavandula dentata*) tem interesse de uso medicinal. Ambas as espécies são utilizadas ainda em grande escala para fins ornamentais, principalmente em países e regiões com estações bem marcadas. O trabalho foi conduzido em três etapas. A primeira etapa teve como objetivo avaliar plantas de *L. angustifolia* sob efeito de adubação fosfatada. As plantas foram oriundas de sementes e cultivadas em vasos previamente adubados com fósforo. Foram tomados dados de crescimento de dois ciclos de cultivo, e no segundo ciclo foram realizadas ainda análises dos teores nutricionais, do rendimento e da composição química dos óleos essenciais. Foi possível observar que a complementação fosfatada afetou o crescimento das plantas, bem como a qualidade do óleo essencial, apresentando influências positivas nos teores de linalol e acetato de linalil, que são dois marcadores positivos de qualidade. Em um segundo momento, plantas de *L. dentata* foram

testadas quanto ao fornecimento de potássio oriundo de duas fontes: cloreto e sulfato de potássio. As mudas foram obtidas por meio de estacas de plantas adultas. Ao final do ciclo, quando as plantas estavam em florescimento pleno, foram avaliados dados de biometria, teores nutricionais e rendimento de óleos essenciais. As plantas adubadas com KCl apresentaram maior número de flores. Dentre os 14 nutrientes avaliados, as plantas adubadas com KCl apresentaram alterações nos teores de 11 elementos, enquanto que o K_2SO_4 influenciou nos teores de seis nutrientes. O rendimento do óleo essencial foi maior quando se aplicou K_2SO_4 , sendo o rendimento máximo calculado (1,44%) alcançado quando se aplica a dose máxima estimada de 206 mg.dm^{-3} de K na forma de K_2SO_4 . No terceiro momento, foi avaliada a influência de espectros luminosos na produção de mudas de *L. dentata*, bem como a influência destes espectros no desenvolvimento inicial das plantas, além de possíveis influências nos teores nutricionais foliares e na quantidade de nutrientes lixiviados. O experimento foi dividido em duas etapas, sendo a primeira etapa a fase de enraizamento das estacas e na segunda etapa a fase de crescimento da planta. Na primeira etapa foi possível observar que as estacas enraizadas sob influência do espectro T1 (AP67 Milky, Valoya) foram superiores às enraizadas em outras qualidades luminosas, não apresentando diferenças na lixiviação de nutrientes. Na segunda etapa foi possível observar que as plantas crescidas sob o espectro T3 (AP673L, Valoya) apresentaram melhor distribuição do dossel e menor quantidade de nitrato e potássio lixiviados, indicando ainda uma maior eficiência na utilização dos recursos oferecidos.

Palavras-chave: *Lavandula angustifolia*, *Lavandula dentata*, nutrição mineral, espectros luminosos.

ABSTRACT

PEÇANHA, Diego Alves. D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; 2021, March. Bioproduction of essential oils and mineral contents of *Lavandula* spp. according to fertilizers managements. Advisor: Dra. Marta Simone Mendonça Freitas.

The name lavender is used to identify more than thirty species belonging to the Lamiaceae family. Among so many species, two stand out for their wide cultivation. English lavender (*Lavandula angustifolia*) is grown for the essential oils used in perfumery and cosmetics, while French lavender (*Lavandula dentata*) is of interest for medicinal use. Both species are still cultivated on a large scale for ornamental purposes, mainly in countries and regions with well-marked seasons. This work was carried out in three stages. The first stage aimed to evaluate *L. angustifolia* plants under phosphorus fertilization. The plants came from seeds and were grown in pots previously fertilized with phosphorus. Growth data from two harvests were taken, and in the second harvest, analyzes of nutritional contents as well as productivity and quality of essential oil were carried out. It was possible to observe that the phosphorus complementation affected the growth of the plants, as well as the essential oil quality, presenting positive influences in the levels of linalool and linalyl acetate, which are two quality markers. In a second stage, *L. dentata* plants were tested for potassium supply from two sources: potassium chloride and sulfate. The seedlings were obtained using cuttings from adult plants. At the end of the cycle, when the plants were in full bloom, data on biometrics,

nutritional levels and essential oil yield were evaluated. Plants fertilized with KCl showed a higher number of flowers. Among the 14 nutrients evaluated, plants fertilized with KCl showed changes in the levels of 11 elements, while K₂SO₄ influenced the levels of six nutrients. The essential oil yield was higher when K₂SO₄ was applied, the maximum calculated yield (1.44%) being achieved when the maximum estimated dose of 206 mg.dm⁻³ of K is applied in the form of K₂SO₄. In the third stage, the influence of light spectra on the production of *L. dentata* seedlings was evaluated, as well as the influence of these spectra on the initial development of plants, in addition to possible influences on leaf nutritional contents and the amount of leached nutrients. The experiment was divided into two phases, the first phase being the rooting phase of the stem cuttings and the second phase was the growth of the rooted stem cuttings. In the first phase, it was possible to observe that the cuttings rooted under the influence of the T1 spectrum (AP67 Milky, Valoya) were superior to those rooted in other luminous qualities, with no differences in the leaching of nutrients. In the second phase, it was possible to observe that plants grown under the T3 spectrum (AP673L, Valoya) showed better distribution of the canopy and less amount of leached nitrate and potassium, also indicating a greater efficiency in the use of the resources offered.

Keywords: *Lavandula angustifolia*, *Lavandula dentata*, mineral nutrition, light spectrum.

1. INTRODUÇÃO

O gênero *Lavandula* é composto por 39 espécies, ocorrendo naturalmente na bacia do Mar Mediterrâneo, ilhas do Atlântico Norte e regiões da Índia, normalmente em ambientes semiáridos, porém o cultivo destas plantas está difundido nas mais diversas regiões do mundo (Benabdelkader et al., 2011). Ao se tratar de produção em escala comercial, a *Lavandula angustifolia* e a *Lavandula dentata* são as duas espécies de maior expressão em área cultivada. Além do enorme potencial ornamental, o principal valor econômico dos grandes plantios está atrelado ao óleo essencial extraído destas plantas, tanto das inflorescências quanto da parte vegetativa. O destaque dessa produção é ressaltado ao observar sua presença entre os quinze óleos essenciais mais produzidos no mundo (Karapandzova et al., 2012).

O interesse pelo óleo essencial da lavanda na indústria cosmética e de perfumaria é devido à sua agradável fragrância. Tais características odoríferas do óleo extraído são atribuídas à presença de monoterpenos que são sintetizados e acumulados nas partes aéreas das plantas (Hassanpouraghdam et al., 2011). Além do interesse como planta aromática, a lavanda ainda possui princípios bioativos presentes nos extratos, formados por substâncias tanto fixas quanto voláteis, com características medicinais (Skwirzynska et al., 2017).

Estudos revelam cada vez mais que os nutrientes minerais fósforo e potássio afetam o crescimento de plantas medicinais e aromáticas. Tendo como consequência alterações no metabolismo secundário, afetando inclusive o rendimento de óleo essencial, bem como sua qualidade (Venkatesan et al., 2005;

Freitas et al., 2008; Ramenzani et al., 2009; Chrysargyris et al., 2016). A principal causa das alterações provocadas por estes elementos minerais é relacionada com as respostas a nível enzimático, que por sua vez interferem na biossíntese dos terpenos que constituem o óleo essencial (Chrysargyris et al., 2016).

Além do fornecimento de nutrientes minerais, outro fator abiótico que pode influenciar a dinâmica nutricional da planta, bem como o rendimento de óleo essencial, é o fornecimento de luz. Variações na intensidade e na composição do espectro luminoso podem interferir na absorção e no acúmulo de nitrogênio na forma de nitrato, por exemplo, (Nájera e Urrestarazu, 2019). Em algumas plantas da família Lamiaceae a qualidade da luz pode inclusive afetar o rendimento e a composição química dos óleos essenciais produzidos (Lima et al., 2017; Alves et al., 2018).

Com base no exposto, este trabalho foi dividido em dois momentos. No primeiro momento o objetivo foi avaliar espécies de lavanda submetidas a manejos nutricionais. No segundo momento buscou-se observar o enraizamento e o desenvolvimento inicial das plantas de lavanda submetidas a espectros luminosos.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar a produção de *Lavandula angustifolia* e *Lavandula dentata* e teores de óleo essencial em diferentes manejos nutricionais.

2.2. Objetivos específicos

Avaliar a produção de massa vegetativa, número e massa de inflorescências das plantas de *L. angustifolia* sob influência de adubação fosfatada nas condições ambientais do Norte Fluminense.

Avaliar os teores nutricionais das plantas de *L. angustifolia* sob influência da adubação fosfatada.

Avaliar o rendimento dos óleos essenciais extraídos das plantas de *L. angustifolia* sob influência da adubação fosfatada, bem como o perfil químico dos mesmos.

Avaliar o crescimento, produção de massa vegetal e a produção de inflorescências das plantas de *L. dentata* sob influência da adubação potássica fornecida em forma de cloreto e sulfato.

Avaliar os teores nutricionais das plantas de *L. dentata* sob influência da adubação potássica fornecida em forma de cloreto e sulfato.

Avaliar os teores dos óleos essenciais das plantas de *L. dentata* sob influência da adubação potássica fornecida em forma de cloreto e sulfato.

Avaliar o enraizamento de mudas de *L. dentata* sob espectros luminosos em cultivo sem solo.

Avaliar o crescimento inicial das mudas produzidas de *L. dentata* sob espectros luminosos em cultivo sem solo.

Avaliar os nutrientes lixiviados pelas plantas de *L. dentata* sob espectros luminosos em cultivo sem solo.

Avaliar a eficiência do uso dos recursos utilizados pelas plantas de *L. dentata* sob espectros luminosos em cultivo sem solo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. O nome lavanda

Mundialmente a planta de lavanda (*Lavandula* spp.) é conhecida e cultivada como erva aromática e medicinal, tradicionalmente utilizada em tratamentos contra alguns distúrbios nervosos. É muito conhecida pela agradável fragrância obtida principalmente pelas inflorescências (Hajhashemi et al., 2003). Atualmente a produção de lavanda atinge grandes extensões territoriais, o que reflete na produção mundial de óleo, onde este já figura entre os 15 óleos essenciais mais produzidos no mundo (Karapandzova et al., 2012). No Brasil, as exportações de óleo essencial de lavanda atingiram 1185 kg no período de 2012 a 2015, em países como EUA, Cingapura, Holanda e Espanha (AliceWeb2, 2015).

O nome lavanda compreende plantas do gênero *Lavandula*, pertencente à família botânica Lamiaceae, uma das famílias mais exploradas como ervas aromáticas. O gênero *Lavandula* é composto por 39 espécies, ocorrendo naturalmente na bacia do Mar Mediterrâneo, ilhas do Atlântico Norte e regiões da Índia, normalmente em ambientes semiáridos. O cultivo desta planta não está restrito somente nas suas regiões de origem, havendo relatos desta planta em diversas regiões do mundo (Benabdelkader et al., 2011). No Brasil existem relatos de plantas cultivadas no estado de São Paulo (Mantovani et al., 2013), em Santa Catarina (Silveira et al., 2012), Rio Grande do Sul (Cassel et al., 2009), Paraná (Masseto et al 2011) e Minas Gerais (Silva et al., 2017). Foi possível observar também que algumas espécies apresentaram boa adaptação e florescimento na

região norte do estado do Rio de Janeiro, como as espécies *Lavandula stoechas*, *Lavandula multifida*, *Lavandula angustifolia* e *Lavandula dentata* (Figura 1).

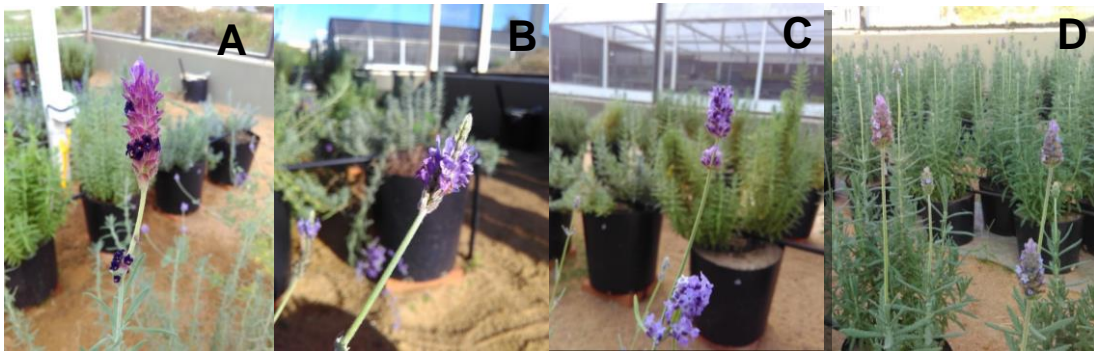


Figura 1: Inflorescências de *Lavandula stoechas* (A), *Lavandula multifida* (B), *Lavandula angustifolia* (C) e *Lavandula dentata* (D) cultivadas na Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil.

As plantas de lavanda possuem consistência herbácea nas folhas, com caule lenhoso, sobretudo na parte basal. De modo geral, possuem porte pequeno, podendo formar densos arbustos. As folhas e as flores são aromáticas. Por se tratar de muitas espécies identificadas pelo mesmo nome comum, algumas diferenças são encontradas na morfologia e composição química das plantas, variando conforme a espécie botânica e o habitat onde se desenvolveu (Lesage-Meesen et al., 2015).

A espécie *Lavandula angustifolia*, popularmente nomeada de lavanda inglesa ou lavanda verdadeira, é considerada a espécie de maior importância econômica dentro do gênero, sendo amplamente cultivada tanto para fins ornamentais quanto para a extração de óleos essenciais (Lesage-Meessen et al., 2015). Esta espécie apresenta ocorrência natural em regiões da Espanha, França e regiões montanhosas da Itália, e comercialmente possui diversas cultivares.

Além da espécie *Lavandula angustifolia*, outras espécies são cultivadas para a extração de óleo essencial, usados principalmente na indústria da perfumaria, cosmética ou em tratamentos fitoterápicos. Ademais da *L. angustifolia*, outra espécie amplamente cultivada é a *Lavandula dentata*, popularmente conhecida como lavanda francesa (Passalacqua et al., 2017).

O interesse pelos óleos essenciais da lavanda na indústria cosmética e de perfumaria é devido à sua agradável fragrância. Tais características odoríferas do óleo extraído são atribuídas à presença de monoterpenos que são sintetizados e acumulados nas partes aéreas das plantas (Hassanpouraghdam et al., 2011). Além do interesse como planta aromática, a lavanda ainda possui princípios bioativos presentes nos extratos, tanto fixos quanto voláteis, com características medicinais (Skwirzynska et al., 2017).

Quando se objetiva o cultivo das plantas de lavanda, deve-se atentar para os diversos fatores que podem influenciar tanto no rendimento do óleo essencial, como em sua composição química. Sabe-se que variações genéticas de espécies de lavanda e de suas variedades comerciais, as diferenças entre estações e a oferta de água e nutrientes são fatores que podem afetar a produção e a composição química do óleo extraído das plantas (Lesage-Meessen et al., 2015).

As variações encontradas nas composições químicas dos óleos essenciais são consideradas de extrema importância na caracterização e destinação do mesmo. O óleo de lavanda de maior valor para a indústria de perfumaria e cosméticos é o que apresenta baixo teor em cânfora, e altos teores de linalol, acetato de linalil, 1,8-cineol e terpinen-4-ol (Figura 2) (Chemat et al., 2006). Os óleos que são ricos em cânfora são preferíveis para a aromaterapia e fitoterapia (Herraiz-Penalver et al., 2012).

A planta de lavanda se desenvolve bem em terrenos de baixa fertilidade, secos, bem drenados, arenosos ou pedregosos, sobretudo a pleno sol (Mishiba et al., 2000). Estudos realizados na Grécia mostram que a orientação sul do terreno, que recebia mais horas de sol por dia, acompanhada de altas temperaturas e baixa precipitação proporcionou o aumento da síntese de óleo essencial de lavanda (Hassiotis, 2010). A planta é considerada rústica, tolerando áreas não irrigadas, e ainda se adapta bem a terrenos inclinados (Erbas et al., 2017). A produção de inflorescências pode atingir entre 750 a 1000 kg.ha⁻¹ de material seco (Erbas e Baydar 2008).

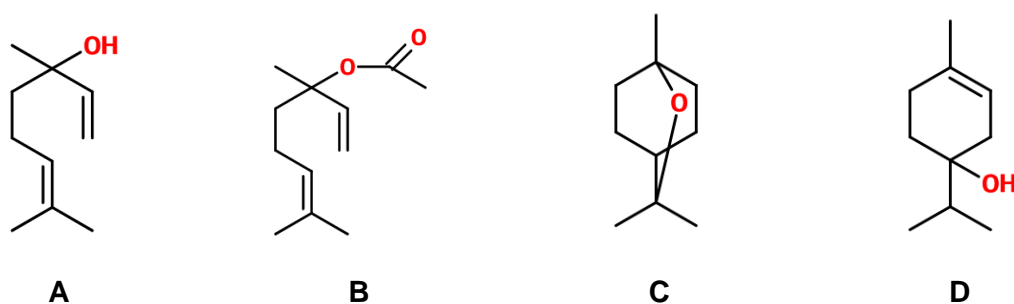


Figura 2: Representação das estruturas do linalol (A), acetato de linalil (B), 1,8-cioneol (C) e terpinen-4-ol (D) presentes nos óleos essenciais de lavanda (Adaptado de Adams, 2007).

As diferenças no rendimento de óleo essencial em diversas partes da planta são amplamente relatadas na literatura. Estudos mostram resultados da extração em todas as partes da planta. As folhas de *Lavandula angustifolia* possuem menor teor de óleo quando comparadas às flores. Já as inflorescências possuem quatro a cinco vezes mais óleo que o encontrado nas folhas (González-Rivera et al., 2016). Nas plantas de *Lavandula dentata*, os maiores teores de óleo essencial foram encontrados nas folhas durante o desenvolvimento floral (Masetto et al., 2011). Entretanto, assim como observado em *L. angustifolia*, os maiores teores de óleos de *L. dentata* também são encontrados nas inflorescências. O desenvolvimento dos tecidos florais influencia o acúmulo e o teor de óleo essencial nas diferentes espécies de lavanda, atribuindo peculiaridades à cada espécie. Nas inflorescências de *L. angustifolia* o teor de óleo essencial é maior antes e durante a antese, enquanto que em *L. dentata* o maior teor é encontrado na fase de botão (Masetto et al., 2011).

3.2. O metabolismo vegetal

As plantas produzem uma enorme gama de compostos químicos oriundos de suas atividades metabólicas. A nível classificatório, o metabolismo vegetal é subdividido em dois grandes grupos: metabolismo primário e metabolismo secundário. O metabolismo primário é onipresente nos vegetais, e os compostos resultantes do metabolismo primário são essenciais para que a planta se

desenvolva e cumpra seu ciclo vital. A fotossíntese, por exemplo, é considerada uma rota de metabolismo primário, a qual origina compostos que serão empregados no metabolismo secundário (Wu e Chappell, 2008).

Diferentemente, o metabolismo secundário é definido como as rotas metabólicas que se utilizam dos produtos do metabolismo primário para a formação de moléculas específicas produzidas por grupos de vegetais. Os produtos resultantes do metabolismo secundário estão muito mais ligados à interação do meio em que a planta se desenvolve do que ao seu ciclo de vida. Existem relatos de metabólitos envolvidos na proteção contra ataques de animais e insetos e até em competição com outras plantas. Além de relatos de metabólitos que funcionam como sinalizadores para microrganismos simbióticos, polinizadores e animais dispersores de sementes (Harbone, 1999).

Essa divisão, em metabolismo primário e secundário, deve ser analisada somente para fins classificatórios e didáticos. O metabolismo, tanto o secundário quanto o primário, deve ser considerado como um todo. Tal nomenclatura de metabolismo secundário advém deste utilizar produtos oriundos do metabolismo primário. Desta maneira, de forma alguma se deve entender que o metabolismo secundário seja refugio de moléculas. Na verdade, o metabolismo secundário deve ser considerado como uma especialização de cada vegetal às suas condições (Castro et al., 2004).

Assim, conforme a planta interage com o ambiente, alimentando todo o seu metabolismo, é esperado que o vegetal exiba perfis diferentes quanto à produção e ao acúmulo de metabólitos secundários. Isto acarreta variações nos órgãos da mesma planta, durante a fase de desenvolvimento do vegetal, bem como entre diferentes populações (Osbourn et al., 2003). Toda essa variabilidade faz com que muitas plantas sejam estudadas com a ideia de se estabelecer as condições ideais de cultivo para que haja a garantia da produção de determinadas substâncias do metabolismo secundário de interesse específico (Yang et al., 2018).

Todos os fatores que possam afetar o metabolismo primário, por consequência podem afetar o metabolismo secundário. Alguns autores classificam tais fatores como sendo fisiológicos (que alteram durante o desenvolvimento da planta), fatores genéticos (onde variedades melhoradas expressam diferenças de metabolismo da planta que deu origem) e fatores

ecológicos, que compreendem os fatores relacionados ao meio e aos aspectos fitossanitários (Castro et al., 2004). Contudo, alguns autores não classificam de tal forma, afirmando que o processo metabólico é mais holístico, onde todos os fatores podem afetar todo o metabolismo, sendo a divisão mais abrangente, entre fatores bióticos (relativos à planta) e fatores abióticos (relativos ao meio) (Figura 3). Desta forma, nutrientes minerais e a qualidade da luz fornecida podem ser considerados fatores abióticos, passíveis de controle e manejo em algumas situações.

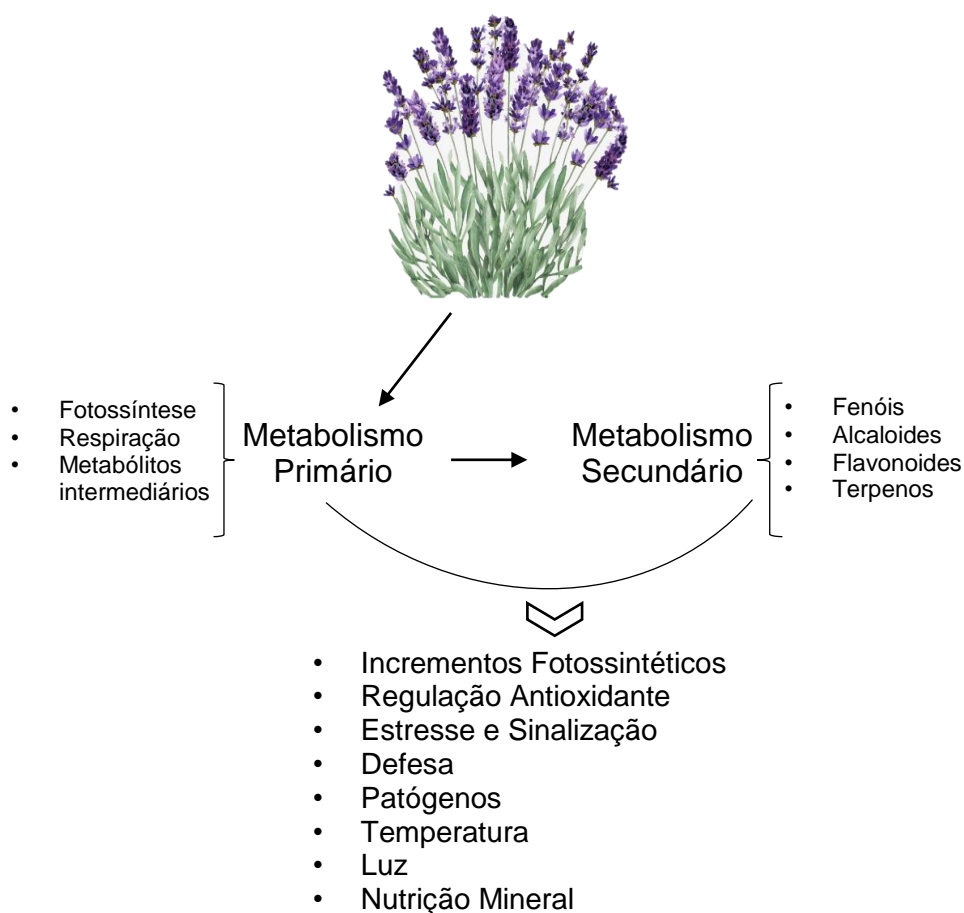


Figura 3: Fatores bióticos e abióticos que podem estar envolvidos na alteração do metabolismo vegetal (Adaptado de Isah, 2019).

3.3. Nutrientes minerais no metabolismo vegetal

Assim como se observam variações na produção dos princípios ativos em extratos vegetais em virtude de condições climáticas, a biossíntese destes metabólitos em plantas medicinais e aromáticas pode ser afetada positiva ou negativamente pela forma, tipo e pela concentração do fertilizante aplicado (Yadegari, 2015). Estas alterações provocadas no metabolismo secundário das plantas pelos nutrientes minerais podem ser definidas como um “coquetel-resposta” das plantas conforme elas ajustam seu metabolismo à demanda e ao fornecimento de nutrientes, sendo alvo de inúmeros estudos com as mais diversas plantas. Os nutrientes mais frequentes nos estudos são os macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio (Amtmann e Armengaud, 2009; Hassan, 2012; Wierdak, 2013).

O nitrogênio é um elemento essencial utilizado para a síntese de ácidos nucleicos, proteínas e muitos metabólitos secundários. Na formação de moléculas o nitrogênio é o responsável pelo fornecimento do grupamento amino. Além do seu papel estrutural, o acúmulo de nitrogênio na forma de nitrato nos vacúolos auxilia ainda na manutenção do turgor das células (Maathuis, 2009). As principais formas de absorção do nitrogênio pelas plantas são nas formas de nitrato ou amônio. Na falta do nitrogênio ocorre a queda da produção dos metabólitos primários (ácidos nucleicos e proteínas), desencadeando aumento na produção de amido, de alguns flavonoides e fenilpropanoides (Amtmann e Armengaud, 2009).

Muitas das alterações metabólicas provocadas pelo fornecimento de nitrogênio são justificadas pelo balanço carbono e nitrogênio (C:N) do vegetal. Esta ideia preconiza que a planta primeiramente irá empregar os compostos nitrogenados para suprir produtos do metabolismo primário, para só então direcionar nitrogênio aos compostos oriundos do metabolismo secundário. Desta forma, caso falem esqueletos de carbono para a síntese proteica, a planta pode direcionar o nitrogênio em excesso para a formação de compostos fenólicos, por exemplo. O contrário também pode ocorrer, havendo excesso de nitrogênio, este elemento pode ser realocado para compostos que possuem bases nitrogenadas, como os alcaloides, por exemplo (Hassan, 2012).

O fósforo é um elemento mineral essencial também e é muito estudado nos ensaios envolvendo os metabólitos secundários. Este é considerado um

elemento estrutural, presente nos ácidos nucleicos e nos fosfolipídios de membrana (Hawkesford et al., 2012). Ainda é considerado como um elemento chave na biossíntese dos compostos de forma não estrutural, onde participa como ativador enzimático e armazena energia de forma reversível para os processos celulares via ATP (Amtmann e Armengaud, 2009).

A importância da complementação fosfatada em plantas aromáticas e medicinais é ressaltada, sobretudo quando o interesse é voltado para a síntese de linalol e seus derivados, uma vez que é conhecida a importância do fósforo por estar diretamente presente nesta rota metabólica (Ramenzani et al., 2009). Quando ocorre a deficiência deste elemento, são relatadas alterações, sobretudo nos metabólitos originados da rota do chiquimato, como os flavonoides e moléculas aromáticas, por exemplo, enquanto que os derivados do mevalonato, como os alcaloides e terpenos, não mostraram uma correlação bem definida (Gobbo-Neto e Lopes, 2007).

O potássio é um macronutriente essencial, porém não possui função estrutural no vegetal, sendo a essencialidade atribuída a sua importância como ativador de mais de 40 enzimas, participante ativo no transporte de carboidratos pela planta, além de ser responsável pela regulação hídrica celular por meio do controle estomático (Hawkesford et al., 2012). Assim, este elemento assume papel de destaque quando se observa as otimizações metabólicas desencadeadas pelo seu fornecimento, como por exemplo, em plantas de lavanda nutridas com potássio que exibiram maior taxa fotossintética e menor taxa de transpiração (Camen et al. 2016).

Quando ocorre a falta de potássio, ou o fornecimento deste elemento é insuficiente, as plantas tendem a acumular os aminoácidos que seriam transportados para outras regiões do vegetal, acarretando o aumento na produção de proteínas e prejudicando a síntese de compostos em outros órgãos vegetais (Maathuis, 2009). O potássio ainda pode mitigar alguns efeitos deletérios do ambiente ao minimizar prejuízos fisiológicos ocasionados por metais pesados, como o cádmio (Ahmad et al., 2016).

O cultivo da lavanda era tido no passado como atividade sem grande importância econômica, restrita a pequenos agricultores e sem qualquer programação e informação sobre manejo agrícola. Hoje em dia essas plantas aromáticas são cultivadas de forma extensiva, e o aumento da demanda de

produção comercial de lavanda, faz com que a adequação de práticas de cultivo, como a adubação, seja cada vez mais necessária (Chrysargyris et al., 2016). Em clima tropical, sobretudo no Brasil, raros são os trabalhos científicos que avaliam a resposta de plantas de lavanda quanto ao fornecimento de fertilizantes minerais. Porém, são notórios que os efeitos da complementação nutricional da planta são reflexos positivos, podendo aumentar a produção de flores e influenciar positivamente a produção final de óleos essenciais extraído em plantas produzidas no Brasil (Silva et al., 2017).

3.4. A luz como um fator de produção

A luz é uma fonte primária de energia para todas as plantas. É um fator abiótico que influencia em todo o ciclo de vida do vegetal. A luminosidade altera o crescimento e a morfologia, bem como afeta diretamente o metabolismo secundário (Idris et al., 2018). A fonte natural de luz é o sol, que emite luz composta por uma gama de espectros. No entanto, somente os espectros entre o roxo e o vermelho, que exibem comprimentos de onda entre 400 e 750 nm, são visíveis ao olho (Taiz et al., 2017). Esta faixa de espectro visível é chamada de PAR (Radiação Fotossinteticamente Ativa), pois é considerada a faixa de espectros que a planta utiliza durante o processo de fotossíntese (Figura 4). Em contrapartida, o crescimento e desenvolvimento do vegetal podem ainda ser influenciados por outros comprimentos de onda fora do PAR. Entre eles, os comprimentos abaixo de 400 nm, também chamados de ultravioleta (UV) e comprimentos acima dos 700 nm, conhecidos como infravermelho (IR). A junção dos espectros UV e IR com os espectros pertencentes ao PAR são os chamados BAR (Radiação de Atividade Biológica). Desta forma, todo o espectro que compreende a luz pode influenciar, de alguma forma, o crescimento das plantas (Spalhoz et al., 2020).

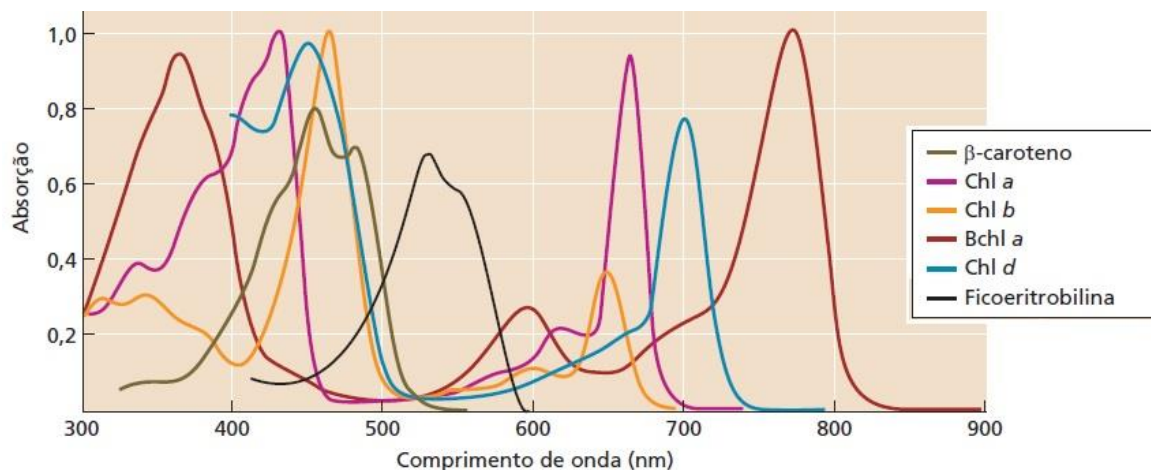


Figura 4: Atividade dos pigmentos vegetais frente aos comprimentos de onda (Taiz et al., 2017).

O emprego de iluminação artificial de forma a substituir ou a complementar a iluminação natural é uma realidade nos cultivos comerciais, sobretudo em ambientes onde a iluminação natural não permite produção durante todo o ano (Bantis e Radoglou, 2019). Com esta finalidade, as lâmpadas de alta pressão de sódio (HPS) eram amplamente empregadas na agricultura. As lâmpadas HPS vem sendo gradativamente substituídas pelas lâmpadas de LED (Light-Emitting Diode – Diodos Emissores de Luz). As lâmpadas de LED empregadas apresentam vantagens como a maior eficiência energética, menor emissão de calor, além da possibilidade de eleger espectros específicos monocromáticos ou combinados para cada tipo de cultivo. O fornecimento artificial de luz permite ainda a verticalização dos cultivos, seja na fase de produção de mudas ou na fase final de cultivo, o que caracteriza as grandes fazendas verticais (Bures et al., 2018).

Da mesma forma que se busca a otimização de recursos oferecidos durante a produção de um vegetal, como acontece com o ajuste de água na irrigação e de nutriente durante o processo de fertilização, quando se trabalha fornecendo luz artificial, esta deve ser estudada e otimizada, a fim de se estabelecer uma eficiência energética, em termos de produtividade, a um nível satisfatório (Urrestarazu et al., 2016). Ao buscar este refino na eficiência deste meio produtivo, estudos que visam entender a influência das luzes e de distintos

espectros luminosos em cada fase da planta vêm sendo conduzido a fim de elucidar e otimizar todo o processo (Idris et al., 2018; Nájera e Urrestarazu, 2019).

A utilização da iluminação artificial é uma alternativa interessante para a produção de mudas e para o desenvolvimento inicial das plantas cultivadas em vaso, já que inúmeros métodos de controle ambiental são testados para estas condições iniciais das plantas como o controle da umidade do ar, déficit de irrigação, fornecimento de nutrientes, inoculação com fungos micorrízicos, enriquecimento com CO₂ e iluminação (Franco et al., 2006). A adequação do fornecimento de luz no desenvolvimento inicial das plantas pode interferir no alongamento e ramificação das raízes (Gelderen et al., 2018). Além dos espectros luminosos afetarem o desenvolvimento inicial das plantas (Bantis e Radoglou 2019), pode afetar ainda a síntese de compostos químicos (Manivannan et al., 2015; Ascrizzi et al., 2018), bem como auxiliar na produção de mudas mais compactas e de maior massa vegetal (Rezai et al., 2018).

O fornecimento de luz artificial por meio de espectros luminosos distintos pode ainda interferir na alocação de nutrientes em uma planta, devido às alterações provocadas no acúmulo de matéria seca (Demotes-Mainard et al., 2016). Isto exige adequações ao manejo nutricional conforme a intensidade e o espectro em questão. Além do crescimento e desenvolvimento das plantas, a exposição a certos espectros luminosos pode resultar em mudas com maior resistência ao estresse salino depois de transplantadas (Hamidi-Moghaddam et al., 2018).

4. TRABALHOS

FERTILIZAÇÃO FOSFATADA NO CRESCIMENTO, RENDIMENTO E QUALIDADE DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE LAVANDA INGLESA PRODUZIDA EM CLIMA TROPICAL

RESUMO

O termo lavanda é utilizado para denominar diversas espécies, sendo a espécie *Lavandula angustifolia* a mais cultivada e comercializada no mundo. Essas espécies são usadas na indústria da perfumaria, mas também possuem propriedades medicinais. As moléculas que conferem características odoríferas e propriedades bioativas a essas plantas são oriundas do metabolismo secundário. Tanto sua concentração quanto sua composição podem ser afetadas por diversos fatores, dentre os quais está o fornecimento de nutrientes minerais. O fósforo é um nutriente mineral essencial às plantas, existindo relatos da relação do seu fornecimento às alterações no metabolismo secundário. A proposta deste estudo foi avaliar a adaptabilidade das plantas e a complementação mineral de fósforo na produção e a qualidade de óleos essenciais de lavanda em clima tropical, no norte do estado do Rio de Janeiro, Brasil. As sementes foram germinadas e plantadas em vasos de 20L previamente adubados com cinco doses de fósforo (0,

30, 60, 90 e 120 mg.dm⁻³). Foram avaliados dois cortes, entre 2018 e 2019. Plantas de *Lavandula angustifolia* apresentaram boa adaptabilidade para o clima tropical, sendo os maiores resultados de crescimento obtidos no segundo corte. No segundo corte também foram avaliados a quantidade e qualidade dos óleos essenciais. Todas as características avaliadas no segundo corte apresentaram influência da adubação fosfatada. Os teores nutricionais permitiram estabelecer a ordem de acúmulo de K > N > Ca > Mg > P > S para os macronutrientes e Fe > Mn > Zn > B > Cu > Ni > Mo para os micronutrientes. As equações, significativas, obtidas permitiram o cálculo da dose de 77 mg.dm⁻³ de P para a máxima produção de óleos essenciais, com características adequadas quanto ao perfil químico.

Termos de indexação: *Lavandula angustifolia*, nutrição mineral, teores nutricionais, composição química do óleo essencial.

TRUE LAVENDER ON TROPICS: PHOSPHORUS FERTILIZER ON GROWTH, ESSENTIAL OIL YIELD AND QUALITY

ABSTRACT

The word lavender is used to several species, being the *Lavandula angustifolia* the most cultivated and commercialized specie in the world. This specie is used in perfumery industry, but also presents medicinal properties. The molecules that confer odoriferous characteristics and bioactive properties to these plants are derived from secondary metabolism. The production of these metabolites can be affected by several factors, among which is the supply of mineral nutrients. Phosphorus is an essential mineral nutrient for plants, and there are reports of the relationship of its supply may changes in secondary metabolism. The proposal of this study was to evaluate the adaptability of plants and the mineral complementation of phosphorus in the production and quality of essential oils of lavender in tropical climate, in the north of the state of Rio de Janeiro, Brazil. The

seeds were germinated and planted in 20L pots previously fertilized with five levels of phosphorus (0, 30, 60, 90 and 120 mg.dm⁻³). Two harvests were evaluated, between 2018 and 2019. *Lavandula angustifolia* plants showed adaptability to tropical climate, being the best growth results obtained in the second harvest. In the second harvest the yield and quality of essential oils were also evaluated. All the characteristics evaluated in the second harvest showed influence of phosphate fertilization. The nutritional levels allowed to establish the order of accumulation of K > N > Ca > Mg > P > S for macronutrients and Fe > Mn > Zn > B > Cu > Ni > Mo for micronutrients. The significant equations obtained allowed the calculation of the dose of 77 mg.dm⁻³ of P for maximum production of essential oils, with adequate characteristics as for the chemical profile.

Keywords: *Lavandula angustifolia*, mineral nutrition, nutrients levels, essential oil compounds, fertilization.

INTRODUÇÃO

O gênero *Lavandula* pertence à família Lamiaceae e é composto por mais de trinta espécies, tendo ocorrência natural na bacia do Mar Mediterrâneo, ilhas do Atlântico Norte, península Árabe e regiões da Índia (Benabdelkader et al., 2011; Tuttolomondo et al., 2015; Kivrak, 2018;). A espécie de maior interesse econômico é a *Lavandula angustifolia* (sinonímia botânica *L. vera* ou *L. officinalis*), popularmente conhecida como lavanda verdadeira ou lavanda inglesa. Esta planta forma pequenos arbustos perenes e os óleos essenciais (OE) extraídos de seu cultivo estão entre os quinze mais comercializados no mundo (Karapandzova et al., 2012; Pistelli et al., 2017). Os maiores produtores de OE de lavanda são a Bulgária, França e China, destaca-se ainda a importância deste cultivo em países do mediterrâneo, sobretudo Itália, Grécia, Espanha e Turquia (Giannoulis et al., 2020; Giray, 2018; Pistelli et al., 2017). Além do interesse econômico do OE, a lavanda possui importante papel para o desenvolvimento social e do ecossistema, podendo ser utilizada na produção de mel e como contenção de encostas (Giray,

2018; Zheljaskov et al., 2011). Apesar da sua plasticidade, são poucos os estudos dessa planta em ambientes tropicais.

O principal valor econômico dos OE extraído está na indústria cosmética, devido a agradável fragrância dos compostos presentes. Estes compostos são sintetizados e acumulados na parte aérea das plantas, sobretudo nas inflorescências (Hassanpouraghdam et al., 2011). A extração de OE de lavanda visa ainda a indústria farmacêutica, devido às atividades biológicas relatadas, como atividade anti-inflamatória (Hajhashemi et al., 2003), antibacteriana (Silveira et al., 2012), efeitos sedativos, analgésicos, antidepressivos (Prusinowska e Śmigielski, 2014), antioxidante, antiepilético (Oskouie et al., 2018), além de efeitos neuroprotetores contra Alzheimer (Vakili et al., 2014).

Diversos fatores afetam tanto a produção de massa vegetal das plantas de lavanda, bem como afetam a produção de OE e seus constituintes. Dentre os quais, fatores genéticos, ambientais e a forma como o cultivo é conduzido são capazes de influenciar a composição química do OE de lavanda (Hassiotis et al., 2014; Pistelli et al., 2017). O manejo nutricional das plantas é um destes fatores, afetando tanto a produção quanto a composição química dos OE, sendo possível adequar seu manejo (Yadegari, 2015).

As plantas de lavanda são rústicas, crescem em ambientes inóspitos à muitas outras plantas, demonstrando que seus requerimentos nutricionais não são excessivos. Entretanto, para uma produção satisfatória de massa vegetal e OE, um dos tratos culturais de maior importância é o manejo nutricional adequado (Komnenić et al., 2020). Em algumas Lamiaceae a complementação fosfatada auxilia no aumento da taxa de fixação de carbono, no uso eficiente da água e melhoram o desempenho ecofisiológico, refletindo em produtividade e alterações dos perfis químicos (Chrysargyris et al., 2019; RuizNavarro et al., 2019). Por mais que existam relatos científicos sobre a planta e suas propriedades químicas, ainda são escassos trabalhos que busquem relacionar o manejo nutricional com a produção da planta e de seus metabólitos (Komnenić et al., 2020).

Um dos grandes problemas em solos tropicais é a limitação do fósforo como nutriente mineral para o adequado crescimento e desenvolvimento das plantas, mesmo considerando a heterogeneidade encontrada nesses ambientes (Camenzind et al., 2018). Vários são os fatores que culminam nesta limitação do fósforo. Uma das causas mais citadas é a adsorção dos grupamentos fosfatos às

cargas positivas dos solos intemperizados. Devido à grande complexidade das reações do fósforo em solos tropicais, uma gama de estudos que visam minimizar o problema e otimizar a complementação fosfatada são realizados nas mais diversas frentes de pesquisas (Souza Junior et al., 2012; Neto et al., 2016; Garland et al., 2018).

Desta forma, este estudo teve por objetivo avaliar o crescimento, o rendimento e a composição química dos óleos essenciais extraídos de plantas de *L. angustifolia* em resposta a doses de fósforo.

MATERIAL E MÉTODOS

Material vegetal e condições de cultivo

O ensaio foi realizado na Unidade de Apoio à Pesquisa, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, na cidade de Campos dos Goytacazes (21°45'S e 41°17'W, 11 metros de altitude), no período de abril de 2018 a julho de 2019. Todo o cultivo foi realizado em casa de vegetação coberta com filme plástico (150 microns, difusor de luz e com proteção UV, Ginestar, São Paulo, Brasil) não climatizada. Sementes de lavanda (*Lavandula angustifolia*) foram adquiridas da empresa Isla Sementes LTDA (Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil). As sementes foram imersas em solução de giberelina GA3 (Brasil, 2009) antes de serem postas para germinar em espuma fenólica. Após a germinação, as plântulas foram transferidas para recipientes plásticos de 50 mL contendo substrato comercial (Basaplant Hortaliças, Base Soluções Agrícolas, Artur Nogueira, São Paulo, Brasil). A montagem do experimento ocorreu quando as mudas apresentavam 10 cm de altura. As mudas foram transplantadas para vasos plásticos de 20L (aproximadamente 35 cm de diâmetro e 30 cm de altura) preenchidos com solo com as seguintes características químicas e físicas: pH (H₂O): 6,4; P: 10 mg.dm⁻³; K: 48 mg.dm⁻³; Fe 31 mg.dm⁻³; Cu: 0,6 mg.dm⁻³; Zn: 3,4 mg.dm⁻³; Mn: 20,4 mg.dm⁻³; Ca: 1,8 cmol_c.dm⁻³; Mg: 0,8 cmol_c.dm⁻³; Al: 0 cmol_c.dm⁻³; H+Al: 0,9 cmol_c.dm⁻³; Na: 0,09 cmol_c.dm⁻³; carbono orgânico: 0,73%; matéria orgânica: 12,6 g.dm⁻³; areia: 866 g.kg⁻¹; silte: 62 g.kg⁻¹ e argila: 72 g.kg⁻¹.

Os tratamentos foram aplicados antes do transplante das mudas. Cinco doses de fósforo (P) foram aplicadas: 0, 30, 60, 90 e 120 mg de P por dm^3 de solo. Os vasos foram arranjados em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. Cada unidade experimental foi composta por dois vasos de 20L, com duas plantas em cada vaso. As fontes de P utilizadas foram KH_2PO_4 e NaH_2PO_4 . O teor de potássio (K) no solo foi elevado para $120 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, utilizando KCl quando necessário. Para a complementação de nitrogênio (N), nitrato de amônio, NH_4NO_3 , foi aplicado, dividido em três aplicações, até o total de $50 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (Biesiada et al., 2008). Para a determinação do volume de água a ser aplicada calculou-se a ETo com base na equação de Hargreaves e Samani (1985), que leva em consideração a variação de temperatura, e utilizou-se o Kc conforme boletim nº 56 da FAO para ervas perenes (Allen et al., 1998). O volume de água determinado foi aplicado em sistema automatizado por fitas gotejadoras. A temperatura foi registrada utilizando um Hobo data logger (U23-001 Hobo Pro v2, temp/rh, Onset, Bourne, MA, USA) e as médias apresentadas na Figura 1.

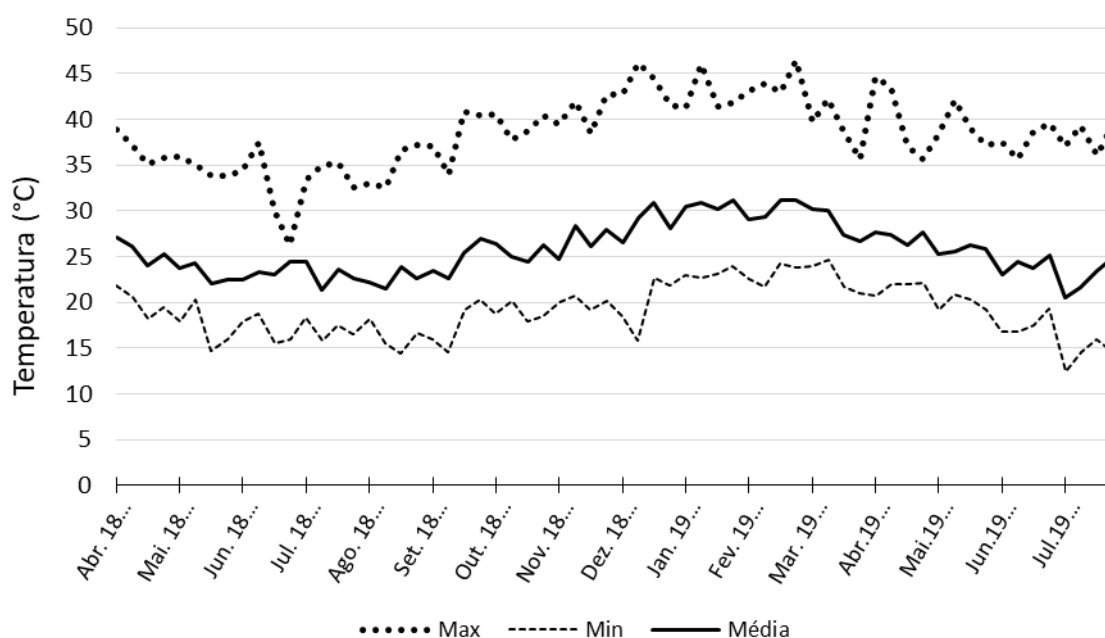


Figura 1: Temperaturas máxima, mínima e média registradas (U23-001 Hobo Pro v2), durante os ciclos avaliados de 2018 e 2019. Unidade de apoio à pesquisa, UENF - Campos dos Goytacazes - RJ, Brasil.

Colheita do material e preparo das amostras.

A primeira colheita aconteceu em dezembro de 2018 quando aproximadamente 50% das plantas estavam em florescimento pleno (Geisel et al., 2004), ao final do dia (Hassiotis et al., 2014). O corte das plantas foi realizado a uma altura de 10 cm acima do solo. As plantas foram mantidas com a mesma adubação fosfatada inicial para mais um ciclo de florescimento. Uma nova complementação de N foi realizada (50 mg.dm⁻³ utilizando como fonte NH₄NO₃ e dividido em três aplicações) e o K foi complementado (120 mg.dm⁻³ utilizando como fonte o KCl, dividido em três aplicações). A segunda colheita ocorreu em julho de 2019, seguindo os mesmos parâmetros mencionados anteriormente. As avaliações morfológicas foram realizadas em ambos cortes. Devido ao volume de material, as demais análises foram realizadas no segundo corte.

Medidas morfológicas

A massa fresca de todo o material foi determinada logo após os cortes, bem como a contagem do número de inflorescências. O material fresco foi acondicionado em sacos de papel e secos em estufa com circulação forçada de ar a 40°C (Q314M, Quimis, Diadema, SP, Brasil) até massa constante, e determinadas as massas secas das inflorescências e das partes vegetativas das plantas.

Determinação dos nutrientes minerais

O material seco da parte aérea foi moído utilizando micro moinho científico do tipo Willey (MA048, Marconi, Piracicaba, SP, Brasil). Os teores de nitrogênio (N) foram determinados após digestão do material em H₂SO₄. Foi utilizado o método colorimétrico Nessler por espectrofotometria (Specord 210, Analytik Jena, Jena, Alemanha). Os teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn), molibdênio (Mo),

níquel (Ni) e zinco (Zn) foram determinados após digestão do material seco em HNO_3 por meio espectrômetro de emissão atômica (ICPE-9000, Shimadzu, Kyoto, Japão). As configurações do gás argônio utilizado foram gás do plasma $8,0 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$, gás auxiliar $0,70 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ e gás carreador $0,55 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$.

Extração e caracterização química do óleo essencial

Os óleos essenciais (OE) foram extraídos das inflorescências. A extração ocorreu via hidrodestilação das flores secas em um extrator tipo Clevenger, com frascos de dois litros, por um período de duas horas (Chrysargyris et al., 2016). Os teores dos OE foram expressos em porcentagem, m/m, (Sriwichai et al., 2019). Os OE extraídos permaneceram à temperatura de -4°C , em frascos de vidro, selados, ao abrigo de luz, até que as análises químicas foram procedidas.

Amostras de OE ($1\mu\text{L}$ na diluição de 1% m/v em diclorometano) foram injetadas em aparelho de cromatografia em fase gasosa com espectro de massas acoplado, GC-MS (GCMS-QP2010 Ultra, Shimadzu, Kyoto, Japão) com capilar de fused-silica Ultra Alloy 5 (30 m x 0.25 mm; 0.25 μm film thicknesses). A temperatura foi programada para segurar por 2 min a 40°C , então, para 240°C a $3^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$, onde essa temperatura foi mantida por 5 min, totalizando 73,67 min de corrida. Outras características operacionais: hélio como gás carreador ($1,8 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$; $48,4 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$); a temperatura do injetor e do detector era de 220°C ; a temperatura da fonte de íons era de 240°C ; a pressão da coluna era de 101,1 KPa; a razão de split era de 1:10; e o fluxo de purga foi de $3 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$. O espectro de massa foi obtido por meio do impacto dos elétrons, 70 eV, modo scan, entre 35 a 400 Dalton. Uma solução standard de $\text{C}_8\text{-C}_{26}$ n-alcenos (Sigma-Aldrich) foi usada para o cálculo do índice de retenção (RI). Os espectros de massas e os índices de retenção dos componentes do EO foram identificados com base na biblioteca NIST11, NIST11s e WILEY, utilizando o software LAB Solutions GCMSTM e dados de literatura (Adams, 2007).

Análises estatísticas

Todos os dados morfológicos e dos componentes químicos do óleo essencial foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA). A comparação das médias foi realizada utilizando teste de regressão com o software SigmaPlot 12.0 software (Systat Software GmbH, Erkrath, Alemanha).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Crescimento e desenvolvimento

As características biométricas avaliadas foram distintas para cada ciclo de produção da lavanda. No primeiro ciclo produtivo não foi possível observar nenhuma diferença dentre os parâmetros morfológicos avaliados. Neste ciclo, o número médio de inflorescências foi aproximadamente 9; independente do tratamento aplicado, com aproximadamente 2 g de massa seca. A parte vegetativa avaliada, compreendendo folhas e ramos, não apresentou diferença significativa, com valores médios gerais de 49,47 g de massa fresca e 18,31 g de massa seca por planta (Tabela 1). Normalmente, devido à sua natureza de planta perene, o potencial produtivo da lavanda pode ser avaliado a partir do segundo corte (Giannoulis et al., 2020).

As doses de fósforo aplicadas afetaram a biometria da planta no segundo corte, mostrando incrementos dos parâmetros avaliados. Para todas as avaliações foi possível observar regressões quadráticas significativas (Figura 2). As variações observadas neste estudo vão de encontro às observadas no híbrido de lavanda, o lavandin (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel. var. Super) (Erbas et al., 2017). O bom desenvolvimento das plantas de lavanda está associado a valores de pH entre 6.5 a 7.5 (Crummitt and Drost, 2020), porém resultados positivos de cultivo na mesma faixa de pH do presente estudo são relatados por Najjar et al. (2019).

Tabela 1: Número de inflorescências, massa seca das inflorescências, massa fresca e seca das plantas, em gramas, das plantas de *L. angustifolia* cultivadas sob doses de fósforo, em clima tropical, durante o ciclo de 2018. Campos dos Goytacazes - RJ, Brasil

Doses de P	Número de inflorescências	Massa seca das inflorescências	Massa fresca das plantas	Massa seca das plantas
mg.dm ⁻³			g	
0	6,50 ± 4,48ns	1,71 ± 1,19ns	50,51 ± 4,44ns	18,31 ± 1,62ns
30	9,25 ± 5,55ns	2,08 ± 1,41ns	49,07 ± 4,31ns	17,82 ± 1,58ns
60	9,31 ± 5,58ns	1,96 ± 1,33ns	50,10 ± 4,41ns	18,35 ± 1,63ns
90	7,91 ± 4,74ns	1,71 ± 1,16ns	50,35 ± 4,43ns	18,33 ± 1,63ns
120	10,11 ± 6,06ns	2,11 ± 1,43ns	47,38 ± 4,16ns	18,75 ± 1,67ns

Médias seguidas por 'ns' significa não significativo no teste de ANOVA.

Com base nas regressões analisadas (Figura 2), é possível estimar a dose para a máxima produção de número de inflorescências em 61,7 mg.dm⁻³ de P (Figura 2A); já a máxima produção de massa seca de inflorescências é estimada com a dose de 69,4 mg.dm⁻³ (Figura 2B). As máximas produtividades da parte vegetativa podem ser estimadas com a dose de 69,0 mg.dm⁻³ de P para a máxima produção de massa fresca das plantas (Figura 2C) e a produção máxima de massa seca das plantas com a dose 65,2 mg.dm⁻³ (Figura 2D). Assim, pode-se estimar uma faixa entre 61 e 69 mg.dm⁻³ de P para a máxima produção de material vegetal. Ao se trabalhar com lavandin, os melhores resultados de produção de material vegetal foram obtidos quando se aplicaram 50 mg.dm⁻³ de P (Erbas et al., 2017), enquanto 75 mg.dm⁻³ de P resultaram nos melhores resultados para lavanda em solo (Mirrabi et al., 2014) e 50 mg.dm⁻³ para lavanda em solução nutritiva (Chrysarguris et al., 2016). Tais variações evidenciam a importância de otimizar a complementação nutricional para cada caso, destacando a importância da complementação fosfatada como um componente chave no processo de florescimento da lavanda (Mirrabi et al., 2014).

Tradicionalmente a lavanda é produzida em ambientes com estações bem definidas, sendo o inverno marcado por temperaturas baixas (Crummit e Drost, 2012). Porém, os valores encontrados neste estudo, em clima tropical, se assemelham aos encontrados em estudos realizados em zonas produtoras de

lavanda, como Polônia (Biesiada et al., 2008) e regiões da bacia do Mediterrâneo (Chrysargyris et al., 2016, Najjar et al., 2019).

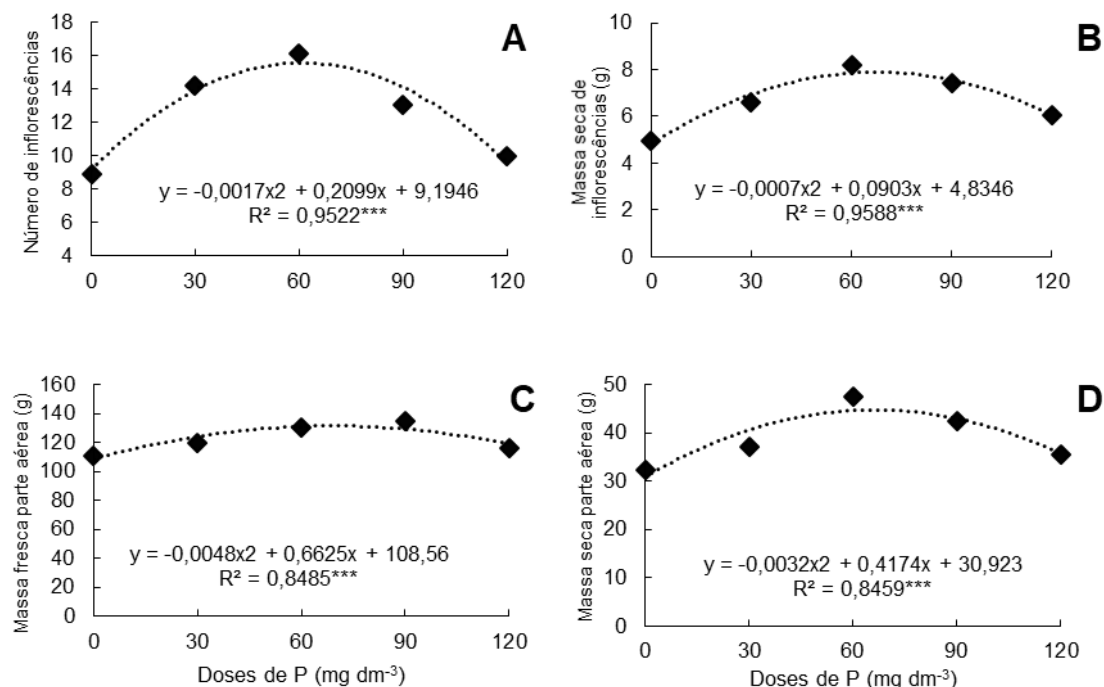


Figura 2: Número de inflorescências (A), massa seca de inflorescência (B), massa fresca das plantas (C) e massa seca das plantas (D) de *L. angustifolia* cultivadas sob doses de fósforo, em clima tropical, durante o ciclo de 2019. Campos dos Goytacazes - RJ, Brasil. Significância estatística: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ e *** $p < 0.001$ no teste de regressão.

Nutrientes Minerais

Ao analisar os valores obtidos dos teores de macronutrientes, os resultados demonstram a influência das doses de P nos teores nutricionais da parte aérea. Dentre todos os macronutrientes analisados o único que não apresentou diferença significativa foi o potássio, apresentando média geral de 28,6 g.kg⁻¹ (Tabela 2). Alguns autores sugerem que exista uma relação entre a absorção de fósforo e potássio (Chrysargyris et al., 2016), porém não foi possível observar tal relação. Os teores de K ficaram próximos a valores de 26,5 g.kg⁻¹ e 29,0 g.kg⁻¹ relatados para a lavanda (Fascella et al., 2020; Golubkina et al., 2020). Todos os demais macronutrientes apresentaram diferenças nas médias e ajuste na análise de regressão em função das doses de fósforo aplicadas (Figura 3).

Tabela 2: Teores de potássio, manganês, molibdênio e zinco em plantas de *L. angustifolia* cultivadas sob doses de fósforo, em clima tropical, durante o ciclo de 2019. Campos dos Goytacazes - RJ, Brasil

Doses de P	Potássio	Manganês	Molibdênio	Zinco
mg dm ⁻³	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹		
0	29,13 ± 1,78ns	170,3 ± 21,8ns	0,054 ± 0,017ns	45,4 ± 4,7ns
30	28,34 ± 1,73ns	176,0 ± 22,5ns	0,061 ± 0,019ns	49,5 ± 5,1ns
60	29,14 ± 1,78ns	156,8 ± 20,1ns	0,074 ± 0,023ns	47,2 ± 4,9ns
90	28,40 ± 1,75ns	163,8 ± 20,9ns	0,076 ± 0,023ns	49,7 ± 5,2ns
120	28,08 ± 1,71ns	170,3 ± 21,8ns	0,036 ± 0,011ns	47,6 ± 4,9ns

Médias seguidas por 'ns' significa não significativo no teste de ANOVA.

A maior amplitude observada foi nos teores de cálcio, aproximadamente 51% de variação entre os valores encontrados (Figura 3C). O valor máximo para os teores de Ca pode ser estimado na dose 39,7 mg.dm⁻³ de P. Mesmo os teores de Ca variando de 6,4 g.kg⁻¹ a 9,6 g.kg⁻¹ neste estudo, os teores se enquadram nos valores obtidos em estudos anteriores tanto para lavanda (Chrysargyris et al., 2016, Chrysargyris et al., 2017) quanto para lavandin (Kucukyumuk et al., 2015; Erbas et al., 2016).

Os teores de Enxofre, Magnésio e Fósforo apresentaram amplitudes semelhantes, variando aproximadamente 34%, 35% e 37%, respectivamente (Figura 3E, D e B). A dose de fósforo estimada para o máximo teor foliar de S é de 76 mg.dm⁻³, enquanto que para Mg a máxima absorção ocorre na dose estimada de 68 mg.dm⁻³ e para o máximo teor de P a dose estimada de 109 mg.dm⁻³, sendo esta a dose mais alta estimada neste estudo. Os teores encontrados para estes elementos foram maiores que os encontrados para lavanda em cultivo hidropônico (Chrysargyris et al., 2016), aproximando-se dos valores encontrados para lavanda associadas à fungos micorrízicos (Golubkina et al., 2020) e lavandin (Erbas et al., 2016).

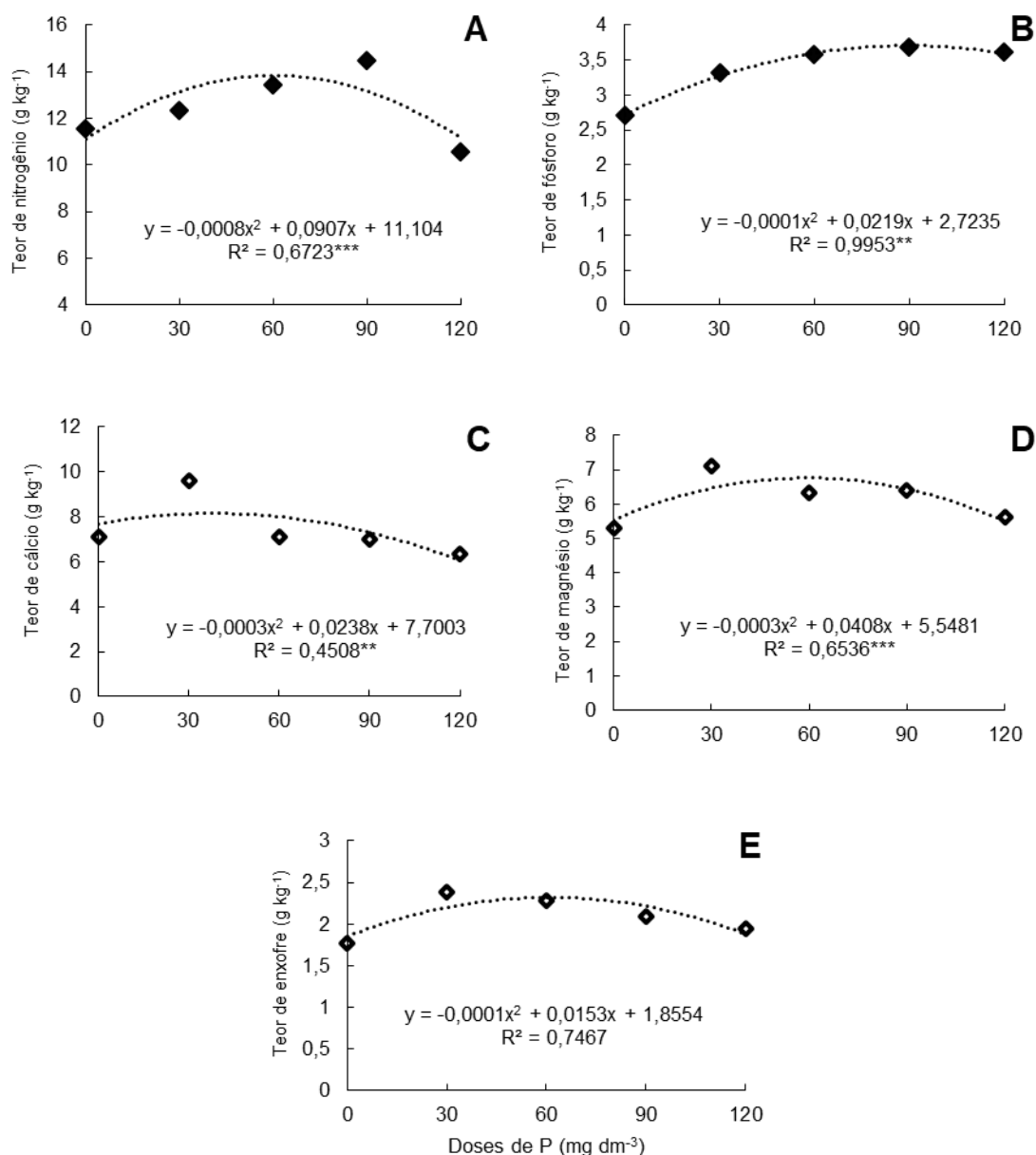


Figura 3: Teores de nitrogênio (A), fósforo (B), cálcio (C), magnésio (D) e enxofre em plantas de *L. angustifolia* cultivadas sob doses de fósforo, em clima tropical, durante o ciclo de 2019. Campos dos Goytacazes - RJ, Brasil. Significância estatística: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$ e *** $p < 0,001$ no teste de regressão.

Os teores que menos variaram neste estudo foram os teores de nitrogênio (Figura 3A). A amplitude dos teores encontrados é de aproximadamente 25%, sendo a absorção máxima de N ocorrendo na dose estimada de 57 mg.dm⁻³ de P. Mesmo existindo uma correlação positiva entre nitrogênio e fósforo (Lin et al., 2013), as altas variações nas doses de P não influenciaram na mesma magnitude os teores de nitrogênio. Os teores encontrados se assemelham aos encontrados

em plantas de lavandin, um híbrido da lavanda inglesa (Kucukyumuk et al., 2015; Erbas et al., 2016).

Ao analisar os dados dos teores nutricionais obtidos, mesmo nas diferentes doses, as plantas de lavanda apresentaram a seguinte ordem de acúmulo de macronutrientes: $K > N > Ca > Mg > P > S$. A mesma ordem de acúmulo é possível observar em plantas de lavandin (Erbas et al., 2017; Kucukyumuk et al., 2015) e em plantas de lavanda (Chrysargyris et al., 2016; Chrysargyris et al., 2017; Fascella et al., 2020; Golubkina et al., 2020; Ostadi et al., 2020).

Os teores de manganês, molibdênio e zinco não diferiram significativamente, apresentando médias de $167,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ de Mn, $0,0602 \text{ mg.kg}^{-1}$ de Mo e $47,9 \text{ mg.kg}^{-1}$ de Zn (Tabela 2). Já os teores de boro, cobre e ferro apresentaram regressão linear conforme as doses de P aplicadas ao solo (Figura 4A, B e C). Por outro lado, as médias dos teores de níquel apresentaram regressão quadrática para os valores estudados, sendo a maior absorção de Ni na dose estimada de 60 mg.dm^{-3} de P (Figura 4D).

Existem teorias de que a falta ou o excesso de P na adubação das plantas pode acarretar alterações nos teores de B, Mo, Mn, Fe, Zn e Cu, sendo a relação P-Zn a mais relatada, discutida e comprovada (Hopkins, 2015). Os resultados e alterações aqui apresentados vão de encontro aos estudos com lavanda (Chrysargyris et al., 2016) e lavandin (Erbas et al., 2017), além de outras *Lamiaceae* como o alecrim (Ruiz Navarro et al., 2019) e menta (Chrysargyris et al., 2019). Ao analisar os teores encontrados, é possível observar a seguinte ordem de acúmulo dos micronutrientes: $Fe > Mn > Zn > B > Cu > Ni > Mo$. Mesmo ocorrendo variações e influência dos tratamentos, os teores nutricionais se assemelham aos teores encontrados em outros trabalhos (Prusinowska e Śmigielski, 2014).

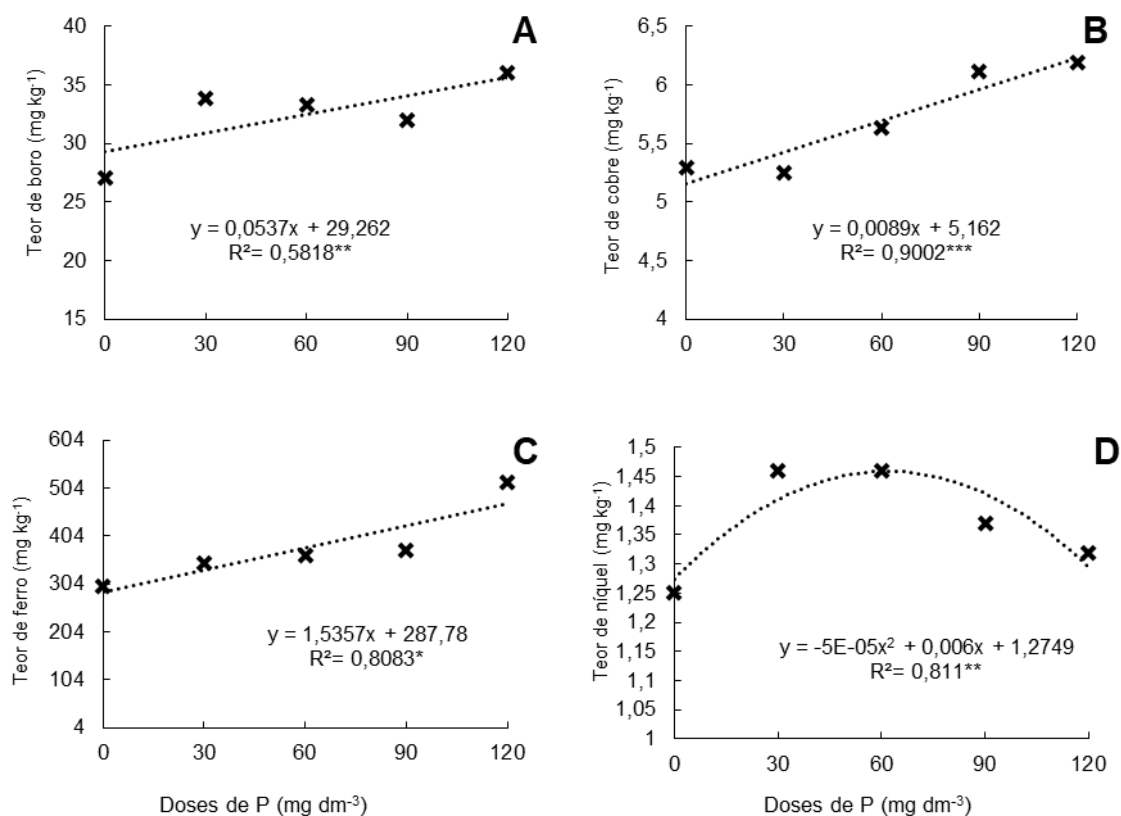


Figura 4: Teores de boro (A), cobre (B), ferro (C) e níquel (D) em plantas de *L. angustifolia* cultivadas sob doses de fósforo, em clima tropical, durante o ciclo de 2019. Campos dos Goytacazes - RJ, Brasil. Significância estatística: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ e *** $p < 0.001$ no teste de regressão.

Rendimento e qualidade dos óleos essenciais

Os rendimentos dos óleos essenciais extraídos neste ensaio apresentaram diferenças significativas nas médias, com ajuste à regressão quadrática em relação às doses de P (Figura 5). Foi possível observar uma amplitude de aproximadamente 120%, variando de cerca 0,5% (m/m), no tratamento sem complementação fosfatada, até o máximo de 1,1% na dose estudada de 60 mg.dm⁻³ de P. A dose estimada para o máximo rendimento de óleos essenciais é de 77 mg.dm⁻³ de P. Os valores de porcentagens de óleos essenciais de lavanda são bastante extensos, sendo possível encontrar valores acima de 2% até 4,5% de rendimento (Hassiotis et al., 2014; Kirimer et al., 2017; Giannoulus et al., 2020), bem como valores próximos aos encontrados neste estudo, variando de 0,2 a 1% (Zheljazkov et al., 2011; Chrysargirys et al., 2016; Rasheda et al., 2017; Najar et al., 2019; Fascella et al., 2020), havendo relatos

que a complementação fosfatada pode sim alterar a produção de OE em plantas dessa família (Ostadi et al., 2020). O pequeno rendimento proporcional dos óleos essenciais da lavanda inglesa é compensado pela qualidade do óleo produzido, pois este óleo atinge maiores valores de mercado devido às maiores porcentagens de compostos desejáveis (Giray et al., 2018).

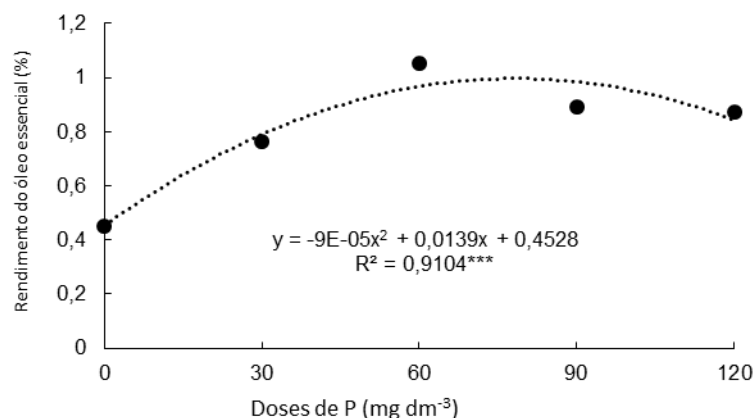


Figura 5: Produção de óleo essencial nas inflorescências de *L. angustifolia* cultivadas sob doses de fósforo, em clima tropical, durante o ciclo de 2019. Campos dos Goytacazes - RJ, Brasil. Significância estatística: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ e *** $p < 0.001$ no teste de regressão.

O rendimento de óleos essenciais não é apenas o propósito da produção de lavanda, mas também a composição química do mesmo que confere os parâmetros de qualidade do produto extraído. A comparação do perfil químico obtido a partir das lavandas cultivadas sob incremento da adubação fosfatada pode ser observada na Tabela 3. Nestes resultados foi possível identificar cerca de 40 compostos que representam aproximadamente 98% do total do OE, sendo 27 compostos comuns a todos os tratamentos. Resultados semelhantes foram observados para as plantas de lavandas em clima quente, no sudeste dos EUA (Zheljazkov et al., 2011).

Tabela 3: Composição química, em porcentagem, do óleo essencial extraído das inflorescências de *L. angustifolia* cultivadas sob doses de fósforo, em clima tropical, durante o ciclo de 2019. Campos dos Goytacazes - RJ, Brasil

Compostos	Composição (%)				
	Doses de P (mg.dm ⁻³)				
	0	30	60	90	120
Alfa pineno	0,11 ± 0,01	-	-	-	0,12 ± 0,02
Canfeno	-	-	-	-	0,09 ± 0,01
Beta pineno	-	-	-	-	0,11 ± 0,02
3-Octanona	0,20 ± 0,07	0,21 ± 0,08	0,30 ± 0,04	0,73 ± 0,08	0,62 ± 0,37
Mirceno	0,43 ± 0,16	-	0,34 ± 0,09	0,62 ± 0,07	0,51 ± 0,13
Acetato de hexila	0,66 ± 0,04	0,49 ± 0,07	0,44 ± 0,13	-	0,29 ± 0,05
Orto cimeno	0,65 ± 0,03	0,30 ± 0,02	0,47 ± 0,20	-	0,41 ± 0,12
Limoneno	-	0,12 ± 0,01	-	-	0,10 ± 0,02
1,8-Cineol	6,06 ± 4,31	0,75 ± 0,43	0,74 ± 0,16	0,60 ± 0,07	4,12 ± 2,37
Cis-ocimeno	0,41 ± 0,03	0,56 ± 0,32	0,56 ± 0,05	0,49 ± 0,06	0,34 ± 0,09
Trans-beta-ocimeno	0,37 ± 0,05	0,32 ± 0,09	0,62 ± 0,14	0,82 ± 0,05	0,59 ± 0,08
Gama terpineno	0,28 ± 0,04	0,12 ± 0,03	0,19 ± 0,04	-	0,16 ± 0,06
Cis-óxido de linalol	0,60 ± 0,05	0,86 ± 0,43	2,59 ± 0,20	0,72 ± 0,06	1,35 ± 0,46
Trans-óxido de linalol	0,60 ± 0,03	0,78 ± 0,39	2,23 ± 0,12	0,70 ± 0,09	1,35 ± 0,36
Linalol	13,24 ± 0,73	21,15 ± 1,22	26,80 ± 1,81	26,64 ± 0,61	26,99 ± 1,76
Acetato de 1 octen3 il	3,17 ± 0,12	1,04 ± 0,42	1,62 ± 0,43	1,33 ± 0,18	1,14 ± 0,57
Acetato de Octanol	0,26 ± 0,03	-	0,53 ± 0,23	0,43 ± 0,23	0,16 ± 0,03
Cânfor	0,35 ± 0,08	0,31 ± 0,23	0,51 ± 0,09	0,52 ± 0,27	0,79 ± 0,05
Hexil isobutanoato	0,19 ± 0,03	0,21 ± 0,12	0,19 ± 0,04	0,06 ± 0,02	-
Nerol óxido	0,15 ± 0,04	-	-	0,20 ± 0,03	0,13 ± 0,02
Terpinen-4-ol	6,20 ± 0,18	3,50 ± 2,26	6,29 ± 0,51	0,54 ± 0,18	3,34 ± 0,87
Criptona	0,23 ± 0,05	0,51 ± 0,11	0,45 ± 0,11	0,26 ± 0,06	0,54 ± 0,06
Alfa-terpineol	0,09 ± 0,13	0,67 ± 0,15	0,69 ± 0,09	0,54 ± 0,07	0,98 ± 0,16
N-hexil butanoato	2,05 ± 0,17	1,39 ± 0,28	0,95 ± 0,12	1,06 ± 0,08	1,29 ± 0,17
Acetato de endo-fenchil	0,21 ± 0,07	0,52 ± 0,10	0,25 ± 0,11	0,16 ± 0,04	0,27 ± 0,14
Carvona	-	-	0,15 ± 0,04	0,25 ± 0,04	0,10 ± 0,02
Acetato de linalil	19,58 ± 0,94	21,37 ± 1,83	30,51 ± 0,86	29,79 ± 1,05	23,98 ± 0,78
Acetato de bornil	0,15 ± 0,02	0,19 ± 0,10	0,30 ± 0,13	0,54 ± 0,17	0,18 ± 0,08
Acetato de lanvadulil	21,04 ± 0,85	19,01 ± 1,42	5,92 ± 0,67	12,10 ± 2,10	13,36 ± 2,04

Hexil tiglatto	-	-	0,14 ± 0,01	0,18 ± 0,03	0,15 ± 0,05
Acetato de neril	0,84 ± 0,10	0,40 ± 0,27	0,86 ± 0,07	0,94 ± 0,06	0,72 ± 0,11
Geranyl acetate	1,13 ± 0,23	0,74 ± 0,43	1,74 ± 0,25	1,85 ± 0,80	1,36 ± 0,43
Alfa cedreno	-	-	-	0,14 ± 0,03	0,08 ± 0,06
Hexil hexanoato	0,29 ± 0,34	0,81 ± 0,03	0,08 ± 0,02	0,26 ± 0,18	0,25 ± 0,05
Trans-cariofileno	2,77 ± 0,74	1,78 ± 0,26	2,57 ± 0,20	2,14 ± 0,58	2,65 ± 0,84
Alfa bergamoteno	-	-	0,11 ± 0,01	-	0,11 ± 0,04
Alfa-humuleno	0,11 ± 0,01	0,14 ± 0,09	0,09 ± 0,07	0,10 ± 0,05	0,16 ± 0,05
Cis-beta-farneceno	0,72 ± 0,21	0,51 ± 0,33	1,21 ± 0,12	0,82 ± 0,12	0,83 ± 0,11
Germacreno D	0,23 ± 0,09	0,24 ± 0,03	-	0,10 ± 0,04	0,17 ± 0,02
Gama-muuroleño	0,65 ± 0,31	1,62 ± 0,32	0,89 ± 0,07	0,79 ± 0,14	0,86 ± 0,07
Cis calameneno	-	-	-	0,06 ± 0,02	-
Óxido de cariofileno	11,75 ± 2,06	11,32 ± 2,21	3,42 ± 0,33	7,20 ± 2,41	5,26 ± 1,25
Alfa-epi-cadinol	1,44 ± 0,47	4,39 ± 0,36	2,88 ± 0,47	2,11 ± 1,02	2,33 ± 0,42
Cadaleno	-	0,14 ± 0,03	-	0,31 ± 0,07	-
Hexahidrofarnesil acetona	-	0,15 ± 0,06	-	0,17 ± 0,01	0,07 ± 0,03
Ácido palmítico	0,84 ± 0,53	1,21 ± 0,07	0,80 ± 0,15	0,31 ± 0,10	0,53 ± 0,55
Ácido linoleico	0,18 ± 0,06	0,14 ± 0,04	0,07 ± 0,02	0,31 ± 0,01	-
Ácido alfa linoleico	-	0,39 ± 0,13	0,12 ± 0,04	1,27 ± 0,15	-
Classe de Compostos					
Monoterpenos hidrocarbonetos	1,46 ± 0,17	0,55 ± 0,03	0,99 ± 0,24	0,62 ± 0,07	1,49 ± 0,31
Não derivados de terpenos	5,00 ± 0,31	3,26 ± 0,42	3,74 ± 0,60	3,25 ± 0,32	3,15 ± 0,47
Monoterpenos oxigenados	73,84 ± 3,92	72,51 ± 1,97	81,69 ± 1,56	78,44 ± 2,92	81,20 ± 1,30
Sesquiterpenos oxigenados	14,20 ± 2,74	17,60 ± 1,92	7,28 ± 0,81	11,36 ± 2,51	8,19 ± 1,53
Sesquiterpenos hidrocarbonetos	4,48 ± 1,24	4,18 ± 0,56	5,10 ± 0,15	4,45 ± 0,70	4,85 ± 0,77
Total identificado	98,97 ± 0,35	98,09 ± 0,69	98,79 ± 0,16	98,11 ± 0,56	98,87 ± 0,23

Após observar diferenças nos parâmetros de crescimento e de rendimento de OE, é possível observar que ocorreram diferenças significativas nas classes dos compostos que os formam (Tabela 4). Em todos os tratamentos os compostos presentes em maior quantidade percentual são da classe dos Monoterpenos oxigenados (~77%), seguido pela classe dos Sesquiterpenos oxigenados (~12%), Sesquiterpenos hidrocarbonetos (~4,7%), não derivados de terpenos (~3,7%) e em menor quantidade a classe dos Monoterpenos hidrocarbonetos (~1%). Os valores referentes às porcentagens variam na literatura científica, porém a grandeza é mantida, sendo os compostos da classe Monoterpenos oxigenados os de maior composição percentual. Já os de menor presença correspondem aos compostos das classes dos Não derivados de terpenos e Monoterpenos hidrocarbonetos (Hassiotis et al., 2014; Najar et al., 2019; Fascella et al., 2020).

Os monoterpenos e os sesquiterpenos são os principais constituintes do OE da lavanda. Com destaque para o acetato de linalil e o linalol, que são monoterpenos álcoois, e que são os principais compostos de interesse econômico. Os terpenos do OE da lavanda são sintetizados a partir da junção de moléculas de Isopentenil difosfato (IPP) com dimetilalil difosfato (DMAPP), catalisadas por enzimas fósforo dependentes (Despinasse et al., 2017; Ashraf et al., 2019; Zhang et al., 2019), desta forma o fósforo participa diretamente na síntese dos compostos presentes no OE.

Os componentes do OE comuns a todos os tratamentos foram submetidos à ANOVA e quando significativos submetidos à análise de regressão. Dos componentes avaliados, dezoito apresentaram resultados significativos para a regressão. Destes, quatro compostos tiveram ajustes lineares, enquanto quatorze no modelo quadrático (Tabela 4).

Tabela 4: Classificação do composto (Class), tempo de retenção (RT), índice de retenção calculado (RI_{cal}), índice de retenção referência (RI_{ref}) e equações das análises de regressão realizadas nos compostos presentes no óleo essencial extraído das inflorescências de *L. angustifolia* cultivadas sob doses de fósforo, em clima tropical, durante o ciclo de 2019. Campos dos Goytacazes - RJ, Brasil

Compostos	Class	RT	RI ^{cal}	RI ^{ref}	Equação	R ²
Alfa pineno	MH	9,506	930	932	nt	
Canfeno	MH	10,121	943	946	nt	
Beta pineno	MH	11,397	971	974	nt	
3-Octanona	NT	12,085	986	979	$y = 0,141 + 0,0045x$	0,7561 ^{***}
Mirceno	MH	12,286	991	988	nt	
Acetato de hexila	NT	13,457	1015	1007	nt	
Orto cimeno	MH	13,775	1021	1022	nt	
Limoneno	MH	13,982	1026	1024	nt	
1,8-Cineol	OM	14,051	1027	1026	$y = 5,7584 - 0,1803x + 0,0014x^2$	0,9404 ^{**}
Cis-ocimeno	OM	14,604	1038	1032	ns	
Trans-beta-ocimeno	OM	15,098	1048	1044	$y = 0,2923 + 0,0075x - 0,00004x^2$	0,6182 [*]
Gama terpineno	MH	15,505	1056	1054	nt	
Cis-óxido de linalol	OM	16,200	1070	1067	$y = 0,5406 + 0,0318x - 0,0002x^2$	0,7907 [*]
Trans-óxido de linalol	OM	16,988	1086	1084	$y = 0,5539 + 0,0243x - 0,0002x^2$	0,7214 ^{***}
Linalol	OM	17,675	1100	1095	$y = 13,3708 + 0,3095x - 0,0017x^2$	0,9748 ^{***}
Acetato de 1 octen3 il	NT	18,372	1114	1110	$y = 2,8390 - 0,0412x + 0,0002x^2$	0,6786 ^{***}
Acetato de Octanol	NT	18,979	1126	1120	nt	
Cânfor	OM	19,601	1139	1141	$y = 0,2725 + 0,0037x$	0,8327 ^{***}
Hexil isobutanoato	NT	20,158	1150	1147	nt	
Nerol óxido	OM	20,329	1154	1154	nt	
Terpinen-4-ol	OM	21,340	1174	1174	$y = 5,7080 - 0,0289x$	0,3316 ^{***}
Criptona	NT	21,743	1182	1183	ns	
Alfa-terpineol	OM	22,038	1188	1186	$y = 0,9188 - 0,0111x + 0,0001x^2$	0,7663 ^{***}
N-hexil butanoato	OM	22,300	1193	1191	$y = 2,0464 - 0,0283x + 0,0002x^2$	0,9865 ^{***}
Acetato de endo-fenchil	OM	23,788	1224	1218	ns	
Carvona	OM	24,582	1241	1239	nt	
Acetato de linalil	OM	25,449	1259	1254	$y = 18,0183 + 0,2963x - 0,0020x^2$	0,7694 ^{***}
Acetato de bornil	OM	26,628	1284	1287	$y = 0,0895 + 0,0079x - 0,0001x^2$	0,4863 [*]
Acetato de lanvadulil	OM	27,049	1293	1288	$y = 22,4358 + 0,3205x - 0,0021x^2$	0,6778 ^{***}
Hexil tiglato	NT	28,807	1331	1330	nt	
Acetato de neril	OM	30,352	1364	1359	ns	

Geranyl acetate	OM	31,222	1384	1379	ns	
Alfa cedreno	SH	32,268	1408	1410	nt	
Hexil hexanoato	NT	31,344	1387	1378	ns	
Trans-cariofileno	SH	32,639	1417	1417	ns	
Alfa bergamoteno	SH	33,410	1435	1432	nt	
Alfa-humuleno	SH	34,097	1451	1452	ns	
Cis-beta-farneceno	SH	34,388	1458	1454	ns	
Germacreno D	SH	35,300	1479	1484	nt	
Gama-muuroleno	SH	36,731	1513	1511	$y = 0,8768 + 0,0098x - 0,0001x^2$	0,2021*
Cis calameneno	SH	37,038	1521	1528	nt	
Óxido de cariofileno	OS	39,613	1584	1582	$y = 12,4485 - 0,1395x + 0,0007x^2$	0,6409*
Alfa-epi-cadinol	OS	41,939	1643	1638	$y = 2,0529 + 0,0433x - 0,0004x^2$	0,6932***
Cadaleno	SH	43,119	1674	1675	nt	
Hexahidrofarnesil acetona	OS	49,445	1846	1845	nt	
Ácido palmítico	OS	53,590	1966	1959	$y = 1,0375 - 0,0050x$	0,4957*
Ácido linoleico	OS	58,925	2134	2130	nt	
Ácido alfa linoleico	OS	59,128	2140	2132	nt	

Classe de Compostos			
Monoterpenos hidrocarbonetos		$y = 1,3829 - 0,0256x + 0,0002x^2$	0,6759***
Não derivados de terpenos		$y = 4,7481 - 0,0343x + 0,0002x^2$	0,7374*
Monoterpenos oxigenados		$y = 73,4070 + 0,0688x$	0,6851***
Sesquiterpenos oxigenados		$y = 15,3755 - 0,0608x$	0,6745***
Sesquiterpenos hidrocarbonetos		ns	

Médias seguidas por 'nt' significam que não foram testadas, pois não estavam presentes em todos os tratamentos. Médias seguidas por 'ns' significam não significativas. Significância estatística: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ e *** $p < 0.001$ no teste de regressão.

As normas internacionais de padronização dos OE de lavanda levam em consideração os locais de origem das plantas para a determinação da quantidade mínima exigida de cada composto. Contudo, todas as referências relatam o interesse na maior porcentagem de acetato de linalil e linalol, que são altamente desejáveis na perfumaria, e somente traços de cânfor, já que este composto deprecia o valor odorífero dos óleos para o uso na perfumaria (ISO 3515, 2002; Despinasse et al., 2017; Giray, 2018; Guitton et al., 2018; Ashraf et al., 2019). Os

quatro compostos majoritários encontrados no presente estudo foram acetato de linalil, linalol, acetato de lavandulil e óxido de cariofileno. Enquanto que os minoritários foram hexil-hexanoato, alfa-humuleno, acetato de endo-fenchil e acetato de bornil. Ao analisar a equação de regressão destes compostos é possível estimar doses para a máxima produção de linalol em 91 mg.dm^{-3} de P e para a máxima produção de acetato de linalil em 74 mg.dm^{-3} de P. Os valores de cânfor apresentaram regressão linear crescente, ou seja, os teores de cânfor aumentam à medida que se aumentam as doses de P no solo. O OE estudado no presente trabalho, nas doses acima de 30 mg.dm^{-3} de P, possui características de boa qualidade, assemelhando-se a produtos oriundos de países tradicionalmente produtores como Bulgária e França, e dos estados Norte Americanos de Oregon e Mississippi (Zheljzakov et al., 2011).

CONCLUSÕES

As plantas de lavanda mostraram boa adaptabilidade à região tropical. Durante a condução dos ensaios não foi possível observar nenhuma alteração de desenvolvimento que possa ser relacionada às desordens nutricionais, indicando uma nutrição adequada das plantas. Apesar de mostrarem variações nos teores nutricionais, os valores se assemelham aos previamente registrados na literatura, não demonstrando nenhum desequilíbrio nutricional.

Os óleos das plantas, sem complementação fosfatada (0 mg.dm^{-3} de P), apresentaram qualidade reduzida devido à baixa porcentagem de alguns compostos usados como marcadores de qualidade. Apesar de apresentar incremento com a adubação fosfatada, os teores de cânfor estão dentro do aceitável, sendo a adubação fosfatada importante fator para a produção de OE com padrões internacionais de qualidade.

O manejo nutricional com a complementação fosfatada ocasionou resultados significativos na produção de biomassa vegetal e na produção de OE. Pelas equações obtidas em todas as variáveis, é possível estimar a dose ideal

para a produção de biomassa e de OE em 77 mg.dm^{-3} de P de forma a atingir uma produção com os parâmetros de qualidade de óleo essencial desejável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, R. P.; *Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry*. 4th Ed., 2007.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO *Irrigation and drainage paper 56*. Fao, Rome, 300(9), D05109.
- Ashraf, A., Sultan, P., Qazi, P., Rasool, S. (2019). Approaches for the genetic improvement of Lavender: A short review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(2), 736-740.
- Benabdelkader, T., Zitouni, A., Guitton, Y., Jullien, F., Maitre, D., Casabianca, H., Kameli, A. (2011). Essential oils from wild populations of Algerian *Lavandula stoechas* L.: composition, chemical variability, and in vitro biological properties. *Chemistry & biodiversity*, 8(5), 937-953.
- Biesiada, A., Sokol-Letowska, A., Kucharska, A. (2008). Effect of nitrogen fertilization on yielding and antioxidant activity of lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.). *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus (Poland)*.
- Brasil. MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2009). *Regras para análise de sementes* / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília. 399 p.

- Camenzind, T., Hättenschwiler, S., Treseder, K. K., Lehmann, A., Rillig, M. C. (2018). Nutrient limitation of soil microbial processes in tropical forests. *Ecological Monographs*, 88(1), 4-21.
- Chrysargyris, A., Panayiotou, C., Tzortzakis, N. (2016). Nitrogen and phosphorus levels affected plant growth, essential oil composition and antioxidant status of lavender plant (*Lavandula angustifolia* Mill.). *Industrial Crops and Products*, 83, 577-586.
- Chrysargyris, A., Drouza, C., Tzortzakis, N. (2017). Optimization of potassium fertilization/nutrition for growth, physiological development, essential oil composition and antioxidant activity of *Lavandula angustifolia* Mill. *Journal of soil science and plant nutrition*, 17(2), 291-306.
- Chrysargyris, A., Petropoulos, S. A., Fernandes, Â., Barros, L., Tzortzakis, N., Ferreira, I. C. (2019). Effect of phosphorus application rate on *Mentha spicata* L. grown in deep flow technique (DFT). *Food chemistry*, 276, 84-92.
- Cummitt, K., Drost, D. (2020). *English lavender in the Garden*. Cooperative Extension. Department of Agriculture, Utah State University.
- Despinasse, Y., Fiorucci, S., Antonczak, S., Moja, S., Bony, A., Nicolè, F., Baudino, S., Magnard, J. L., Jullien, F. (2017). Bornyl-diphosphate synthase from *Lavandula angustifolia*: a major monoterpene synthase involved in essential oil quality. *Phytochemistry*, 137, 24-33.
- Erbaş, S., Kucukyumuk, Z., Baydar, H., Erdal, I., Sanli, A. (2017). Effects of different phosphorus doses on nutrient concentrations as well as yield and quality characteristics of lavandin (*Lavandulax intermedia* Emeric ex Loisel. var. Super). *Turkish Journal Of Field Crops*, 22(1), 32-38.
- Fascella, G., Mammano, M. M., D'Angiolillo, F., Pannico, A., Roupshael, Y. (2020). Coniferous wood biochar as substrate component of two containerized

Lavender species: Effects on morpho-physiological traits and nutrients partitioning. *Scientia Horticulturae*, 267, 109356.

Garland, G., Bünemann, E. K., Oberson, A., Frossard, E., Snapp, S., Chikowo, R., Six, J. (2018). Phosphorus cycling within soil aggregate fractions of a highly weathered tropical soil: A conceptual model. *Soil Biology and Biochemistry*, 116, 91-98.

Geisel, P. M., Unruh, C. L., Lawson, P. M. (2004). Lavenders for California gardens. *Publication 8135*. University of California. Division of Agriculture and Natural Resources.

Giannoulis, K. D., Evangelopoulos, V., Gougoulis, N., Wogiatzi, E. (2020). Could bio-stimulators affect flower, essential oil yield, and its composition in organic lavender (*Lavandula angustifolia*) cultivation?. *Industrial Crops and Products*, 154, 112611.

Giray, F. H. (2018). An analysis of world lavender oil markets and lessons for Turkey. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 21(6), 1612-1623.

Golubkina, N., Logvinenko, L., Novitsky, M., Zamana, S., Sokolov, S., Molchanova, A., Shevchuk, O., Sekara, A., Tallarita, A., Caruso, G. (2020). Yield, essential oil and quality performances of *Artemisia dracunculus*, *Hyssopus officinalis* and *Lavandula angustifolia* as affected by arbuscular mycorrhizal fungi under organic management. *Plants*, 9(3), 375.

Hajhashemi, V., Ghannadi, A., Sharif, B. (2003). Anti-inflammatory and analgesic properties of the leaf extracts and essential oil of *Lavandula angustifolia* Mill. *Journal of ethnopharmacology*, 89(1), 67-71.

Hargreaves, G.H.; Samani, Z.A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, St Joseph, v.1 n.2, p.96–99.

- Hassanpouraghdam, M. B., Hassani, A., Vojodi, L., Hajisamadi, B., Rostami, A. (2011). Essential oil constituents of *Lavandula officinalis* Chaix from Northwest Iran. *chemija*, 22(3), 167-171.
- Hassiotis, C. N., Ntana, F., Lazari, D. M., Poullos, S., Vlachonasios, K. E. (2014). Environmental and developmental factors affect essential oil production and quality of *Lavandula angustifolia* during flowering period. *Industrial Crops and Products*, 62, 359-366.
- Hopkins, B. G. (2015). Phosphorus. In A. V. Barker, D. J. Pilbeam (Eds.). *Handbook of plant nutrition* (pp. 65–126). Boca Raton: Taylor & Francis.
- ISO 3515 – International Organization for Standardization. (2002). *Oil of Lavender (Lavanta Angustifolia Mill.) Standard*. Geneva.
- Karapandzova, M., Cvetkovikj, I., Stefkov, G., Stoimenov, V., Crvenov, M., Kulevanova, S. (2012). The influence of duration of the distillation of fresh and dried flowers on the essential oil composition of lavandin cultivated in Republic of Macedonia. Македонско фармацевтско друштво, ул. Маршал Тито 13б/8, Скопје, Македонија *Macedonian Pharmaceutical Society*, Marshal Tito 13b/8, Skopje Macedonia, 31.
- Kirimer, N., Mokhtarzadeh, S., Demirci, B., Goger, F., Khawar, K. M., Demirci, F. (2017). Phytochemical profiling of volatile components of *Lavandula angustifolia* Miller propagated under in vitro conditions. *Industrial Crops and Products*, 96, 120-125.
- Kivrak, Ş. (2018). Essential oil composition and antioxidant activities of eight cultivars of Lavender and Lavandin from western Anatolia. *Industrial Crops and Products*, 117, 88-96.
- Komnenić, A., Jovović, Z., Velimirović, A. (2020). Impact of different organic fertilizers on lavender productivity (*Lavandula officinalis* Chaix). *Poljoprivreda i Sumarstvo*, 66(2), 51-56.

- Kucukyumuk, Z., Erbas, S., Erdal, I., Baydar, H., Eraslan, F. (2015). Effect of Different Nitrogen Doses on Plant Growth, Quality Characteristics and Nutrient Concentrations of Lavandin (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel. var. Super A). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 18(1), 36-43.
- Lin, H. J., Gao, J., Zhang, Z. M., Shen, Y. O., Lan, H., Liu, L., Xiang, K., Zhao, M., Zhou, S., Zhang, Y. Z., Gao, S. B., Pan, G. T. (2013). Transcriptional responses of maize seedling root to phosphorus starvation. *Molecular biology reports*, 40(9), 5359-5379.
- Mirrabi, H., Abbaszadeh, B., Akbarzadeh, M. (2014). The Effect of Chemical and Biological Fertilizers on Flower Yield, Leaf Yield and Essential Oil of Lavender (*Lavandula angustifolia*).
- Najar, B., Demasi, S., Caser, M., Gaino, W., Cioni, P. L., Pistelli, L., Scariot, V. (2019). Cultivation Substrate Composition Influences Morphology, Volatilome and Essential Oil of *Lavandula Angustifolia* Mill. *Agronomy*, 9(8), 411.
- Neto, A. P., Favarin, J. L., Hammond, J. P., Tezotto, T., Couto, H. T. (2016). Analysis of phosphorus use efficiency traits in *Coffea* genotypes reveals *Coffea arabica* and *Coffea canephora* have contrasting phosphorus uptake and utilization efficiencies. *Frontiers in plant science*, 7, 408.
- Oskouie, A. A., Yekta, R. F., Tavirani, M. R., Kashani, M. S., Goshadrou, F. (2018). *Lavandula angustifolia* effects on rat models of alzheimer's disease through the investigation of serum metabolic features using NMR metabolomics. *Avicenna journal of medical biotechnology*, 10(2), 83.
- Ostadi, A., Javanmard, A., Machiani, M. A., Morshedloo, M. R., Nouraein, M., Rasouli, F., Maggi, F. (2020). Effect of different fertilizer sources and harvesting time on the growth characteristics, nutrient uptakes, essential oil productivity and composition of *Mentha x piperita* L. *Industrial Crops and Products*, 148, 112290.

- Pistelli, L., Najar, B., Giovanelli, S., Lorenzini, L., Tavarini, S., Angelini, L. G. (2017). Agronomic and phytochemical evaluation of lavandin and lavender cultivars cultivated in the Tyrrhenian area of Tuscany (Italy). *Industrial Crops and Products*, 109, 37-44.
- Prusinowska, R., Śmigielski, K. B. (2014). Composition, biological properties and therapeutic effects of lavender (*Lavandula angustifolia* L). A review. *Herba polonica*, 60(2), 56-66.
- Rashed, M. M., Tong, Q., Nagi, A., Li, J., Khan, N. U., Chen, L., Rotail, A., Bakry, A. M. (2017). Isolation of essential oil from *Lavandula angustifolia* by using ultrasonic-microwave assisted method preceded by enzymolysis treatment, and assessment of its biological activities. *Industrial crops and products*, 100, 236-245.
- Ruiz-Navarro, A., Fernández, V., Abadía, J., Abadía, A., Querejeta, J. I., Albaladejo, J., Barberá, G. G. (2019). Foliar fertilization of two dominant species in a semiarid ecosystem improves their ecophysiological status and the use efficiency of a water pulse. *Environmental and Experimental Botany*, 167, 103854.
- Silveira, S. M. D., Scheuermann, G. N., Secchi, F. L., Verruk, S., Krohn, M., Vieiral, C. R. W. (2012). Composição química e atividade antibacteriana dos óleos essenciais de *Cymbopogon winterianus* (citronela), *Eucalyptus paniculata* (eucalipto) e *Lavandula angustifolia* (lavanda). *Revista do Instituto Adolfo Lutz (Impresso)*, 71(3), 462-470.
- Souza Júnior, R. F. D., Oliveira, F. H. T. D., Santos, H. C., Freire, F. J., Arruda, J. A. D. (2012). Inorganic phosphorus fractions and their relationship with soil phosphorus extracted chemically and by maize plants. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36(1), 159-170.

- Sriwichai, T., Junmahasathien, T., Sookwong, P., Potapohn, N., Sommano, S. R. (2019). Evaluation of the optimum harvesting maturity of makhwaen fruit for the perfumery industry. *Agriculture*, 9(4), 78.
- Tuttolomondo, T., Dugo, G., Ruberto, G., Leto, C., Napoli, E. M., Potortì, A. G., Fede, M. R., Virga, G., Leone, R., D'Anna, E., Licata, M., La Bella, S. (2015). Agronomical evaluation of Sicilian biotypes of *Lavandula stoechas* L. spp. *stoechas* and analysis of the essential oils. *Journal of Essential Oil Research*, 27(2), 115-124.
- Vakili, A., Sharifat, S., Akhavan, M. M., Bandegi, A. R. (2014). Effect of lavender oil (*Lavandula angustifolia*) on cerebral edema and its possible mechanisms in an experimental model of stroke. *Brain research*, 1548, 56-62.
- Yadegari, M. (2015). Foliar application of micronutrients on essential oils of borago, thyme and marigold. *Journal of soil science and plant nutrition*, 15(4), 949-964.
- Zhang, Y., Wang, J., Cao, X., Liu, W., Yu, H., Ye, L. (2020). High-level production of linalool by engineered *Saccharomyces cerevisiae* harboring dual mevalonate pathways in mitochondria and cytoplasm. *Enzyme and microbial technology*, 134, 109462.
- Zheljazkov, V. D., Astatkie, T., Hristov, A. N. (2012). Lavender and hyssop productivity, oil content, and bioactivity as a function of harvest time and drying. *Industrial Crops and Products*, 36(1), 222-228.

QUALIDADE DA LUZ NO ENRAIZAMENTO E NA EFICIÊNCIA DO USO DE RECURSOS EM PLANTAS DE LAVANDA

RESUMO

Lavandula dentata, comumente chamada de lavanda francesa, é uma planta com usos medicinais, aromáticos e ornamentais. A propagação vegetativa é a mais recomendada e utilizada para esta espécie. A produção de mudas enraizadas, bem como a primeira fase de desenvolvimento da lavanda, é feita em ambiente controlado e em vasos. A qualidade da luz na propagação e produção em viveiros é um fator administrável e com poucas informações a respeito. Este trabalho teve como objetivo avaliar o enraizamento de estacas de lavanda, bem como o desenvolvimento inicial destas plantas sob a influência de quatro espectros de luz. Os experimentos foram realizados no Laboratorio de Control Climatico y Cultivo sin Suelo, da Universidade de Almería, Espanha. O primeiro ensaio teve como objetivo avaliar o enraizamento e o desenvolvimento inicial das estacas sob quatro espectros de LED. Em seguida, as plantas foram transferidas para vasos de plástico e cultivadas sob os mesmos espectros. Os quatro tratamentos foram: T0 (luz branca, Roblan®), T1 (modelo L18 AP67 Milky), T2 (modelo L18 NS1) e T3 (modelo L18 AP673L Milky). Tanto na fase de enraizamento quanto na fase de crescimento, foram avaliadas as características morfológicas das plantas, bem como a eficiência dos recursos utilizados, como água e luz. Ao final do ciclo vegetativo, também foi avaliada a eficiência dos nutrientes utilizados. Após a fase

de enraizamento, os únicos parâmetros que apresentaram alterações foram a altura das estacas enraizadas e a eficiência do uso da luz e iluminância, sendo as estacas enraizadas sob influência de T1 as mais altas e eficientes. Porém, após a fase de crescimento da planta, foi possível observar que o espectro T3 apresentou melhores resultados na eficiência de todos os recursos utilizados, sendo superior no uso da eletricidade, no uso da água aplicada e no aproveitamento dos nutrientes fornecidos. Além disso, as plantas oriundas de T3 apresentaram menor lixiviação de nitratos. As plantas cultivadas em T3 também apresentaram arquitetura mais compacta e plantas mais uniformes.

Termos de indexação: *Lavandula dentata*, solução nutritiva, viveiro de mudas.

LIGHT QUALITY ON STEM ROOTING AND RESOURCES USE EFFICIENCY OF LAVENDER PLANTS

ABSTRACT

Lavandula dentata, commonly named French lavender, is a plant with medicinal, aromatic and ornamental uses. Vegetative propagation is the most recommended and used for this species. The production of rooted cuttings and the first stage of development of lavender are done in pots in a controlled environment place. The quality of light in the propagation and production of lavender plantlets is a manageable factor and with little information about it. This study aimed to evaluate the rooting of lavender cuttings, as well as the development of plants under the influence of four light qualities. The experiments were carried out at the Laboratorio de Control Climatico y Cultivo sin Suelo, at University of Almería, Spain. The first trial sought to evaluate the rooting and initial development of the cuttings under four LED spectra. Then, the plants were transferred to plastic pots and growing under the same LED spectra. The four treatments were: T0 (White light, Roblan®), T1 (model L18 AP67 Milky), T2 (model L18 NS1) and T3 (model

L18 AP673L Milky). Both in the rooting phase and in the growing phase, the morphological characteristics of the plants were evaluated, as well as the efficiency of resources used, such as water and light. At the end of the growing phase, the efficiency of nutrient used was also evaluated. After the rooting phase, the only parameters evaluated that showed changes were the height of the rooted stem cuttings and the efficiency of the use of light and illuminance, with the rooted stem cuttings produced under T1 being the highest and most efficient plants. However, after the plant growing phase, it was possible to observe that the T3 spectrum showed better results in the efficiency of all resources used, being superior in the use of electricity, in the use of applied water, in the use of the nutrients provided, in addition, T3-plants presented less leaching of nitrates. Plants grown under T3 also presented more compact canopy and more uniform plants.

Keywords: LED, *Lavandula dentata*, nutrient solution, nursery plants

INTRODUÇÃO

A espécie *Lavandula dentata*, comumente chamada de lavanda francesa, lavanda franjada ou lavanda dentada, cresce naturalmente na região mediterrânea da costa espanhola. É amplamente cultivada pelo seu potencial ornamental, tanto pelo seu aspecto cinza aveludado quanto pelas inflorescências de vários matizes de lilás, formando pequenos arbustos (Lis-Balchin, 2012). O óleo essencial extraído dessas plantas tem atividades biológicas, o que amplia seu uso para além da atividade ornamental (Ouedrhiri et al., 2017; Lesage-Meesen et al., 2015).

A propagação das plantas de lavanda pode ocorrer sexualmente, por sementes ou por propagação vegetativa. A propagação vegetativa utilizando estacas de caule de *L. dentata* é uma alternativa comumente utilizada, com boas taxas de enraizamento de estacas (Bona et al., 2012). Esta forma de propagação viabiliza ainda maior homogeneidade das plantas produzidas, evitando a variabilidade genética causada pela reprodução via sementes (Kimbrough e Swif,

2009). No entanto, o sucesso da reprodução vegetativa por estacas requer condições ambientais favoráveis, ou ambientes controlados, para que se atinja a produção de plantas saudáveis em um período de crescimento pré-estabelecido (Gil et al., 2020). Independentemente do uso para comercialização e ornamentação em vasos, para compor campos comerciais ou grandes áreas de paisagismo, as estacas enraizadas de lavanda passarão parte de seu ciclo em vasos (Pistelli et al., 2017), o que aumenta o interesse em estudos desta planta em ambientes controlados ou de viveiro (Najar et al., 2019; Fascella et al., 2020).

A luz é uma fonte primária de energia para todas as plantas, sendo um fator abiótico que influencia todo o seu ciclo de vida, alterando o crescimento e a morfologia, além de afetar diretamente o metabolismo secundário da planta (Idris et al., 2018). Ao influenciar o metabolismo secundário, toda a produção de hormônios vegetais endógenos pode ser alterada, incluindo giberelinas, ácido indolacético, citocininas e ácido abscísico. No entanto, os níveis de influência causados pelo fornecimento de luz serão variáveis para cada espécie vegetal (OuYang et al., 2015). Por atuar diretamente na fotossíntese, a maioria dos estudos concentra-se na parte aérea da planta. Porém, nos últimos anos, tem crescido o interesse na relação da luz com a parte radicular, seja pela simples mudança na partição dos carboidratos da fotossíntese, seja pela regulação hormonal causada pela sinalização luminosa, o que inclui a transmissão direta da luz, os hormônios e proteínas móveis (Gelderen et al., 2018).

A obtenção natural de luz pelas plantas advém da luz solar, sendo esta composta por uma ampla faixa de espectros (Taiz et al., 2017). Tais espectros irão influenciar receptores específicos da planta, sendo tão importante quanto a intensidade da luz emitida (Spalholz et al., 2020). É possível encontrar respostas diferentes para cada planta influenciada por cada espectro, apresentando resultados distintos na germinação das sementes (Oliveira et al., 2019), no crescimento e alongamento dos tecidos (Folta et al., 2003; Dougher e Bugdee, 2004; Li et al., 2017), no acúmulo de material vegetal (Nájera e Urrestarazu, 2019) e influenciando até mesmo nas características pós-colheita de frutos (Nájera et al., 2018).

Em ambientes onde a iluminação natural é deficiente ou mesmo ausente, o uso de iluminação artificial pode garantir produção em todos os períodos (Bantis e Radoglou, 2019; Wei et al., 2020). Historicamente, as lâmpadas de sódio de alta

pressão (HPS) foram as mais utilizadas no crescimento das plantas, mas inserções de lâmpadas emissoras de diodo (LED) têm sido observadas na substituição. Em comparação com as lâmpadas utilizadas anteriormente, as lâmpadas LED apresentam vantagens como maior eficiência energética, possibilidade de escolha de espectros monocromáticos, menor emissão de calor e maior vida útil (Virsilie et al., 2019). É importante associar a produção da planta aos LEDs envolvidos para estabelecer uma eficiência energética satisfatória (Urrestarazu et al., 2016). Assim, estudos visando compreender a influência das luzes e diferentes espectros luminosos em cada fase da planta têm sido realizados com o objetivo de elucidar e otimizar todo o processo (Idris et al., 2018; Nájera e Urrestarazu, 2019).

Como o fornecimento de luz afeta diretamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas, é uma consequência que também afeta a dinâmica dos nutrientes minerais. A variação da intensidade e do espectro da luz interfere na absorção e no acúmulo de nutrientes, como os níveis de nitrato (Nájera e Urrestarazu, 2019). Assim, ao trabalhar com o fornecimento de luz artificial, é interessante observar as mudanças causadas não só no crescimento, mas também na dinâmica nutricional das plantas. Apesar da importância do cultivo da lavanda em vasos, poucos são os estudos que visam a dinâmica dos nutrientes nessas condições (Matysiak et al., 2016).

Observando as lacunas de informações sobre o cultivo da lavanda em espectros de luz, este trabalho teve como objetivo analisar as interferências dos espectros no processo de enraizamento de estacas, bem como no crescimento inicial das plantas, avaliando a eficiência dos recursos disponibilizados.

MATERIAL E MÉTODOS

Material vegetal e condições de cultivo.

Os dois experimentos foram realizados, sequencialmente, em uma câmara de cultivo controlada no Laboratorio de Control Climatico y Cultivo sin

Suelo, na Universidade de Almería, Espanha, de forma independente, entre maio e agosto de 2020. A média de temperatura e umidade relativa do ar foi de 24 °C e 80%, respectivamente. As plantas foram expostas a um fotoperíodo de 16/8 horas (dia/noite). Todas as configurações foram mantidas em ambos os experimentos.

Para o primeiro experimento, as estacas de *Lavandula dentata* foram coletadas de plantas adultas saudáveis, no Jardim de Plantas Aromáticas e Medicinais do Centro de Coleções Científicas da Universidade de Almería (36°49'55"N e 2°24'02"W). As estacas apresentavam 5,8 cm ($\pm 0,24$) de longitude e 352,6 mg ($\pm 22,1$) de massa fresca (Figura 1). Bandejas de plástico com 24 células (23 mL e 3,5 cm de profundidade para cada célula), preenchidas com fibra de coco umedecida como substrato, foram usadas para enraizar as estacas. As características do substrato foram descritas anteriormente por Morales e Urrestarazu (2014). Nenhum estimulante de enraizamento foi aplicado. As bandejas foram então colocadas em cada área com seus respectivos tratamentos luminosos. Durante os quinze dias iniciais, as bandejas permaneceram cobertas por filme plástico. Após a remoção do plástico, a fertirrigação foi fornecida sempre que 15% da água facilmente disponível, em massa, foi perdida. A fase de enraizamento durou 60 dias.

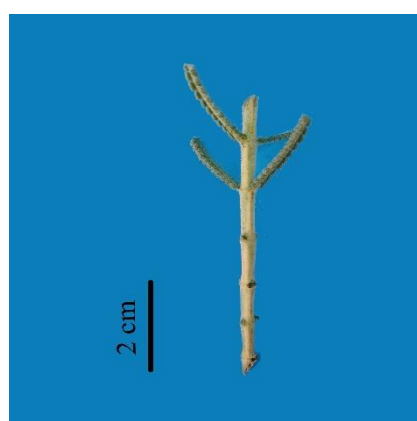


Figura 1: Tamanho médio e tipo de corte utilizados na confecção das estacas de *Lavandula dentata*.

Para a segunda fase do experimento, as estacas enraizadas, com 60 dias de idade, foram transplantadas para vasos plásticos de 250 mL (8 cm de diâmetro e 7 cm de altura) preenchidos com fibra de coco, como descrito anteriormente.

Inicialmente, os vasos foram saturados com solução nutritiva. A fertirrigação ocorria sempre que 15% da água disponível, em massa, era perdida. Esta segunda fase do experimento buscou avaliar o desenvolvimento das estacas, e durou 60 dias, totalizando 120 dias de influência luminosa.

Tratamentos luminosos.

Foram utilizadas lâmpadas de diodos emissores de luz (LED) como tratamentos experimentais, sendo três lâmpadas em uma área de 0,504 m² por tratamento experimental.

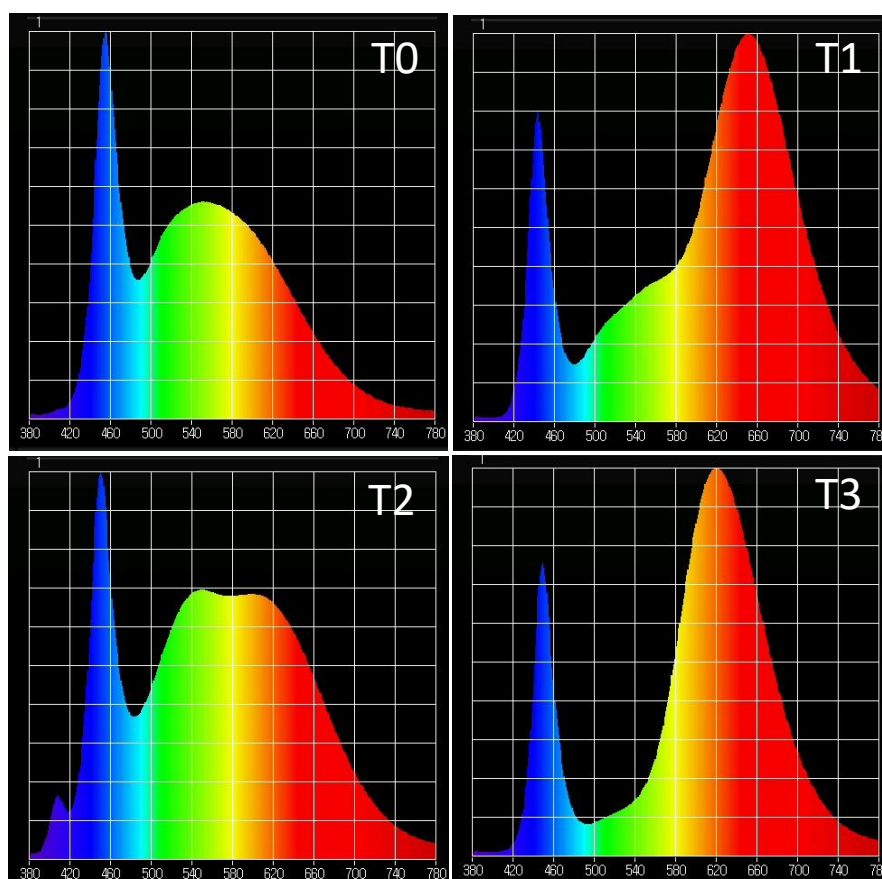


Figura 2: Perfil dos espectros de cada LED utilizados como tratamentos durante a fase de enraizamento e crescimento das plantas de *Lavandula dentata*. T0 = Roblan® LED T8 18W. T1 = Valoya® L18 AP67 Milky. T2 = Valoya® L18 NS1 18W. T3 = Valoya® L18 AP673L Milky. Imagens obtidas com o medidor UPRtek MK350S.

Para o tratamento de controle (T0) foi utilizada uma lâmpada LED branca (Roblan®, Toledo, Espanha). Os demais tratamentos foram compostos de luzes de LED utilizadas na agricultura (Valoya®, Helsinki, Finlândia), sendo T1 (modelo L18 AP67 Milky), T2 (modelo L18 NS1) e T3 (modelo L18 AP673L Milky). Todas as lâmpadas tinham a mesma potência (18W). Os espectros de cada luz, em cada tratamento, foram determinados com medidor LED UPRtek MK350S (UPRtek, Taiwan) e são mostrados na Figura 2 e Tabela 1.

Os sensores LP471-PHOT e LP471-PAR (Delta OHM®, Pádua, Itália) foram usados para medir a iluminância (lux) e a intensidade do fluxo de fótons, PPF ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), respectivamente (Tabela 1). As plantas foram cultivadas em cada tratamento, desde a fase de enraizamento.

Tabela 1: Parâmetros das luzes de LED utilizadas durante o enraizamento e crescimento das plantas de *Lavandula dentata*

	T0	T1	T2	T3
Illuminance (lux)	4086 ± 374b	2231 ± 106d	4685 ± 291a	3168 ± 346c
PPF ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	95,0 ± 10,5b	66,0 ± 3,8d	109,9 ± 5,9a	89,1 ± 10,2c
Spectral fraction (%)				
UV	0,13 ± 0,02b	0,09 ± 0,01c	0,26 ± 0,01a	0,10 ± 0,01c
Blue	26,3 ± 1,3a	12,2 ± 0,1c	20,5 ± 0,6b	12,4 ± 0,4c
Green	42,9 ± 0,5a	19,3 ± 0,5d	37,3 ± 0,4b	22,2 ± 2,0c
Red	26,9 ± 1,6d	53,3 ± 0,3b	35,4 ± 0,7c	57,5 ± 1,8a
FR	3,6 ± 0,2d	15,2 ± 0,3a	6,5 ± 0,2c	7,9 ± 0,3b

PPF = Fluxo fotossintético de fótons. Letras distintas nas linhas indicam diferenças significativas ($P \leq 0.05$) de acordo com o teste de Tukey. T0 = Roblan® LED T8 18W. T1 = Valoya® L18 AP67 Milky. T2 = Valoya® L18 NS1 18W. T3 = Valoya® L18 AP673L Milky.

Fertirrigação e drenagem.

A solução nutritiva de Sonneveld e Straver (1994) foi usada para fertirrigação (pH = 5,8 e condutividade elétrica, CE = 2,0 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$) em ambos os experimentos. Cada fertirrigação foi fornecida até que pelo menos 20% da drenagem fosse atingida (Rodriguez et al., 2014), para evitar a salinização e manter o balanço de nutrientes no substrato. Após cada fertirrigação, a drenagem

foi coletada e os seguintes parâmetros foram avaliados: volume de drenagem, pH e CE (medidor de pH/condutividade portátil LAQUAact-PC110, Horiba Advanced Techno, Japão), os níveis de nitrato (LAQUAtwin NO_3^- Meter, Horiba Advanced Techno, Japão) e os níveis de potássio (LAQUAtwin K^+ Meter, Horiba Advanced Techno, Japão). Por fim, foi calculada a quantidade de água utilizada (diferença entre entrada e drenagem) e os nutrientes lixiviados (K^+ e NO_3^-).

Avaliação das estacas enraizadas.

Após 60 dias, as estacas enraizadas foram colhidas e avaliadas a porcentagem de sobrevivência e altura das plantas. As mudas foram divididas em raízes, folhas e caules para obtenção da massa fresca e da massa seca, após secagem em estufa (85 °C, 72h - Heratherm OGS 100, Thermo Electron, Alemanha). Esses parâmetros foram usados para calcular a eficiência do uso dos recursos. A eficiência do uso da água (WUE) foi calculada pela massa fresca/água consumida, exibindo os resultados em g.L^{-1} (Pirzard et al., 2018). Os parâmetros de luz foram usados para calcular a eficiência do uso de eletricidade (EUE = massa seca/eletricidade consumida, resultados em mg.kW^{-1}), eficiência do uso da luz (LUE = massa seca/fótons emitidos, resultados em mg.mol^{-1}) e eficiência de uso da iluminância (IUE = massa seca/lúmens emitidos, resultados em mg.lm^{-1}) (Fan et al., 2013; He et al., 2020). A relação raiz-parte aérea (R/S) foi calculada a partir da massa seca da raiz/massa seca da parte aérea.

Avaliações de plantas nos vasos.

As plantas cultivadas nos vasos foram avaliadas após 60 dias de cultivo. Foram avaliadas massa fresca e seca de raízes, folhas e caules, eficiência no uso de eletricidade (EUE), eficiência no uso da água (WUE), eficiência no uso da luz (LUE) e eficiência no uso da iluminância (IUE), conforme descrito para a avaliação das estacas enraizadas. Além disso, os nutrientes minerais foram determinados, usando o método colorimétrico, reagente de Nessler, em espectrofotômetro (Specord 210, Analytik Jena, Jena, Alemanha) para determinar os níveis de nitrogênio (N) e espectrômetro de emissão atômica (ICPE-9000, Shimadzu, Kyoto, Japão) para determinar os níveis de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca),

magnésio (Mg) e enxofre (S). Em seguida, a eficiência do uso de nutrientes (NUE = biomassa seca da parte aérea/nutriente aplicado) e a eficiência de absorção de nutrientes (NUpE = conteúdo de nutriente da parte aérea/nutriente aplicado) foram calculadas para cada macronutriente (Menz et al., 2018; García-Caparrós et al., 2019). Por fim, o óleo essencial foi extraído por hidrodestilação da parte aérea seca (42 °C até massa constante), em aparelho do tipo Clevenger por duas horas (Chrysargyris et al. 2016). O rendimento do óleo essencial foi apresentado em porcentagem, massa/massa (Sriwichai et al., 2019).

Delineamento experimental e análise estatística

Os experimentos foram realizados em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições e quatro tratamentos (luzes LED). Para a fase de enraizamento, a unidade experimental foi uma bandeja de 24 células com uma estaca por célula, totalizando 96 estacas por tratamento. Para a fase de crescimento, cada unidade experimental foi composta quatro vasos de 250 mL, totalizando 16 vasos por tratamento. Tanto na fase de enraizamento quanto na fase de crescimento as plantas eram diariamente realocadas dentro do espaço de cada tratamento para mitigar qualquer variação do ambiente.

Todos os dados foram testados para análises de variância (ANOVA) e quando significativos, comparados por um teste de médias de Tukey ($P \leq 0,05$) usando SigmaPlot 12.0 (Systat Software GmbH, Erkrath, Alemanha).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tratamentos luminosos

Os tratamentos foram arranjados de modo que todos apresentassem o mesmo gasto energético: 3 lâmpadas de 18W distribuídas em uma área de 0.504m². Mesmo sendo homogêneas quanto ao consumo energético, foi possível observar diferenças significativas nos parâmetros avaliados: iluminância,

intensidade fluxo de fótons fotossintéticos (PPF) e composição espectral (Tabela 1).

As lâmpadas que formavam o T2 apresentaram os maiores valores para iluminância e para PPF, enquanto T3 foram as que exibiram os menores. Quando comparados ao tratamento controle (T0) os valores de iluminância de T2 foram 14,6% maiores enquanto os de PPF foram 15,7% maiores, já os valores observados para T3 apresentaram médias 22,5% menores em iluminância e 6,2% menores em PPF. Variação semelhante pode ser observada por outros autores quando comparam distintos espectros e mantendo o gasto energético (Nájera et al., 2018). As composições espectrais igualmente mostraram variações, sendo a T0 majoritariamente formada por faixas azul e verde, enquanto os demais tratamentos apresentaram distribuições maiores na faixa do vermelho e azul (Tabela 1 e Figura 2).

Parâmetros de crescimento

Após os 60 dias iniciais, o índice de sobrevivência das estacas não apresentou diferenças significativas, exibindo média geral de 94% de estacas enraizadas e desenvolvidas entre todos os tratamentos (Tabela 2). Os resultados podem ser considerados satisfatórios para essa espécie de lavanda, que apresenta bons índices de enraizamento mesmo sem a utilização de elementos enraizantes (Bona et al., 2012), sendo o sucesso da sobrevivência das estacas muitas vezes ligado à manutenção da hidratação inicial (Kiuru et al., 2015; Sabatino et al., 2017; Bahedh et al., 2020). Os dados de sobrevivência da fase de crescimento não foram apresentados, pois não houve mortalidade das mudas transplantadas.

Tabela 2: Sobrevivência (%), altura (cm), massa fresca e seca das folhas, hastes e raízes (mg.estaca^{-1}), eficiência do uso da eletricidade (EUE, mg.kW^{-1}), eficiência do uso da luz (LUE, mg.mol^{-1}), eficiência do uso da iluminância (IUE, mg.lm^{-1}), eficiência do uso da água (WUE, g.L^{-1}) e relação raiz parte aérea (R/S) das estacas de *Lavandula dentata* após a fase de enraizamento, durante 60 dias sob os tratamentos luminosos

	T0	T1	T2	T3
Sobrevivência	93 ± 6,0ns	95 ± 3,8ns	89 ± 9,4ns	100 ± 0ns
Altura	5,27±0,58b	6,74±0,25a	5,16±0,83b	5,77±0,52b
Massa fresca				
Folhas	578 ± 160ns	595 ± 70ns	601 ± 130ns	599 ± 80ns
Hastes	168 ± 20ns	184 ± 20ns	144 ± 30ns	170 ± 20ns
Raízes	463 ± 70ns	521 ± 10ns	489 ± 80ns	477 ± 40ns
Massa seca				
Folhas	109 ± 34ns	110 ± 15ns	118 ± 27ns	114 ± 14ns
Hastes	59 ± 7ns	62 ± 11ns	46 ± 8ns	57 ± 11ns
Raízes	74 ± 5ns	85 ± 6ns	67 ± 10ns	73 ± 11ns
EUE	241 ± 38ns	256 ± 8ns	231 ± 44ns	243 ± 19ns
LUE	76 ± 11b	116 ± 4a	62 ± 11b	81 ± 6b
IUE	6,1 ± 0,9c	11,8 ± 0,4a	5,1 ± 0,9c	7,9 ± 0,6b
WUE	11,2 ± 2,1ns	11,3 ± 1,1ns	11,5 ± 2,5ns	12,4 ± 1,1ns
R/S	0,45 ± 0,09ns	0,49 ± 0,05ns	0,41 ± 0,04ns	0,43 ± 0,07ns

Letras distintas nas linhas denotam diferença significativa ($P \leq 0.05$) de acordo com o teste de Tukey. T0 = Roblan® LED T8 18W. T1 = Valoya® L18 AP67 Milky. T2 = Valoya® L18 NS1 18W. T3 = Valoya® L18 AP673L Milky.

A altura das estacas enraizadas foi afetada pelos tratamentos (Figura 3A). As estacas enraizadas sob T1 apresentaram médias 25% superiores às demais (Tabela 2), mesmo T1 apresentando iluminância e PPF menor entre todos os tratamentos. Esta diferença em altura não foi encontrada em plantas de *Salvia fruticosa* tratadas com os mesmos espectros luminosos (Bantis e Radoglou, 2019). Quando se observa a composição espectral das luzes que compõem T1, nota-se maior presença de vermelho (R) e vermelho distante (FR). O FR ativa os fitocromos específicos (PHY) responsáveis pela fuga da planta ao sombreamento, resultando em um balanço hormonal que favorece o alongamento das plantas em busca de luz (Gelderen, 2018), como pode ser observado nas estacas enraizadas em T1.

Tabela 3: Altura (cm), longitude dos entrenós (mm), diâmetro da haste (mm), massa fresca e seca das folhas, hastes e raízes (g.planta^{-1}), rendimento de óleo essencial (E.O., % m/m), eficiência do uso da eletricidade (EUE, g.kW^{-1}), eficiência do uso da luz (LUE, g.mol^{-1}), eficiência do uso da iluminância (IUE, g.lm^{-1}) e eficiência do uso da água (WUE, g.L^{-1}) em plantas de *Lavandula dentata* ao final da fase de crescimento, após 60 dias de transplante e sob efeito dos tratamentos luminosos

	T0	T1	T2	T3
Altura	15,0 ± 0,8c	23,3 ± 0,5a	17,3 ± 0,5b	17,5 ± 0,6b
Entrenós	7,8 ± 1,1b	12,0 ± 0,7a	9,1 ± 0,7b	9,3 ± 0,5b
Diâmetro	1,4 ± 0,1ab	1,2 ± 0,2b	1,5 ± 0,2ab	1,6 ± 0,2a
Massa fresca				
Folhas	7,0 ± 0,5b	7,8 ± 0,6b	9,1 ± 0,3a	9,2 ± 0,4a
Hastes	1,1 ± 0,1b	1,7 ± 0,2a	1,7 ± 0,1a	1,8 ± 0,1a
Raízes	3,24 ± 0,09c	3,24 ± 0,13c	3,52 ± 0,13b	4,81 ± 0,11a
Massa seca				
Folhas	1,14 ± 0,06c	1,40 ± 0,14b	1,56 ± 0,10ab	1,63 ± 0,08a
Hastes	0,27 ± 0,02c	0,45 ± 0,04a	0,36 ± 0,02b	0,41 ± 0,02ab
Raízes	0,33 ± 0,03b	0,36 ± 0,04b	0,44 ± 0,04a	0,51 ± 0,01a
E.O.	0,27 ± 0,03ns	0,26 ± 0,01ns	0,24 ± 0,04ns	0,29 ± 0,04ns
EUE	0,80 ± 0,04c	1,02 ± 0,08b	1,10 ± 0,06ab	1,18 ± 0,04a
LUE	127,0 ± 6,9d	232,1 ± 17,1a	150,7 ± 8,4c	198,5 ± 6,5b
IUE	20,3 ± 1,1c	47,1 ± 3,5a	24,2 ± 1,3bc	38,3 ± 1,2b
WUE	8,9 ± 0,5b	9,0 ± 0,5b	9,7 ± 0,4b	11,3 ± 0,4a

Letras distintas nas linhas denotam diferença significativa ($P \leq 0.05$) de acordo com o teste de Tukey. T0 = Roblan® LED T8 18W. T1 = Valoya® L18 AP67 Milky. T2 = Valoya® L18 NS1 18W. T3 = Valoya® L18 AP673L Milky.

No segundo momento do experimento, durante a fase de crescimento das plantas, o alongamento das plantas de T1 ficou mais evidente (Figura 3B), sendo que ao final do experimento as plantas de T1 apresentaram altura 55% maiores que as plantas de T0, sendo o alongamento celular evidenciado pelo aumento dos entrenós (Tabela 3). Visualmente, as plantas crescidas sob T3 foram as que apresentaram aspecto mais compacto (Figura 3B), semelhante ao observado para plantas de *Lippia filifolia* que exibiram mais ramificações, arquitetura de copa mais compacta e maior acúmulo de biomassa vegetal quando crescidas em combinações de espectros azul e vermelho (Chaves et al., 2020).

Durante a fase de enraizamento das estacas, as médias das massas fresca e seca não apresentaram diferenças para folhas, hastes e raízes (Tabela

2), e tampouco surtiu efeito entre a relação raiz/parte aérea (R/S) das mudas produzidas. A relação R/S indica se a estaca terá raízes suficientes para absorver água e nutrientes, sustentando a parte aérea e garantindo o bom desenvolvimento da planta futura (Bantis et al., 2016), não ocorrendo esta diferença, todas as mudas apresentam a mesma proporção de material vegetal.

Após a fase de crescimento nos vasos, foi possível observar que os espectros luminosos ocasionaram efeitos na produção de massa vegetal (Tabela 3). As médias de massa fresca das folhas produzidas em T2 e T3 foram 31% maiores que as observadas em T0. Apesar de T1 ter apresentado plantas de maior altura, a produção de massa fresca das folhas foi inferior às plantas de T2 e T3. Alguns autores sugerem que o acúmulo de massa fresca seja inversamente proporcional à altura das plantas (Chaves et al., 2020). Em relação à massa fresca das hastes, todos os tratamentos foram superiores a T0, 54% em média. A maior média na produção de massa fresca das raízes foi observada no T3, apresentando valores 48% superiores ao controle. Maior produção de massa fresca das folhas consequentemente proporciona melhor partição de carboidratos para as raízes (Geldereren et al., 2018), o que pode ser observado em T3. A luz branca de LED, como as utilizadas em T0, não se mostraram boa fonte de luz na produção de massa fresca de lavanda, o que também foi observado para produção de massa fresca de *Ocimum basilicum* (Frąszczak et al., 2014). Normalmente as plantas tendem a apresentar menor acúmulo de massa fresca quando são submetidas a espectros monocromáticos, mesmo que coloridos, sendo os melhores resultados obtidos em espectros combinados (Li et al., 2020). Mesmo com as variações observadas nas médias do parâmetro massa seca, foi possível notar que as plantas cultivadas sob T3 apresentaram valores médios superiores aos produzidos em T0. Notou-se médias de massa seca superiores em 40%, 59% e 45% para folhas, caule e raízes, respectivamente, em T3 quando comparados com T0.

Ao analisar as duas fases, formação de muda e crescimento da planta, foi possível observar que o espectro T1 apresentou melhor desempenho na formação de mudas, enquanto que o T3 apresentou plantas com dossel mais uniforme. Buscar entender como os espectros podem influenciar em cada fase do vegetal permite estabelecer formas de uma manipulação mais dinâmica das luzes durante o cultivo (Spalholz et al., 2020).

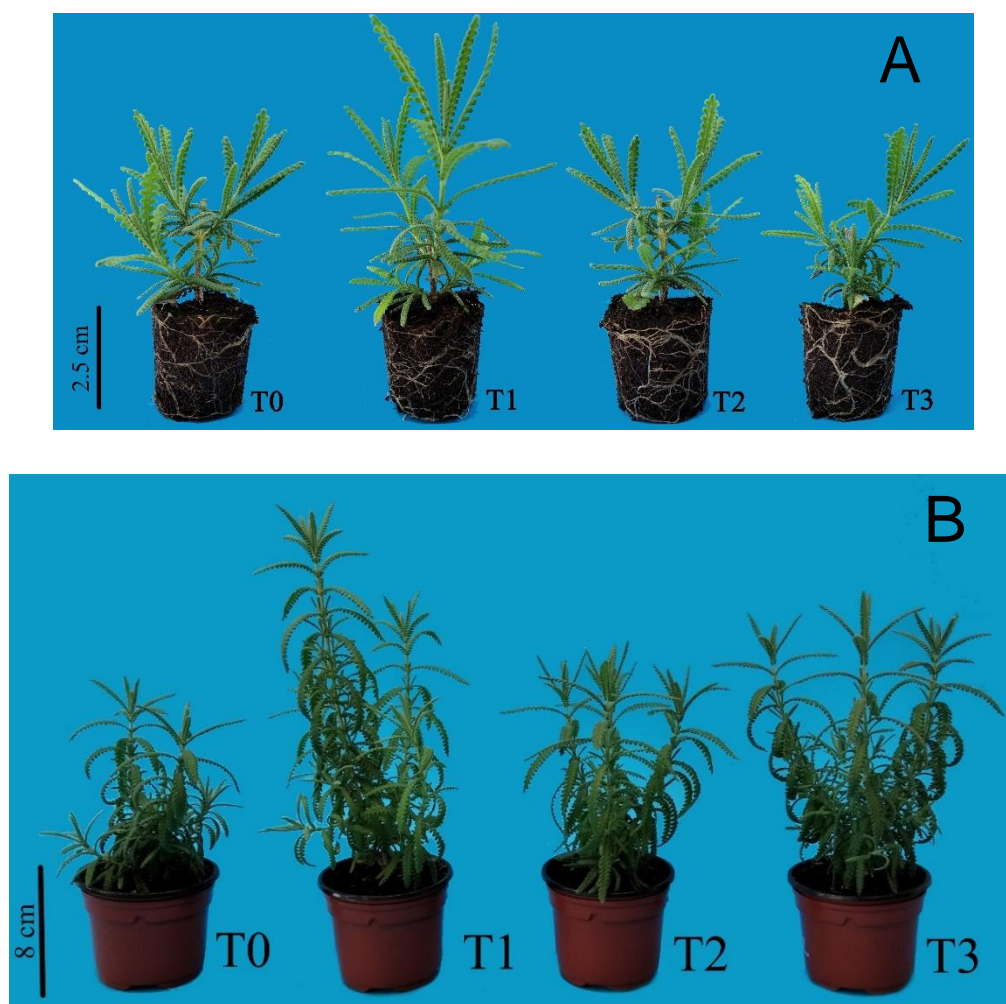


Figura 3: Estacas de *Lavandula dentata* enraizadas após 60 dias iniciais (A); e plantas de *Lavandula dentata* desenvolvidas após 60 dias de transplantadas (B) sob influência dos tratamentos luminosos. T0 = Roblan® LED T8 18W. T1 = Valoya® L18 AP67 Milky. T2 = Valoya® L18 NS1 18W. T3 = Valoya® L18 AP673L Milky.

O óleo essencial, extraído das plantas ao final da fase de crescimento, não apresentou qualquer influência dos espectros estudados, permanecendo a média em 0,27% (Tabela 3). Alguns autores sugerem que os espectros luminosos podem influenciar na produção de massa vegetal, mas não no rendimento, estando a intensidade luminosa mais relacionada a valores de rendimento de óleo essencial (Lima et al., 2017; Alsahli, 2019). Como o observado para *Lipia alba*, *Mentha spicata* e *Petroselinum crispum*, onde as diferenças nos espectros não alteraram o rendimento, mas exerceram influência sobre o perfil químico do óleo extraído (Alves et al., 2018; Ascrizzi et al., 2018; Nguyen et al., 2019).

Lixiviação de nutrientes

O consumo de solução nutritiva pelas plantas foi influenciado pelos espectros luminosos desde a fase do enraizamento, sendo mais evidente na fase de crescimento (Tabela 4).

Tabela 4: Consumo de solução nutritiva (mL.planta^{-1}), drenagem (%), pH e condutividade elétrica do drenado (E.C., dS.m^{-1}), nitrato e potássio lixiviados (mg.planta^{-1}) obtido do cultivo de plantas de *Lavandula dentata* sob efeito de tratamentos luminosos

		T0	T1	T2	T3
Consumo de solução nutritiva	<i>Enraizamento</i>	107,6 ± 7,0ab	115,8 ± 5,2a	108,2 ± 7,6ab	100,2 ± 3,8b
	<i>Crescimento</i>	1269 ± 11c	1423 ± 6ab	1492 ± 29a	1404 ± 73b
Drenagem	<i>Enraizamento</i>	26 ± 1ns	27 ± 1ns	26 ± 1ns	26 ± 1ns
	<i>Crescimento</i>	23 ± 2ns	22 ± 2ns	23 ± 1ns	23 ± 2ns
pH	<i>Enraizamento</i>	6,60 ± 0,03a	6,31 ± 0,05c	6,46 ± 0,04b	6,56 ± 0,04a
	<i>Crescimento</i>	6,07 ± 0,02ab	6,02 ± 0,03b	5,99 ± 0,03b	6,10 ± 0,06a
E.C.	<i>Enraizamento</i>	4,94 ± 0,44ns	5,22 ± 0,18ns	4,90 ± 0,47ns	4,50 ± 0,11ns
	<i>Crescimento</i>	5,98 ± 0,36ns	5,37 ± 0,56ns	5,91 ± 0,49ns	5,22 ± 0,39ns
NO ₃ ⁻ lixiviado	<i>Enraizamento</i>	39,87 ± 0,98ns	38,80 ± 1,07ns	36,33 ± 3,63ns	39,27 ± 2,46ns
	<i>Crescimento</i>	815,7 ± 22,4a	491,1 ± 5,6c	706,7 ± 14,3b	509,5 ± 6,8c
K ⁺ lixiviado	<i>Enraizamento</i>	18,77 ± 1,76ns	21,17 ± 0,80ns	18,08 ± 1,30ns	20,86 ± 3,25ns
	<i>Crescimento</i>	436,1 ± 13,5a	310,1 ± 16,1c	365,5 ± 12,9b	228,2 ± 8,4d

Letras distintas nas linhas denotam diferença significativa ($P \leq 0.05$) de acordo com o teste de Tukey. T0 = Roblan® LED T8 18W. T1 = Valoya® L18 AP67 Milky. T2 = Valoya® L18 NS1 18W. T3 = Valoya® L18 AP673L Milky.

Ao final da fase de crescimento, as plantas crescidas sob T0 foram as que menos consumiram solução (Tabela 4). Os valores de drenagem aqui apresentados, tanto na fase de enraizamento como na fase de crescimento, são valores comumente reportados para sistemas abertos em cultivo sem solo (Rodríguez et al., 2014).

A lixiviação de nutrientes foi quantificada em relação ao volume de solução drenada coletada. Foi observado que não houve diferença na quantidade de nutrientes lixiviados na fase de enraizamento das estacas de lavanda. A média

de nitratos (NO_3^-) lixiviado foi de $38,5 \text{ mg.planta}^{-1}$ e a média de potássio lixiviado (K^+) foi de $19,7 \text{ mg.planta}^{-1}$ (Tabela 4).

Quando se observa a fase de crescimento nos vasos as médias de nutrientes lixiviados apresentaram diferenças em função dos espectros luminosos estudados. Os maiores valores de NO_3^- lixiviados foram observados no drenado das plantas crescidas sob o T0. As plantas que menos lixiviaram NO_3^- foram as crescidas sob os espectros T1 e T3, sendo possível observar uma redução de 38%, ou seja, uma diferença de $315 \text{ mg.planta}^{-1}$ de NO_3^- lixiviado em relação a T0. Da mesma forma, foi possível observar influência dos espectros luminosos nas médias de K^+ lixiviados. Uma vez mais o maior valor de nutriente lixiviado foi observado nas plantas crescidas com luz branca, T0, enquanto as menores médias foram observadas no espectro T3, uma redução de 48% (Tabela 4). A variação da intensidade luminosa e do espectro interfere na absorção e no acúmulo de nutrientes, como os teores de nitrato, por exemplo, que podem ser reduzidos em até 47% (Nájera e Urrestarazu, 2019). Os menores valores de nitrato e potássio lixiviados em T3 podem ser comparados aos encontrados para plantas de *Rosmarinus officinalis* cultivados em casa de vegetação, exibindo valores semelhantes quando irrigados com a mesma solução utilizada neste trabalho (García-Caparrós et al., 2018).

Eficiência no uso de recursos

Alguns dos recursos utilizados, como a água, a eletricidade, a energia luminosa e os nutrientes foram ainda avaliados quanto a eficiência de utilização pelas plantas crescidas sob os espectros estudados. A eficiência do uso da água (WUE), não mostrou influência dos espectros luminosos durante o período de enraizamento das estacas. A WUE apresentou valor médio de $11,6 \text{ g}$ de material fresco produzidos por cada litro de água aplicada (Tabela 2). Já na fase de desenvolvimento nos vasos, as plantas cultivadas sob o T3 se mostraram 23% mais eficientes no uso da água em relação aos demais espectros. Normalmente os sistemas de cultivo sem solo apresentam resultados de eficiência do uso da água maiores que demais sistemas produtivos (Gruda et al., 2019), porém quando se controla a qualidade da luz em faixas que melhor são aproveitadas pela

fotossíntese, obtém-se os melhores resultados do uso hídrico e nutricional pelas plantas (He et al., 2020).

A eficiência da produção vegetal referente à luz empregada pode ser calculada de diversas maneiras, levando em consideração a energia elétrica gasta, a quantidade de mols emitidos por meio do fluxo fotossintético ou a iluminância de cada luz utilizada. Independente da forma que se utiliza para calcular a eficiência em relação a luz, o que se busca são parâmetros para a melhor tomada de decisão em relação ao recurso luminoso a ser adotado (Park et al., 2018; Miler et al., 2019; Yang et al., 2019).

Durante a etapa de enraizamento, os parâmetros que avaliaram as eficiências do uso da luz (LUE) e da iluminância (IUE), apresentaram resultados significativos (Tabela 2). A média observada dos valores de LUE das plantas enraizadas sob T1 apresentou incremento de 82% em relação aos demais tratamentos, enquanto que os valores de IUE foram 110% maiores que os observados em T0. Já os valores da eficiência de uso da eletricidade (EUE) foram semelhantes, produzindo em média 243 mg de material vegetal a cada kW utilizado (Tabela 2).

Já na fase de crescimento das plantas, foi possível observar que os três parâmetros utilizados para medir a eficiência luminosa sofreram influências de acordo com os tratamentos aplicados. As médias observadas para LUE e IUE nas plantas crescidas sob T1 foram superiores em relação ao T0, 82% e 132%, respectivamente (Tabela 3). Porém, as médias observadas de EUE foram superiores em T2 e T3, com incremento de 43% em relação ao controle, produzindo 1,14 gramas de massa fresca por kW utilizado. A EUE é um parâmetro que reflete diretamente nos custos de produção, onde os valores mais elevados de EUE resultam em uma maior economia financeira (Miler et al., 2019).

Ao analisar os teores dos macronutrientes da parte aérea das plantas após a fase de crescimento, foi possível observar que somente um, dentre os seis nutrientes avaliados, não apresentou diferença em relação aos tratamentos testados. Os teores de magnésio não apresentaram alterações significativas, com média geral de 4,2 g.kg⁻¹ (Tabela 5). Mesmo observando as variações entre os teores em todos os tratamentos, é possível traçar uma ordem de acúmulo para estes nutrientes, sendo o potássio absorvido em maior quantidade, seguido pelo

nitrogênio, cálcio, fósforo, magnésio e por fim o enxofre em menor quantidade, sendo ordem semelhante à observada por Fascella et al. (2020).

Tabela 5: Teores dos macronutrientes (g.kg⁻¹): nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S). Eficiência do uso do nutriente (NUE) e eficiência da absorção do nutriente (NUpE) em plantas de *Lavandula dentata* ao final da fase de crescimento, após 60 dias de transplante e sob efeito dos tratamentos luminosos

	T0	T1	T2	T3
Teores nutricionais				
N	26,27 ± 1,31a	23,08 ± 0,73b	22,25 ± 0,48b	23,50 ± 1,18b
P	6,09 ± 0,23a	5,18 ± 0,25c	5,53 ± 0,24bc	5,82 ± 0,24ab
K	44,94 ± 0,62a	42,90 ± 1,28ab	42,58 ± 0,59b	43,60 ± 1,56ab
Ca	11,84 ± 0,25b	11,90 ± 0,78ab	12,48 ± 0,92ab	13,13 ± 0,05a
Mg	4,40 ± 0,36ns	4,04 ± 0,21ns	4,12 ± 0,07ns	4,25 ± 0,16ns
S	3,25 ± 0,12b	3,18 ± 0,16b	3,34 ± 0,07ab	3,51 ± 0,09b
NUE				
N	5,2 ± 0,5b	6,6 ± 0,6a	6,4 ± 0,4a	7,1 ± 0,6a
P	17,2 ± 1,6b	21,9 ± 2,0a	21,3 ± 1,2a	23,4 ± 2,0a
K	2,9 ± 0,3b	3,7 ± 0,3a	3,6 ± 0,2a	3,9 ± 0,3a
Ca	5,3 ± 0,5b	6,8 ± 0,6a	6,6 ± 0,4a	7,2 ± 0,6a
Mg	32,8 ± 3,1b	41,9 ± 3,8a	40,7 ± 2,2a	44,8 ± 3,8a
S	9,9 ± 0,9b	12,7 ± 1,2a	12,4 ± 0,7a	13,6 ± 1,2a
NUpE				
N	0,128 ± 0,011b	0,144 ± 0,008b	0,145 ± 0,006b	0,172 ± 0,008a
P	0,098 ± 0,005c	0,114 ± 0,011b	0,118 ± 0,011b	0,143 ± 0,008a
K	0,131 ± 0,013b	0,160 ± 0,012a	0,154 ± 0,010ab	0,173 ± 0,016a
Ca	0,063 ± 0,006c	0,081 ± 0,004b	0,082 ± 0,008ab	0,095 ± 0,008a
Mg	0,134 ± 0,010c	0,169 ± 0,012b	0,168 ± 0,011b	0,196 ± 0,012a
S	0,031 ± 0,002c	0,041 ± 0,001b	0,040 ± 0,002b	0,049 ± 0,003a

Letras distintas nas linhas denotam diferença significativa ($P \leq 0,05$) de acordo com o teste de Tukey. T0 = Roblan® LED T8 18W. T1 = Valoya® L18 AP67 Milky. T2 = Valoya® L18 NS1 18W. T3 = Valoya® L18 AP673L Milky.

Foram utilizadas duas relações para avaliar os nutrientes empregados. A eficiência do uso do nutriente (NUE) sofreu influência dos espectros estudados, apresentando a eficiência inferior no uso dos nutrientes nas plantas crescidas sob T0, com resultados variando de 28% a 30% mais baixos que os observados na NUE das plantas oriundas dos demais tratamentos. Já quando se avalia a eficiência de absorção dos nutrientes (NUpE), é possível observar que as plantas crescidas em T3 foram mais eficientes em absorver os nutrientes oferecidos. Tais diferenças ocorrem ao relacionar os teores nutricionais com a massa vegetal

produzida. Inicialmente constatou-se que as plantas produzidas em T0 apresentaram maiores teores nutricionais (Tabela 5), porém foram as que produziram menores médias de massa vegetal (Tabela 3). Porém, nos demais tratamentos foi possível observar menores teores nutricionais e maior produção de massa vegetal, o que exemplifica o efeito de diluição dos nutrientes (Hawkesford, 2012).

CONCLUSÃO

Os espectros não afetaram a sobrevivência durante o enraizamento das estacas de *Lavandula dentata*. As mudas produzidas na primeira fase foram superiores na eficiência do uso da luz e iluminância das plantas crescidas sob T1, sendo este o melhor espectro para a produção de mudas a partir de estacas.

Na fase de crescimento e desenvolvimento das plantas de *L. dentata*, as plantas crescidas sob o espectro T3 apresentaram melhores resultados de acúmulo de biomassa e melhor aspecto visual de dossel, apresentando forma mais compacta de arbusto, como é o esperado para esta espécie. T3 proporcionou também melhor aproveitamento no uso da energia elétrica gasta durante o experimento, bem como maior eficiência no uso da água. Apresentaram ainda menor lixiviação de nutrientes e melhor eficiência no uso dos nutrientes aplicados.

Desta maneira espectros semelhantes ao T1 são desejáveis para a produção de mudas por estaquia de *L. dentata*, enquanto espectros semelhantes a T3 são desejáveis para o cultivo desta planta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alsahli, A. A. (2019). Light effects on growth and essential oil quantity and constituents in some Apiaceae plants. *African Journal of Agricultural Research*, 14(29), 1262-1271.
- Alves, A. C., Jesus, F. N., Alves, P. B., Santos, H. V., Souza, G. S., Santos, A. R. (2018). Biomass production and essential oil of lemon balm cultivated under colored screens and nitrogen. *Horticultura Brasileira*, 36(1), 94-99.
- Ascrizzi, R., Fraternali, D., Flamini, G. (2018). Photochemical response of parsley (*Petroselinum crispum* (Mill.) Fuss) grown under red light: The effect on the essential oil composition and yield. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 185, 185-191.
- Bahedh, S. B., Habib, A. A. S. A. (2020). Evaluation the activity of some medicinal plants extracts as promoter rooting for stem cuttings of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). *Plant Archives*, 20(1), 3243-3249.
- Bantis, F., Ouzounis, T., Radoglou, K. (2016). Artificial LED lighting enhances growth characteristics and total phenolic content of *Ocimum basilicum*, but variably affects transplant success. *Scientia Horticulturae*, 198, 277-283.
- Bantis, F., Radoglou, K. (2019). Testing the potential of LEDs to enhance growth and quality characteristics of *Salvia fruticosa*. *Horticultural Science*, 46(2), 98-106.
- Bona, C. M., Biasetto, I. R., Masetto, M., Deschamps, C., Biasi, L. A. (2012). Influence of cutting type and size on rooting of *Lavandula dentata* L. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 14(1), 8-11.
- Chaves, M. C., Freitas, J. C. E., Nery, F. C., Paiva, R., de Oliveira Prudente, D., Costa, B. G. P., Grazul, R. M. (2020). Influence of colorful light-emitting diodes

on growth, biochemistry, and production of volatile organic compounds in vitro of *Lippia filifolia* (Verbenaceae). *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 212, 112040.

Chrysargyris, A., Panayiotou, C., Tzortzakis, N., 2016. Nitrogen and phosphorus levels affected plant growth, essential oil composition and antioxidant status of lavender plant (*Lavandula angustifolia* Mill.). *Industrial Crops Production*. 83, 577-586.

Dougher, T. A., Bugbee, B. (2004). Long-term blue light effects on the histology of lettuce and soybean leaves and stems. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 129(4), 467-472.

Fan, X. X., Xu, Z. G., Liu, X. Y., Tang, C. M., Wang, L. W., Han, X. L. (2013). Effects of light intensity on the growth and leaf development of young tomato plants grown under a combination of red and blue light. *Scientia Horticulturae*, 153, 50-55.

Fascella, G., Mammano, M.M., D'Angiolillo, F., Pannico, A., Rouphael, Y., (2020). Coniferous wood biochar as substrate component of two containerized Lavender species: Effects on morpho-physiological traits and nutrients partitioning. *Scientia Horticulturae*. 267, 109356.

Folta, K. M., Lieg, E. J., Durham, T., Spalding, E. P. (2003). Primary inhibition of hypocotyl growth and phototropism depend differently on phototropin-mediated increases in cytoplasmic calcium induced by blue light. *Plant Physiology*, 133(4), 1464-1470.

Frańczak, B., Golcz, A., Zawirska-Wojtasiak, R., Janowska, B. (2014). Growth rate of sweet basil and lemon balm plants grown under fluorescent lamps and LED modules. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus*, 13(2), 3-13.

García-Caparrós, P., Llanderal, A., Rodríguez, J. C., Maksimovic, I., Urrestarazu, M., Lao, M. T. (2018). Rosemary growth and nutrient balance: Leachate

fertigation with leachates versus conventional fertigation. *Scientia Horticulturae*, 242, 62-68.

García-Caparrós, P., Quiróz, A. L., Teresa Lao, M. (2019). Water and nutrient uptakes efficiencies in rosemary plants under different fertigation treatments. *Journal of Plant Nutrition*, 42(14), 1668-1675.

Gelderen, K., Kang, C., Pierik, R. (2018). Light signaling, root development, and plasticity. *Plant Physiology*, 176(2), 1049-1060.

Gil, C. S., Jung, H. Y., Lee, C., Eom, S. H. (2020). Blue light and NAA treatment significantly improve rooting on single leaf-bud cutting of Chrysanthemum via upregulated rooting-related genes. *Scientia Horticulturae*, 274, 109650.

Gruda, N. S. (2019). Increasing sustainability of growing media constituents and stand-alone substrates in soilless culture systems. *Agronomy*, 9(6), 298.

Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Skrumsager Møller, I., White, P. (2012). Functions of macronutrients. In: Marschner P (ed) *Mineral nutrition of higher plants*; 3rd edn. Elsevier Ltd., pp 135–189

He, D., Yan, Z., Sun, X., Yang, P. (2020). Leaf development and energy yield of hydroponic sweet potato seedlings using single-node cutting as influenced by light intensity and LED spectrum. *Journal of Plant Physiology*, 254, 153274.

Idris, A., Linatoc, A. C., Bakar, M. F. A., Ibrahim, Z. T., Audu, Y. (2018). Effect of light quality and quantity on the accumulation of flavonoid in plant species. *Journal of Science and Technology*, 10(3).

Kimbrough, K.A., Swift, C.E. (2009). *Growing lavender in Colorado*. Gardening Series. *Flowers*; no. 7. 245.

Kiuru, P., Muriuki, S. J. N., Wepukhulu, S. B., Muriuki, S. J. M. (2015). Influence of growth media and regulators on vegetative propagation of rosemary

(*Rosmarinus officinalis* L.). *East African Agricultural and Forestry Journal*, 81(2-4), 105-111.

Lesage-Meessen, L., Bou, M., Sigoillot, J. C., Faulds, C. B., Lomascolo, A. (2015). Essential oils and distilled straws of lavender and lavandin: a review of current use and potential application in white biotechnology. *Applied microbiology and biotechnology*, 99(8), 3375-3385.

Li, C. X., Xu, Z. G., Dong, R. Q., Chang, S. X., Wang, L. Z., Khalil-Ur-Rehman, M., Tao, J. M. (2017). An RNA-seq analysis of grape plantlets grown in vitro reveals different responses to blue, green, red LED light, and white fluorescent light. *Frontiers in plant science*, 8, 78.

Li, C. L., Zhang, K., Gong, X. C., Wang, H. Y., Gao, Y. H., Wang, X. Q., Hu, Y. G. (2020). Effects of different LEDs light spectrum on the growth, leaf anatomy, and chloroplast ultrastructure of potato plantlets in vitro and minituber production after transplanting in the greenhouse. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(1), 108-119.

Lima, V. A., Pacheco, F. V., Avelar, R. P., Alvarenga, I. C., Pinto, J. E. B., Alvarenga, A. A. (2017). Growth, photosynthetic pigments and production of essential oil of long-pepper under different light conditions. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, (AHEAD).

Lis-Balchin, M. T. (2012) Lavender. In: Peter, K. V. (ed) *Handbook of herbs and spices*. Woodhead Publishing Limited.

Matysiak, B., Nogowska, A. (2016). Impact of fertilization strategies on the growth of lavender and nitrates leaching to environment. *Horticultural Science*, 43(2), 76-83.

Menz, J., Range, T., Trini, J., Ludewig, U., Neuhäuser, B. (2018). Molecular basis of differential nitrogen use efficiencies and nitrogen source preferences in contrasting *Arabidopsis* accessions. *Scientific reports*, 8(1), 1-11.

- Miler, N., Kulus, D., Woźny, A., Rymarz, D., Hajzer, M., Wierzbowski, K., Nelke, R., Szeffs, L. (2019). Application of wide-spectrum light-emitting diodes in micropropagation of popular ornamental plant species: a study on plant quality and cost reduction. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 55(1), 99-108.
- Morales, I., Urrestarazu, M. (2014). Effect of a passive mixing device on the electrical conductivity and pH values of a nutrient solution. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 140(4), 04013022.
- Nguyen, T. L., Saleh, M. A. (2019). Effect of exposure to light emitted diode (LED) lights on essential oil composition of sweet mint plants. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 54(5), 435-440.
- Najar, B., Demasi, S., Caser, M., Gaino, W., Cioni, P. L., Pistelli, L., Scariot, V., 2019. Cultivation Substrate Composition Influences Morphology, Volatilome and Essential Oil of *Lavandula angustifolia* Mill. *Agronomy* 9(8), 411.
- Nájera, C., Urrestarazu, M. (2019). Effect of the intensity and spectral quality of LED light on yield and nitrate accumulation in vegetables. *Hortscience*, 54(10), 1745-1750.
- Nájera, C., Guil-Guerrero, J. L., Enríquez, L. J., Álvaro, J. E., Urrestarazu, M. (2018). LED-enhanced dietary and organoleptic qualities in postharvest tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 145, 151-156.
- Oliveira, R. C. D., Asmar, S. A., Silva, H. F. D. J., Morais, T. P. D., Luz, J. M. Q. (2019). Regulators, culture media and types of lights in vitro lavender culture. *Ciência Rural*, 49(11).
- Ouedrhiri, W., Mounyr, B., Harki, E. H., Moja, S., Greche, H. (2017). Synergistic antimicrobial activity of two binary combinations of marjoram, lavender, and wild thyme essential oils. *International journal of food properties*, 20(12), 3149-3158.

- OuYang, F., Mao, J. F., Wang, J., Zhang, S., Li, Y. (2015). Transcriptome analysis reveals that red and blue light regulate growth and phytohormone metabolism in Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.]. *PLoS One*, 10(8), e0127896.
- Park, Y., Runkle, E. S. (2018). Spectral effects of light-emitting diodes on plant growth, visual color quality, and photosynthetic photon efficacy: White versus blue plus red radiation. *PLoS One*, 13(8), e0202386.
- Pirzad, A., Mohammadzadeh, S. (2018). Water use efficiency of three mycorrhizal Lamiaceae species (*Lavandula officinalis*, *Rosmarinus officinalis* and *Thymus vulgaris*). *Agricultural Water Management*, 204, 1-10.
- Pistelli, L., Najar, B., Giovanelli, S., Lorenzini, L., Tavarini, S., Angelini, L.G., (2017). Agronomic and phytochemical evaluation of lavandin and lavender cultivars cultivated in the Tyrrhenian area of Tuscany (Italy). *Industrial Crops Production*. 109, 37-44.
- Rodríguez, D., Reça, J., Martínez, J., Lao, M. T., Urrestarazu, M. (2014). Effect of controlling the leaching fraction on the fertigation and production of a tomato crop under soilless culture. *Scientia Horticulturae*, 179, 153-157.
- Sabatino, L., D'Anna, F., Iapichino, G. (2017). Auxin application and cutting length affect rooting in *Cuphea hyssopifolia* stem cuttings. *Journal of Applied Horticulture*, 19(3), 222-225.
- Sonneveld, C., Straver, N. (1994). *Nutrient solutions for vegetables and flowers grown in water or substrates*. 10th ed. Naaldwijk, the Netherlands.
- Spalholz, H., Perkins-Veazie, P., Hernández, R. (2020). Impact of sun-simulated white light and varied blue: red spectrums on the growth, morphology, development, and phytochemical content of green-and red-leaf lettuce at different growth stages. *Scientia Horticulturae*, 264, 109195.

- Sriwichai, T., Junmahasathien, T., Sookwong, P., Potapohn, N., Sommano, S.R., (2019). Evaluation of the optimum harvesting maturity of makhwaen fruit for the perfumery industry. *Agriculture* 9(4), 78.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., Murphy, A. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. Artmed Editora.
- Urrestarazu, M., Nájera, C., del Mar Gea, M. (2016). Effect of the spectral quality and intensity of light-emitting diodes on several horticultural crops. *HortScience*, 51(3), 268-271.
- Viršilė, A., Samuolienė, G., Miliauskienė, J., Duchovskis, P. (2019). Applications and advances in LEDs for horticulture and crop production. In *Ultraviolet LED Technology for Food Applications* (pp. 35-65). Academic Press.
- Wei, H., Liu, C., Hu, J., Jeong, B. R. (2020). Quality of Supplementary Morning Lighting (SML) During Propagation Period Affects Physiology, Stomatal Characteristics, and Growth of Strawberry Plants. *Plants*, 9(5), 638.
- Yan, Z., He, D., Niu, G., Zhou, Q., Qu, Y. (2019). Growth, nutritional quality, and energy use efficiency of hydroponic lettuce as influenced by daily light integrals exposed to white versus white plus red light-emitting diodes. *HortScience*, 54(10), 1737-1744.

FONTES E DOSES DE POTÁSSIO NA PRODUÇÃO, RENDIMENTO DE ÓLEOS ESSENCIAIS E TEORES NUTRICIONAIS DE LAVANDA

RESUMO

A lavanda francesa (*Lavandula dentata*) é cultivada pelo seu potencial ornamental e medicinal. Muitas das atividades biológicas que estas plantas possuem estão associadas aos constituintes dos óleos essenciais extraídos de suas folhas e flores. O potássio é um macronutriente essencial às plantas e a sua complementação é prática rotineira nos cultivos em solos intemperizados. A fonte de potássio mais utilizada no Brasil é o KCl, sendo muitas vezes questionada pela presença do íon Cl⁻. Este estudo testou o desempenho de plantas de *L. dentata* cultivadas sob cinco doses (0, 50, 100, 200 e 300 mg.dm⁻³) de K fornecidas por meio de duas fontes: KCl e K₂SO₄. Mudanças clonais foram plantadas em vasos, em casa de vegetação, com arranjo de blocos ao acaso em esquema fatorial duplo. Quando atingiram o florescimento, as plantas foram coletadas e avaliadas quanto às características biométricas. Após secas se realizaram as análises dos teores dos nutrientes minerais presentes na parte aérea. O material foi utilizado ainda para a extração dos óleos essenciais por hidrodestilação, e o rendimento calculado em porcentagem (m/m). A única característica biométrica e morfológica das plantas que apresentou influência dos tratamentos foi o número de inflorescências, onde as plantas adubadas com KCl apresentaram resultados superiores, sendo possível calcular a produção máxima de flores em 5,3

flores.planta⁻¹ quando se aplica a dose estimada de 230 mg.dm⁻³ de K na forma de KCl. Dentre os 14 nutrientes avaliados, as plantas crescidas sob influência do KCl apresentaram alterações nos teores de 11 elementos, enquanto as plantas oriundas dos tratamentos com K₂SO₄ apresentaram seis nutrientes com teores influenciados. O rendimento do óleo essencial foi maior quando se aplicou K₂SO₄, sendo o rendimento máximo calculado (1,44%) alcançado quando se aplica a dose máxima estimada de 206 mg.dm⁻³ de K na forma de K₂SO₄.

Termos de indexação: *Lavandula dentata*, cloreto de potássio, sulfato de potássio, fertilizantes, nutrição mineral.

POTASSIUM SOURCES AND LEVELS IN LAVENDER PRODUCTION, MINERAL NUTRIENTS LEVELS AND ESSENTIAL OIL YIELD

ABSTRACT

French lavender (*Lavandula dentata*) is cultivated for its ornamental and medicinal potential. Many of the biological activities that these plants have are associated with the constituents of essential oils extracted from their leaves and flowers. Potassium is an essential macronutrient for plants and its complementation is a routine practice in crops in weathered soils. The most used source of potassium in Brazil is KCl, which is often questioned by the presence of the Cl⁻ ion. This study tested the performance of *L. dentata* plants grown under five levels (0, 50, 100, 200 and 300 mg.dm⁻³) of K supplied from two sources: KCl and K₂SO₄. Rooted stem cuttings were transplanted in pots, in a greenhouse, with a random arrangement of blocks in a double factorial scheme. When the plants were blooming, the plants were collected and evaluated for biometric characteristics. After drying the material, analyzes of the levels of mineral nutrients present in the shoot were carried out. The material was also used for the extraction of essential oils by hydrodistillation, and the yield calculated in percentage (m/m). The only

biometric and morphological characteristic of the plants that showed influence of the treatments was the number of inflorescences, where the plants fertilized with KCl showed superior results, being possible to calculate the maximum flower production in 5.3 flowers.plant⁻¹ when applied to estimated dose of 230 mg.dm⁻³ of K in the form of KCl. Among the 14 nutrients evaluated, plants grown under the influence of KCl showed changes in the levels of 11 elements, while plants from treatments with K₂SO₄ showed six nutrients with influenced levels. The essential oil yield was higher when K₂SO₄ was applied, with the maximum calculated yield (1.44%) achieved when the maximum estimated dose of 206 mg.dm⁻³ of K is applied in the form of K₂SO₄.

Keywords: *Lavandula dentata*, potassium chloride, potassium sulfate, fertilizers, mineral nutrition.

INTRODUÇÃO

A lavanda francesa (*Lavandula dentata*) é uma planta nativa da bacia mediterrânea, muito cultivada ao redor do mundo pelo seu potencial ornamental, aromático e medicinal (Lis-Balchin, 2012). Muitos são os estudos sobre as características do óleo essencial destas plantas. Entre elas, se destacam atividades biológicas como toxicidade às células cancerígenas (Justus et al., 2019), efeitos antioxidantes (Justus et al., 2018), bactericida (Bouazama et al., 2017), larvicida (Dris et al., 2017) e fungicida (Rahmouni et al., 2019), além de efeito anticorrosivo em metais (El Ouadi et al., 2015). Muitas destas atividades biológicas são atribuídas aos constituintes químicos dos óleos essenciais, como a fenchona, alfa-terpineol, 1,8-cioneol, cânfor, canfeno, eucaliptol e limoneno (Justus et al., 2018; Martins et al., 2019).

O processo de evolução dos solos tropicais, a exemplo dos brasileiros, é caracterizado pelo alto grau de intemperismo. Este processo eleva a concentração de íons de hidrogênio, que somadas às cargas positivas presentes no solo facilitam a perda de cátions por lixiviação (Lambers e Oliveira, 2019). A

característica inerente deste tipo de solo faz com que a complementação potássica na agricultura brasileira seja algo extremamente necessária e grandiosa. Como o Brasil é um país deficitário na produção nacional de insumos potássicos, o país ocupa o lugar de segundo maior importador de potássio (K) do mundo, sendo o cloreto de potássio o de maior montante, devido ao maior percentual de K em relação ao sulfato de potássio (Oliveira et al., 2019).

A essencialidade do K nas plantas não está relacionada diretamente à presença deste elemento em nenhuma estrutura celular, mas sim na importância que o K exerce sobre os processos metabólicos. O potássio é consagrado como um importante ativador enzimático, pois controla a regulação osmótica e por consequência atua na manutenção do balanço hídrico. Além de atuar no transporte de metabólitos ao longo da planta, afetando diretamente a capacidade de fixação de carbono do vegetal (Cakmak, 2005; Hawkesford et al., 2012; Taiz et al., 2017). Em plantas que se objetivam a produção de estruturas florais, o potássio está diretamente relacionado ao desenvolvimento das flores, interferindo tanto no tamanho, quanto no número e na massa de inflorescências (Hashemabadi et al., 2012). Já em plantas medicinais e aromáticas em que o objetivo é a extração de óleo essencial e a qualidade dos constituintes dos óleos, o potássio pode tanto afetar o rendimento final do óleo como acentuar características de interesse econômico (Khalid, 2013; Nurzynska-Wierdak et al., 2013; Freitas et al., 2020).

Quando se trabalha com a complementação utilizando como fonte o sulfato de potássio (K_2SO_4), juntamente com o potássio será acrescentado ao sistema enxofre na forma de sulfato (SO_4^{2-}). O enxofre é considerado um macronutriente essencial às plantas, por ser um elemento estrutural constituinte dos aminoácidos cisteína e metionina, formadores das proteínas, além de ser importante cofator enzimático e auxiliando no metabolismo secundário das plantas e também como sinalizador de estresses (Hawkesford et al., 2012; Kunert et al., 2016). Já quando se trabalha com o cloreto de potássio (KCl) o íon acompanhante que se introduz ao sistema produtivo é o cloreto (Cl^-). Alguns autores consideram o cloreto como um micronutriente essencial, outros como benéfico, e em alguns casos podendo ser absorvido pelas plantas em concentrações semelhantes aos macronutrientes. O íon Cl^- está presente em compostos orgânicos vegetais, bem como na sua forma iônica nas células,

atuando como estabilizador da membrana celular e como regulador da pressão de turgor celular (Broadley et al., 2012; Franco-Navarro et al., 2016; Geilfus, 2018).

Em ambientes naturais, as plantas de lavanda são capazes de se desenvolver em solos com baixa disponibilidade de nutrientes. Assim como outras plantas dessa família, como tomilho, orégano e sálvia, as plantas de lavanda são consideradas rústicas, porém o seu crescimento e desenvolvimento são potencializados quando os fatores de cultivo são manejados de forma adequada. Assim, o fornecimento de nutrientes minerais, bem como a melhor fonte nutricional a ser utilizada, podem ser otimizados visando garantir a produção destas plantas (Yadegari, 2015; Komnenić et al., 2020).

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento, os teores nutricionais, e o rendimento dos óleos essenciais extraídos das plantas de *Lavandula dentata* cultivadas sob a influência de doses de potássio utilizando como fontes o sulfato de potássio e o cloreto de potássio.

MATERIAL E MÉTODOS

Material vegetal e condições de cultivo

O ensaio foi realizado em casa de vegetação na Unidade de Apoio à Pesquisa, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, na cidade de Campos dos Goytacazes (21°45'S e 41°17'W, 11 metros de altitude), no período de abril a outubro de 2019. Estacas de lavanda (*Lavandula dentata*) foram obtidas de plantas adultas e saudáveis, cultivadas para este fim nas mesmas instalações. As estacas foram enraizadas em bandejas de poliestireno expandido, com 128 células, com capacidade de aproximadamente 30 cm³ cada célula, preenchidas com uma mistura (1:1, v/v) de areia de sílica e substrato comercial (Basaplant Hortaliças, Base Soluções Agrícolas, Artur Nogueira, São Paulo, Brasil). As estacas permaneceram nas bandejas de abril a maio, totalizando 40 dias de enraizamento. A montagem do experimento ocorreu quando as mudas apresentavam aproximadamente 10 cm de altura, no início de junho. As mudas foram transplantadas em vasos plásticos de 3 dm³

(aproximadamente 18 cm de diâmetro e 15 cm de altura) preenchidos com solo com as seguintes características químicas e físicas: pH (H₂O): 6,4; P: 10 mg.dm⁻³; K: 48 mg.dm⁻³; Fe 31 mg.dm⁻³; Cu: 0,6 mg.dm⁻³; Zn: 3,4 mg.dm⁻³; Mn: 20,4 mg.dm⁻³; Ca: 1,8 cmol_c.dm⁻³; Mg: 0,8 cmol_c.dm⁻³; Al: 0 cmol_c.dm⁻³; H+Al: 0,9 cmol_c.dm⁻³; Na: 0,09 cmol_c.dm⁻³; carbono orgânico: 0,73%; matéria orgânica: 12,6 g.dm⁻³; areia: 866 g.kg⁻¹; silte: 62 g.kg⁻¹ e argila: 72 g.kg⁻¹. Antes do transplântio das mudas, foi realizada a complementação fosfatada do solo com 120 mg.dm⁻³, utilizando NH₄H₂PO₄ como fonte. A complementação nitrogenada foi realizada utilizando-se NH₄NO₃ como fonte, em três aplicações, até atingir a dose de 50 mg.dm⁻³ de N (Biesiada et al., 2008), descontando o que já foi aplicado no transplântio.

Os tratamentos foram compostos de cinco doses de complementação potássica, utilizando duas fontes: cloreto de potássio (KCl) e sulfato de potássio (K₂SO₄). As doses foram 0, 50, 100, 200 e 300 mg.dm⁻³ de K, corrigidas para cada fonte estudada. Os vasos foram arranjados em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições e quatro vasos de 3 dm³ por unidade experimental. Desta forma, totalizando 16 vasos por tratamento e 160 vasos em todo o experimento, esquema fatorial (fonte x dose). Para a determinação do volume de água a ser aplicada calculou-se a ETo com base na equação de Hargreaves e Samani (1985), que leva em consideração a variação de temperatura, e utilizou-se o Kc conforme boletim nº 56 da FAO para ervas perenes (Allen et al., 1998). O volume de água determinado foi aplicado em sistema automatizado por fitas gotejadoras. A temperatura foi registrada utilizando um Hobo data logger (U23-001 Hobo Pro v2, temp/rh, Onset, Bourne, MA, USA) sendo a máxima registrada em 42°C e a mínima em 13°C.

Colheita do material e preparo das amostras.

A colheita ocorreu em outubro de 2019 durante o florescimento pleno, e ao final do dia (Hassiotis et al., 2014), totalizando quatro meses de cultivo. Antes do corte, foram tomados dados de altura das plantas. Logo após o corte, a parte aérea das plantas foi dividida em inflorescências e parte vegetativa. A massa fresca foi determinada e então o material foi acondicionado em sacos de papel e levados à estufa para secagem, com circulação forçada de ar a 40°C (Q314M,

Quimis, Diadema, SP, Brasil) até massa constante. A seguir foram determinadas as massas secas tanto das inflorescências quanto das partes vegetativas.

Determinação dos nutrientes minerais.

Todo o material seco da parte aérea foi triturado, utilizando micro moinho do tipo Willey (MA048, Marconi, Piracicaba, SP, Brasil), com peneiras de 20 mesh e homogeneizados. Os teores de nitrogênio (N) foram determinados após digestão do material em H₂SO₄. Foi utilizado o método colorimétrico Nessler por espectrofotometria (Specord 210, Analytik Jena, Jena, Alemanha). Os teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), ferro (Fe), cobre (Cu), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni) e zinco (Zn) foram determinados após digestão do material seco em HNO₃ por meio espectrômetro de emissão atômica (ICPE-9000, Shimadzu, Kyoto, Japão). As configurações do gás argônio utilizado foram gás do plasma 8,0 L.min⁻¹, gás auxiliar 0,70 L.min⁻¹ e gás carreador 0,55 L.min⁻¹. Os teores de cloreto (Cl⁻) foram determinados utilizando o método de Morh, adaptado por Silva (1999), com solução padronizada de nitrato de prata.

Extração e quantificação do óleo essencial.

O óleo essencial (OE) foi extraído de todo material da parte aérea (flores, folhas e hastes). A extração ocorreu via hidrodestilação da massa vegetal seca em um extrator tipo Clevenger, por um período de duas horas (Chrysargyris et al., 2016), em frascos de fundo redondo de dois litros. Os teores dos OE foram expressos em porcentagem, m/m, (Sriwichai et al., 2019).

Análises estatísticas.

Todos os dados morfológicos, nutricionais e do rendimento dos óleos essenciais foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA). A comparação das médias foi realizada utilizando teste de regressão com o software SANEST (Zonta et al., 1984).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro de ANOVA (Tabela 1) observa-se que das cinco variáveis morfológicas avaliadas, somente o número de inflorescência apresentou significância estatística.

Tabela 1: Resultados da análise de variância para as variáveis número de inflorescências, da massa seca das inflorescências, fresca e seca das plantas (g.planta^{-1}), altura (cm), rendimento do óleo essencial (% m/m), teores de macronutrientes (g.kg^{-1}) e micronutrientes (mg.kg^{-1}) em plantas de *Lavandula dentata* cultivadas sob fontes e doses de potássio. Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil

	Fonte de K	Dose de K	Fonte*Dose	Média	CV (%)
Número de inflorescências	<i>ns</i>	<i>ns</i>	**	3,8	26
Massa seca das inflorescências	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	0,5	46
Massa fresca das plantas	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	60,7	9
Massa seca das plantas	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	16,2	10
Altura das plantas	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	38,6	7
Rendimento de óleo essencial	**	***	**	1,21	9
Teores de macronutrientes					
Nitrogênio	<i>ns</i>	<i>ns</i>	**	14,2	10
Fósforo	**	*	*	2,4	6
Potássio	***	***	<i>ns</i>	27,1	5
Cálcio	<i>ns</i>	<i>ns</i>	***	8,8	14
Magnésio	**	***	***	3,6	9
Enxofre	***	***	***	2,1	8
Cloro	***	***	***	11,2	9
Teores de micronutrientes					
Boro	<i>ns</i>	**	***	26,8	11
Cobre	<i>ns</i>	**	<i>ns</i>	5,1	22
Ferro	<i>ns</i>	*	*	402,2	9
Manganês	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	103,5	29
Molibdênio	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	0,063	50
Níquel	<i>ns</i>	<i>ns</i>	**	0,9	19
Zinco	<i>ns</i>	<i>ns</i>	**	34,8	18

Médias seguidas por 'ns' significam não significativas. Significância estatística: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ e *** $p < 0.001$ na análise de variância (ANOVA).

A massa seca das inflorescências ($0,5 \text{ g.planta}^{-1}$), a massa fresca ($60,7 \text{ g.planta}^{-1}$) e a massa seca ($16,2 \text{ g.planta}^{-1}$) das plantas, bem como a altura ($38,6 \text{ cm}$) não foram influenciadas pelas fontes e doses de potássio aplicadas (Tabela 1). As plantas de *L. dentata* quando submetidas a algum tipo de estresse salino apresentam sinais visuais como redução do tamanho da planta, clorose e necrose de folhas e caules basais (Paraskevopoulou et al., 2020). Em todas as plantas deste experimento, incluindo as crescidas nas mais elevadas doses de K, nas duas fontes utilizadas, não se observaram alterações que caracterizassem estresse salino.

As doses e fontes de potássio influenciaram o número de inflorescências nas plantas de *L. dentata* (Figura 1). As plantas adubadas com sulfato de potássio, como fonte de K, apresentaram valores constantes de número de inflorescência, com uma média de 3,5 flores por planta, com o incremento da adubação potássica. O cloreto de potássio proporcionou incrementos no número de flores por planta com ajuste quadrático, sendo possível estimar o número máximo de flores, 5,3 flores por planta, na dose estimada de 230 mg.dm^{-3}

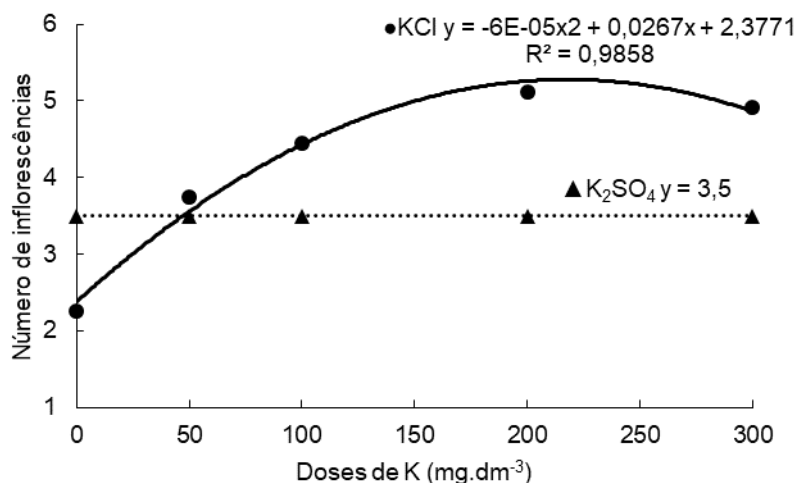


Figura 1: Número de inflorescências observadas em plantas de *Lavandula dentata* cultivadas sob fontes e doses de potássio. Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

Apesar de apresentarem diferenças no número de inflorescências, a massa seca de inflorescências não foi influenciada pelos tratamentos, apresentando média geral de $0,5 \text{ g.planta}^{-1}$ (Tabela 1). Esses resultados

sugerem que, apesar das plantas adubadas com KCl apresentarem maior número de inflorescências, provavelmente apresentaram menor massa individual, quando comparadas às produzidas sob influência do K_2SO_4 .

A maioria dos nutrientes determinados, na parte aérea, foi influenciada pela fonte e dose de K aplicado no ensaio (Tabela 1). Os teores de nitrogênio foram influenciados pela interação de fonte e dose de K (Figura 2A). As plantas adubadas com sulfato de potássio, como fonte de K, apresentaram valores constantes de teores de N, com média de $14,5 \text{ g.kg}^{-1}$. Quando a fonte utilizada foi o KCl, os teores de N na parte aérea das plantas de *L. dentata* sofreram influência com ajuste quadrático, com tendência de queda, apresentando um teor de N mínimo estimado de $13,6 \text{ g.kg}^{-1}$ na dose estimada de 288 mg.dm^{-3} de K. O íon cloreto é um forte competidor com o nitrogênio absorvido na forma de nitrato pelas plantas, desta maneira é possível observar alterações nos teores de nitrogênio das plantas à medida que se alteram os teores de cloreto no solo, de forma inversamente proporcional (Franco-Navarro et al., 2016).

Os teores de fósforo analisados sofreram influência tanto das doses quanto das fontes de K utilizadas no ensaio (Figura 2B). Os teores de P nas plantas adubadas com K_2SO_4 apresentaram ajuste linear negativo, enquanto os teores de P das plantas adubadas com KCl se ajustaram ao modelo quadrático, com um teor máximo de P estimado em $2,56 \text{ g.kg}^{-1}$, na dose máxima estimada de 194 mg.dm^{-3} de K na forma de KCl. O modelo quadrático pode ser justificado pois, em algumas situações, a presença do cloreto pode ter requerido mais energia (ATP) para o transporte, porém quando os teores foliares de Cl^- atingem valores maiores, podem ser capazes de influenciar a absorção de outros ânions, como íons fosfatos. A queda observada nos teores de P nas plantas crescidas com K_2SO_4 , provavelmente ocorreu devido à competição direta de absorção dos íons fosfatos e sulfatos (Hawkerford et al., 2012; García-Caparrós et al., 2016).

Observa-se na Figura 2C que os teores de cálcio foram influenciados pelas doses e fontes de K. As plantas adubadas com sulfato de potássio apresentaram valores constantes de teores de Ca, com média de $8,6 \text{ g.kg}^{-1}$, com o incremento de K no sistema. Entretanto, quando as plantas de *L. dentata* foram adubadas KCl, os teores de Ca apresentaram ajuste quadrático, com o teor máximo calculado em $10,4 \text{ g.kg}^{-1}$ de Ca na dose estimada de 167 mg.dm^{-3} de K. O cálcio é um elemento estrutural e com importante papel na manutenção

osmótica das plantas, papel este que pode ser assumido pelos íons Cl⁻ (Cantabella et al., 2017). Tal fato pode justificar a redução da absorção de cálcio nas doses mais altas de KCl, onde o cloreto pode ter ocupado papel importante na regulação hídrica das plantas.

O potássio fornecido como K₂SO₄ influenciou os teores de Mg com ajuste quadrático negativo, sendo possível estimar o teor mínimo em 2,6 g.kg⁻¹ de Mg na dose estimada de 242 mg.dm⁻³ de K na forma de sulfato (Figura 2D). As plantas adubadas com cloreto de potássio apresentaram valores constantes nos teores de Mg, com média de 3,8 g.kg⁻¹, com o incremento de K no sistema. O potássio e o magnésio são conhecidos pela possibilidade de competir por sítios de absorção nas raízes, porém não são todas as concentrações de K⁺ na rizosfera que podem causar alterações nos teores de Mg foliar (Garcia et al., 2021). Como os teores de K foram maiores quando se aplicou K₂SO₄ (Tabela 2), estes teores mais elevados podem ter influenciado negativamente a absorção do magnésio.

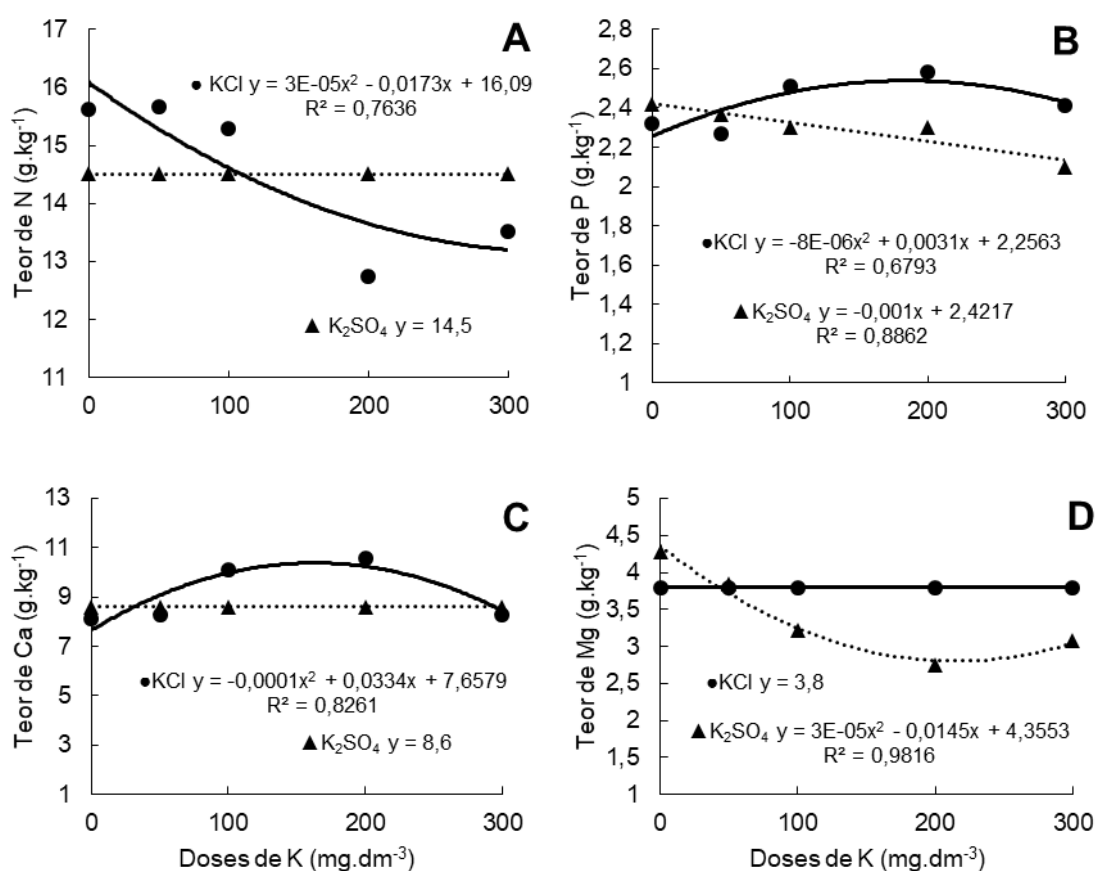


Figura 2: Teores de Nitrogênio (A), Fósforo (B), Cálcio (C) e Magnésio (D) na parte aérea de plantas de *Lavandula dentata* cultivadas sob fontes e doses de potássio. Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

Os teores de potássio, na parte aérea de *L. dentata*, foram influenciados pelas fontes independentes das doses de K aplicadas (Tabela 1). A média geral do teor de K das plantas adubadas com sulfato de potássio foram maiores do que o teor de K nas plantas adubadas com cloreto de potássio (Tabela 2). Observa-se na figura 3A que os teores de potássio se ajustaram ao modelo quadrático de regressão polinomial, com teores de K máximo estimado em 33,2 g.kg⁻¹, quando se aplicou a dose estimada de 245 mg.dm⁻³, nas duas fontes estudadas.

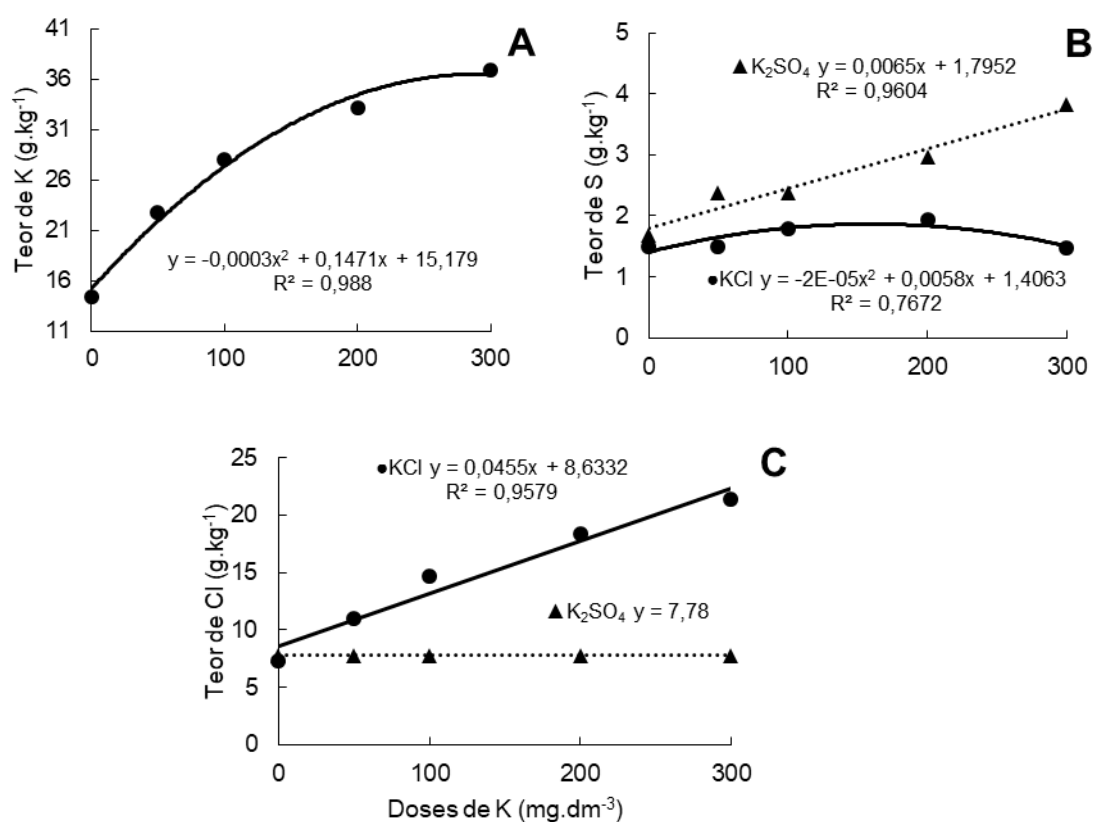


Figura 3: Teores de Potássio (A), Enxofre (B) e Cloro (C) na parte aérea de plantas de *Lavandula dentata* cultivadas sob fontes e doses de potássio. Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

Os teores de enxofre, na parte aérea, apresentaram ajuste linear crescente quando as plantas foram adubadas com K₂SO₄, aumentando os teores de S com o incremento das doses de K₂SO₄ (Figura 3B). Quando se aplicou o potássio na forma de cloreto, os teores de enxofre apresentaram ajuste quadrático, com o máximo teor de S calculado em 1,8 g.kg⁻¹ ao se aplicar a dose estimada de 145 mg.dm⁻³ de K como KCl (Figura 3B). Os íons fosfatos e sulfatos

competem entre si pela absorção pela planta (Hawkesford et al., 2012), desta forma é possível observar que nas plantas adubadas com K_2SO_4 , à medida que se aumentam os teores de S, os teores de P decrescem (Figura 2B).

As plantas adubadas com sulfato de potássio, como fonte de K, apresentaram valores constantes de teores de cloro, com média de $7,7 \text{ g.kg}^{-1}$. Observa-se na figura 3C, como esperado, que nas plantas adubadas com o cloreto de potássio, como fonte de K, os teores de cloro na parte aérea apresentaram ajuste linear crescente, aumentando os teores de Cl^- conforme o incremento de KCl. O íon cloreto é considerado um micronutriente, porém em alguns casos sua absorção pela planta pode chegar a valores semelhantes aos macronutrientes, sem que haja qualquer prejuízo para as plantas (Franco-Navarro et al., 2016).

Tabela 2: Média geral dos teores de potássio (g.kg^{-1}) e rendimento de óleo essencial (% m/m) em função da fonte de potássica aplicada em plantas de *Lavandula dentata*. Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil

Fonte aplicada	Teor de K	Óleo essencial
K_2SO_4	$28,9 \pm 1,6A$	$1,3 \pm 0,1A$
KCl	$25,2 \pm 1,4B$	$1,1 \pm 0,1B$

Letras distintas nas linhas denotam diferença significativa ($P \leq 0.05$) de acordo com o teste de Tukey.

Dos micronutrientes avaliados, somente dois não apresentaram influência dos tratamentos aplicados (Tabela 1), sendo eles o manganês ($103,5 \text{ mg.kg}^{-1}$) e o molibdênio ($0,063 \text{ mg.kg}^{-1}$). As doses e fontes de potássio influenciaram os teores de boro na parte aérea de *L. dentata* (Figura 4A), apresentando ajuste linear crescente quando a fonte foi o K_2SO_4 e ajuste quadrático quando a fonte foi o KCl. O teor máximo de B calculado em $32,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ foi observado quando se aplicou a dose estimada de 196 mg.dm^{-3} de K na forma de KCl (Figura 4A).

Observa-se na figura 4B que os teores de cobre, independente da fonte aplicada, apresentaram ajuste quadrático para as doses de K estudadas, com teor máximo de $5,9 \text{ mg.kg}^{-1}$ de Cu, quando se aplicou a dose estimada de 147 mg.dm^{-3} de K, independente da fonte utilizada.

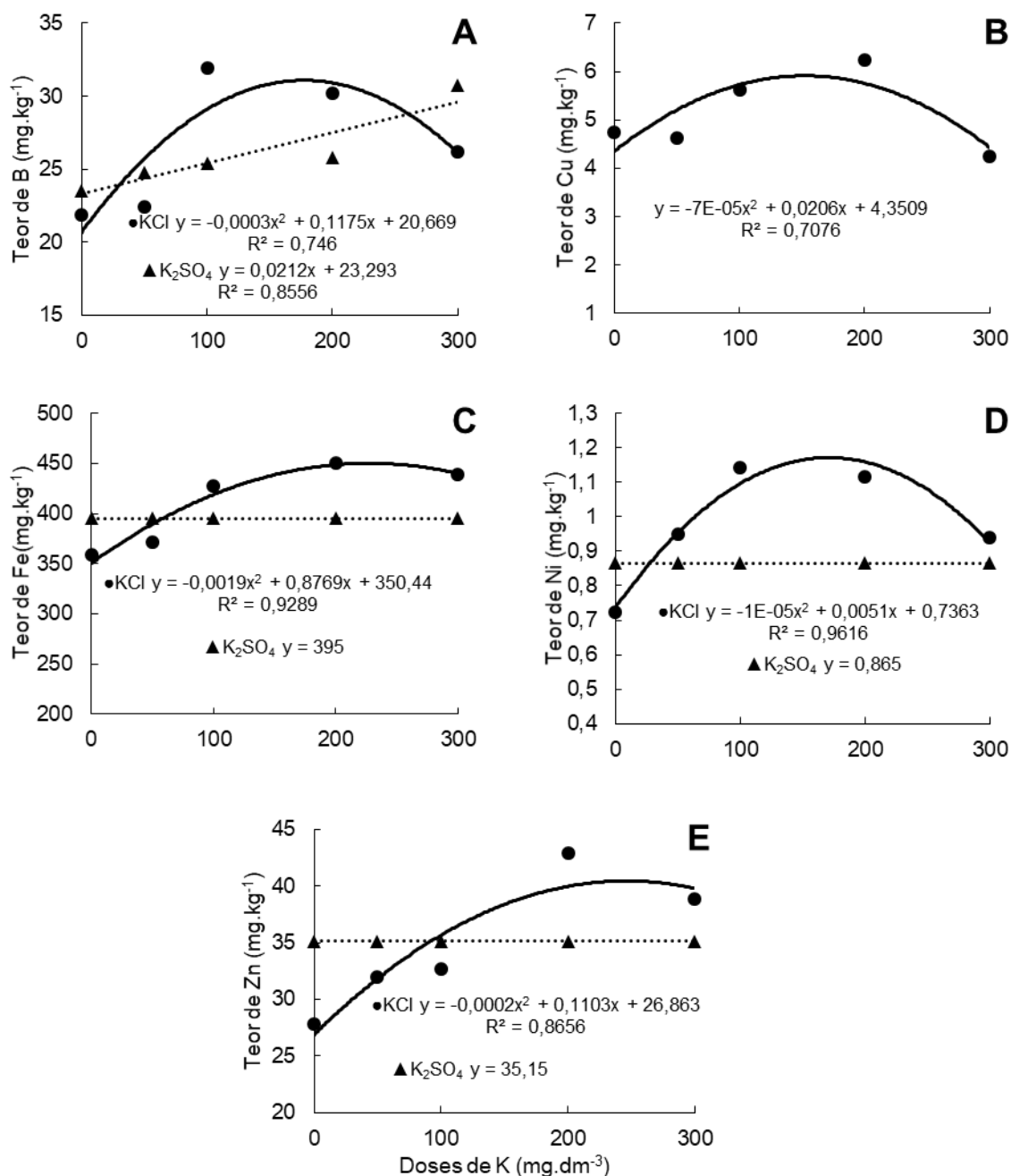


Figura 4: Teores de Boro (A), Cobre (B), Ferro (C), Níquel (D) e Zinco (E) na parte aérea de plantas de *Lavandula dentata* cultivadas sob fontes e doses de potássio. Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

As plantas adubadas com sulfato de potássio, como fonte de K, apresentaram valores constantes de teores de ferro (395 mg.kg⁻¹), níquel (0,865 mg.kg⁻¹) e zinco (35,2 mg.kg⁻¹) com o incremento das doses de K (Figuras 4C, 4D e 4E). O maior teor de ferro, 462 mg.kg⁻¹, foi observado na dose estimada de 231 mg.dm⁻³ de K, na forma de KCl (Figura 4C), enquanto que o maior teor de níquel, (1,3 mg.kg⁻¹) foi observado na dose estimada de 255 mg.dm⁻³ de K, na forma de

KCl (Figura 4D). Para o zinco, o maior teor calculado (42 mg.kg^{-1}) foi observado na dose estimada de 278 mg.dm^{-3} de K, utilizando a fonte cloreto (Figura 4E).

Observa-se que os tratamentos utilizando o KCl, como fonte, foram os que mais afetaram os teores de micronutrientes na parte aérea de *L. dentata*, alterando os teores de cinco micronutrientes avaliados, além do cloro. A inserção do cloro no sistema por meio do KCl, leva consigo os íons cloretos, sendo estes considerados muito ativos osmoticamente, sendo responsáveis por tais alterações nos teores (Geilfus, 2018). Contudo, apesar de todas as alterações observadas nos tratamentos, as plantas não apresentaram nenhum sintoma visual relacionado às desordens nutricionais, estando a grandeza dos teores nutricionais em acordo com os observados em estudos anteriores (Fascella et al., 2020).

Ao analisar o rendimento dos óleos essenciais extraídos da parte aérea das plantas de *L. dentata*, foi possível observar que os tratamentos influenciaram significativamente a porcentagem de óleo em função das fontes e doses de potássio empregadas (Tabela 1). O maior rendimento total médio foi obtido quando se aplicou K_2SO_4 como fonte de potássio (Tabela 2), exibindo um rendimento 18% superior em relação ao obtido nas plantas adubadas com KCl. Resultados semelhantes foram observados em sementes de *Coriandrum sativum*, onde o maior rendimento de óleo essencial foi encontrado sob influência de K_2SO_4 em relação a KCl como fonte de K (Freitas et al., 2020). Quando se aplica o potássio, na forma de K_2SO_4 , junto se aplica o enxofre, que é um macronutriente estrutural, sendo o incremento de S relacionado ao aumento da produção de terpenos (Seo et al., 2009; Ahmadi e Souri, 2018).

Foi possível observar que as plantas adubadas com cloreto de potássio, como fonte de K, apresentaram valores constantes nos teores de óleos essenciais, com média de 1,14%, mesmo com o incremento das doses de K (Figura 5). Porém quando a fonte utilizada foi o K_2SO_4 , os rendimentos dos óleos essenciais apresentaram ajuste quadrático, com teor máximo calculado de 1,44%, na dose estimada de 206 mg.dm^{-3} de K na forma de K_2SO_4 . Assim como o observado nas plantas de *L. dentata*, estudos de Chrysargyris et al., (2017), em cultivo hidropônico, com plantas de *L. angustifolia*, também não observaram alterações morfológicas causadas pelo incremento de potássio, mas incrementos no rendimento percentual dos óleos essenciais.

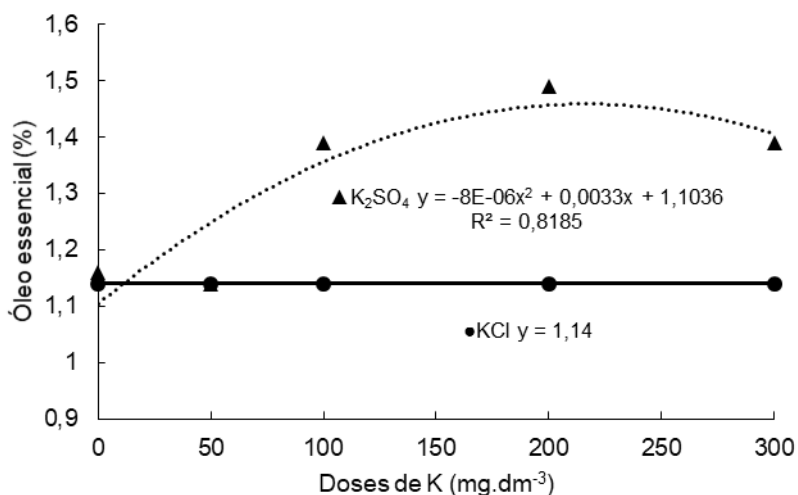


Figura 5: Rendimento de óleo essencial extraído da parte aérea das plantas de *Lavandula dentata* cultivadas sob fontes e doses de potássio. Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

CONCLUSÕES

A adubação potássica de *Lavandula dentata* com KCl influenciou o número de inflorescências, o que pode ser positivo para plantas ornamentais, sendo a dose estimada de 230 mg.dm⁻³ de K na forma de KCl a que produziu o maior número de flores.

O uso de potássio na forma de K₂SO₄ influenciou no rendimento de óleo essencial, sendo o rendimento máximo calculado (1,14%, m/m) obtido na dose estimada de 206 mg.dm⁻³ de K na forma de K₂SO₄.

Apesar dos teores de Cl⁻ terem atingido valores superiores a 20 g.kg⁻¹, nenhum sintoma visual de estresse por salinidade foi observado, mostrando resposta semelhante às plantas moderadamente resistentes à salinidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmadi, M., Souri, M. K. (2018). Growth and mineral content of coriander (*Coriandrum sativum* L.) plants under mild salinity with different salts. *Acta Physiologiae Plantarum*, 40(11), 1-8.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration- Guidelines for computing crop water requirements-FAO *Irrigation and drainage paper 56*. Fao, Rome, 300(9), D05109.
- Biesiada, A., Sokol-Letowska, A., Kucharska, A. (2008). Effect of nitrogen fertilization on yielding and antioxidant activity of lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.). *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus (Poland)*.
- Bouazama, S., Harhar, H., Costa, J., Desjobert, J. M., Talbaoui, A., Tabyaoui, M. (2017). Chemical composition and antibacterial activity of the essential oils of *Lavandula pedunculata* and *Lavandula dentata*. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 8(6), 2154-2160.
- Broadley, M., Brown, P., Cakmak, I., Rengel, Z., Zhao, F. (2012). Function of nutrients: micronutrients. In *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (pp. 191-248). Academic Press.
- Cakmak, I. (2005). The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168(4), 521-530.
- Cantabella, D., Piqueras, A., Acosta-Motos, J. R., Bernal-Vicente, A., Hernández, J. A., Díaz-Vivancos, P. (2017). Salt-tolerance mechanisms induced in *Stevia rebaudiana* Bertoni: Effects on mineral nutrition, antioxidative metabolism and steviol glycoside content. *Plant Physiology and Biochemistry*, 115, 484-496.

- Chrysargyris, A., Panayiotou, C., Tzortzakis, N. (2016). Nitrogen and phosphorus levels affected plant growth, essential oil composition and antioxidant status of lavender plant (*Lavandula angustifolia* Mill.). *Industrial Crops and Products*, 83, 577-586.
- Chrysargyris, A., Drouza, C., Tzortzakis, N. (2017). Optimization of potassium fertilization/nutrition for growth, physiological development, essential oil composition and antioxidant activity of *Lavandula angustifolia* Mill. *Journal of soil science and plant nutrition*, 17(2), 291-306.
- Dris, D., Tine-Djebbar, F., Soltani, N. (2017). *Lavandula dentata* essential oils: chemical composition and larvicidal activity against *Culiseta longiareolata* and *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae). *African entomology*, 25(2), 387-394.
- El Ouadi, Y., Lahhit, N., Bouyanzer, A., Majidi, L., Elmsellem, H., Cherrak, K., Elyoussfi, A., Hammouti, B., Costa, J. (2015). Chemical Composition and Inhibitory Effect of Essential Oil of Lavande (*Lavandula Dentata*) LD on the Corrosion of Mild Steel in Hydrochloric Acid (1M). *Arabian Journal of Chemical and Environmental Research*, 1(2), 49-65.
- Fascella, G., Mammano, M.M., D'Angiolillo, F., Pannico, A., Roupheal, Y., (2020). Coniferous wood biochar as substrate component of two containerized Lavender species: Effects on morpho-physiological traits and nutrients partitioning. *Sci. Hort.* 267, 109356.
- Franco-Navarro, J. D., Brumós, J., Rosales, M. A., Cubero-Font, P., Talón, M., Colmenero-Flores, J. M. (2016). Chloride regulates leaf cell size and water relations in tobacco plants. *Journal of Experimental Botany*, 67(3), 873-891.
- Freitas, M. S. M., Gonçalves, Y. D. S., Lima, T. C., Santos, P. C. D., Peçanha, D. A., Vieira, M. E., Carvalho, A. J. C., Vieira, I. J. C. (2020). Potassium sources and doses in coriander fruit production and essential oil content. *Horticultura Brasileira*, 38(3), 268-273.

- Garcia, A., Crusciol, C. A. C., Rosolem, C. A., Bossolani, J. W., Nascimento, C. A. C., McCray, J. M., Reis, A. R., Cakmak, I. (2021). Potassium-magnesium Imbalance Causes Detrimental Effects on Growth, Starch Allocation and Rubisco Activity in Sugarcane Plants. *Research Square*; 2021. DOI: 10.21203/rs.3.rs-244222/v1.
- García-Caparrós, P., Llanderal, A., Pestana, M., Correia, P. J., Lao, M. T. (2016). *Lavandula multifida* response to salinity: Growth, nutrient uptake, and physiological changes. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 180(1), 96-104.
- Geilfus, C. M. (2018). Chloride: from nutrient to toxicant. *Plant and Cell Physiology*, 59(5), 877-886.
- Hargreaves, G.H.; Samani, Z.A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, St Joseph, v.1 n.2, p.96–99.
- Hashemabadi, D., Mostofipour, A. A., Berimavandi, A. R., Kaviani, B., Zarchini, M. (2012). Improvement of the yield and essential oils quantitative in calendula (*Calendula officinalis* L.) by using different planting arrangement and potassium fertilizer. *Journal of Ornamental and Horticultural Plants*, 2(3), 147-154.
- Hassiotis, C. N., Ntana, F., Lazari, D. M., Poullos, S., Vlachonasios, K. E. (2014). Environmental and developmental factors affect essential oil production and quality of *Lavandula angustifolia* during flowering period. *Industrial Crops and Products*, 62, 359-366.
- Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Skrumsager Møller, I., White, P. (2012) Functions of macronutrients. In: Marschner P (ed) *Mineral nutrition of higher plants*; 3rd edn. Elsevier Ltd., pp 135–189
- Justus, B., Almeida, V. P. D., Gonçalves, M. M., Assunção, D. P. D. S. F. D., Borsato, D. M., Arana, A. F. M., Maia, B. H. L. N. S., Paula, J. F. P., Budel, J. M., Farago, P. V. (2018). Chemical composition and biological activities of the

essential oil and anatomical markers of *Lavandula dentata* L. cultivated in Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 61.

Justus, B., Kanunfre, C. C., Budel, J. M., de Faria, M. F., Raman, V., de Paula, J. P., Farago, P. V. (2019). New insights into the mechanisms of French lavender essential oil on non-small-cell lung cancer cell growth. *Industrial Crops and Products*, 136, 28-36.

Khalid, K. A. (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.

Komnenić, A., Jovović, Z., Velimirović, A. (2020). Impact of different organic fertilizers on lavender productivity (*Lavandula officinalis* Chaix). *Poljoprivreda i Sumarstvo*, 66(2), 51-56.

Kunert, K. J., Vorster, B. J., Fenta, B. A., Kibido, T., Dionisio, G., Foyer, C. H. (2016). Drought stress responses in soybean roots and nodules. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1015.

Lambers, H., Oliveira, R. S. (2019). Mineral nutrition. In *Plant physiological ecology* (pp. 301-384). Springer, Cham.

Lis-Balchin, M. T. (2012). Lavender. In: Peter, K. V. (ed) *Handbook of herbs and spices*. Woodhead Publishing Limited.

Martins, R. D. P., Gomes, R. A. D. S., Malpass, A. C. G., Okura, M. H. (2019). Chemical characterization of *Lavandula dentata* L. essential oils grown in Uberaba-MG. *Ciência Rural*, 49(8).

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(4):427-436.

- Oliveira, M. P., Malagolli, G. A., Cella, D. (2019). Mercado de fertilizantes: Dependência de importações do Brasil. *Revista Interface Tecnológica*, 16(1), 489-498.
- Paraskevopoulou, A. T., Karantzi, A. K., Liakopoulos, G., Londra, P. A., Bertouklis, K. (2020). The Effect of Salinity on the Growth of Lavender Species. *Water*, 12(3), 618.
- Rahmouni, A., Saidi, R., Khaddor, M., Pinto, E., Gomes, E. D. S. J. C., Maouni, A. (2019). Chemical composition and antifungal activity of five essential oils and their major components against *Fusarium oxysporum* f. sp. *albedinis* of Moroccan palm tree. *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 4(1), 1-9.
- Seo, M. W., Yang, D. S., Kays, S. J., Kim, J. H., Woo, J. H., Park, K. W. (2009). Effects of nutrient solution electrical conductivity and sulfur, magnesium, and phosphorus concentration on sesquiterpene lactones in hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Scientia horticulturae*, 122(3):369-374.
- Silva, E. B., Nogueira, F. D; Guimarães, P.T.G. (1999). *Análise de cloreto em tecido vegetal*. Lavras, MG: UFLA.
- Sriwichai, T., Junmahasathien, T., Sookwong, P., Potapohn, N., Sommano, S.R., 2019. Evaluation of the optimum harvesting maturity of makhwaen fruit for the perfumery industry. *Agriculture* 9(4), 78.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., Murphy, A. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. Artmed Editora.
- Yadegari, M. (2015). Foliar application of micronutrients on essential oils of borage, thyme and marigold. *Journal of soil science and plant nutrition*, 15(4), 949-964.

Zonta, E. P., Machado, A. A., Silveira Junior, P. (1984). Sistema de análise estatística para microcomputadores-SANEST. *Pelotas: UFPel*, 1.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

O termo lavanda é utilizado para identificar mais de trinta espécies pertencentes à família *Lamiaceae*. Dentre as espécies, a *Lavandula angustifolia* e a *Lavandula dentata*, se destacam pelo seu amplo cultivo. A lavanda inglesa (*Lavandula angustifolia*) é cultivada para extração de óleo utilizado na perfumaria e cosmética, enquanto a lavanda francesa (*Lavandula dentata*) tem interesse de uso medicinal. Ambas as espécies são utilizadas ainda em grande escala para fins ornamentais, principalmente em países e regiões com estações bem marcadas. O trabalho foi conduzido em três etapas. A primeira etapa teve como objetivo avaliar plantas de *L. angustifolia* sob efeito de adubação fosfatada. As plantas foram oriundas de sementes e cultivadas em vasos previamente adubados com fósforo. Foram tomados dados de crescimento de dois ciclos de cultivo, e no segundo ciclo foram realizadas ainda análises dos teores nutricionais, bem como produtividade e a composição química do óleo essencial. Foi possível observar que a complementação fosfatada afetou o crescimento das plantas, tal como a composição química do óleo essencial, apresentando influências positivas nos teores de linalol e acetato de linalil, que são dois marcadores positivos de qualidade no uso da perfumaria. Em um segundo momento, plantas de *L. dentata* foram testadas quanto ao fornecimento de potássio oriundo de duas fontes: cloreto e sulfato de potássio. As mudas foram obtidas por meio de estacas de plantas adultas. Ao final do ciclo, quando as plantas estavam em florescimento pleno, foram avaliados dados de biometria, teores nutricionais e rendimento de óleos essenciais. As plantas adubadas com

KCl apresentaram maior número de flores. Dentre os 14 nutrientes avaliados, as plantas adubadas com KCl apresentaram alterações nos teores de 11 elementos, enquanto que o K_2SO_4 influenciou nos teores de seis nutrientes. O rendimento do óleo essencial foi maior quando se aplicou K_2SO_4 , sendo o rendimento máximo calculado (1,44%) alcançado quando se aplicou a dose máxima estimada de 206 mg.dm^{-3} de K na forma de K_2SO_4 . No terceiro momento, foi avaliada a influência de espectros luminosos na produção de mudas de *L. dentata*, bem como a influência destes espectros no desenvolvimento inicial das plantas, além de possíveis influências nos teores nutricionais foliares e na quantidade de nutrientes lixiviados. O experimento foi dividido em duas etapas, sendo a primeira etapa a fase de enraizamento das estacas e na segunda etapa a fase de crescimento da planta. Na primeira etapa foi possível observar que as estacas enraizadas sob influência do espectro T1 (AP67 Milky, Valoya) foram superiores às enraizadas em outras qualidades luminosas, não apresentando diferenças na lixiviação de nutrientes. Na segunda etapa foi possível observar que as plantas crescidas sob o espectro T3 (AP673L, Valoya) apresentaram melhor distribuição do dossel e menor quantidade de nitrato e potássio lixiviados, indicando ainda uma maior eficiência na utilização dos recursos oferecidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, R. P. (2007) *Identification of essential oil components by gas chromatography/ mass spectrometry*. 4. ed. Carol Stream: Allured Publishing Corporation, 804p.
- Ahmad, P., Abdel Latef, A. A., Abd_Allah, E. F., Hashem, A., Sarwat, M., Anjum, N. A., Gucel, S. (2016) Calcium and potassium supplementation enhanced growth, osmolyte secondary metabolite production, and enzymatic antioxidant machinery in cadmium-exposed chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Frontiers in plant science*, 7(513):1-12.
- AliceWeb2: *Sistema de Análises das Informações de Comércio Exterior. Sistema Integrado de Comércio Exterior (SISCOMEX)*, Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC) (2015) Disponível em: <<http://aliceweb.mdic.gov.br/>>. Acessado em fevereiro de 2015.
- Alves, A. C., Jesus, F. N., Alves, P. B., Santos, H. V., Souza, G. S., Santos, A. R. (2018) Biomass production and essential oil of lemon balm cultivated under colored screens and nitrogen. *Horticultura Brasileira*, 36(1):94-99.
- Amtmann, A., Armengaud, P. (2009) Effects of N, P, K and S on metabolism: new knowledge gained from multi-level analysis. *Current opinion in plant biology*, 12(3):275-283.

- Ascrizzi, R., Fraternali, D., Flamini, G. (2018) Photochemical response of parsley (*Petroselinum crispum* (Mill.) Fuss) grown under red light: The effect on the essential oil composition and yield. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 185:185-191.
- Bantis, F., Radoglou, K. (2019) Testing the potential of LEDs to enhance growth and quality characteristics of *Salvia fruticosa*. *Horticultural Science*, 46(2):98-106.
- Benabdelkader, T., Zitouni, A., Guitton, Y., Jullien, F., Maitre, D., Casabianca, H., Legendre L., Kameli, A. (2011) Essential oils from wild populations of Algerian *Lavandula stoechas* L.: composition, chemical variability, and in vitro biological properties. *Chemistry & biodiversity*, 8(5):937-953.
- Bures, S., Gavilán, M. U., Kotiranta, S. (2018) *Iluminación artificial en agricultura*. Artículo técnico. < <http://www.bibliotecahorticultura.com>>. 46p.
- Camen, D., Hadaruga, N., Luca, R., Dobrei, A., Nistor, E., Posta, D., Dobrei, A., Velicevici, G., Petcov, A., Sala, F. (2016) Research concerning the influence of fertilization on some physiological processes and biochemical composition of lavender (*Lavandula angustifolia* L.). *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 10:198-205.
- Cassel, E., Vargas, R. M. F., Martinez, N., Lorenzo, D., Dellacassa, E. (2009) Steam distillation modeling for essential oil extraction process. *Industrial crops and products*, 29(1):171-176.
- Castro, H. D., Ferreira, F. A., Silva, D. D., Mosquim, P. R. (2004) Contribuição ao estudo das plantas medicinais: metabólitos secundários. *Visconde do Rio Branco: Suprema*. 113p.
- Chemat, F., Lucchesi, M. E., Smadja, J., Favretto, L., Colnaghi, G., Visinoni, F. (2006) Microwave accelerated steam distillation of essential oil from lavender: A

rapid, clean and environmentally friendly approach. *Analytica Chimica Acta*, 555(1):157-160

Chrysargyris, A., Panayiotou, C., Tzortzakis, N. (2016) Nitrogen and phosphorus levels affected plant growth, essential oil composition and antioxidant status of lavender plant (*Lavandula angustifolia* Mill.). *Industrial Crops and Products*, 83:577-586.

Demotes-Mainard, S., Péron, T., Corot, A., Bertheloot, J., Le Gourrierec, J., Pelleschi-Travier, S., Vian, A. (2016) Plant responses to red and far-red lights, applications in horticulture. *Environmental and Experimental Botany*, 121:4-21.

Erbas, S., Baydar, H. (2008) Effects of harvest time and drying temperature on essential oil content and composition in lavandin (*Lavandula x intermedia* Emerice x Loisel.). *Turk Journal of Field Crops*, 13:24-31.

Erbas, S., Kucukyumuk, Z., Baydar, H., Erdal, I., Sanli, A. (2017) Effects of different phosphorus doses on nutrient concentrations as well as yield and quality characteristics of lavandin (*Lavandula x intermedia* Emeric ex Loisel. var. Super). *Turkish Journal of Field*, 22(1):32-38.

Franco, J. A., Martínez-Sánchez, J. J., Fernández, J. A., Bañón, S. (2006) Selection and nursery production of ornamental plants for landscaping and xerogardening in semi-arid environments. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 81(1):3-17.

Freitas, M. S. M., Monnerat, P. H., Curcino Vieira, I. J. (2008) Mineral deficiency in *Passiflora alata* Curtis: Vitexin bioproduction. *Journal of plant nutrition*, 31(10):1844-1854.

Gelderen, K., Kang, C., Pierik, R. (2018) Light signaling, root development, and plasticity. *Plant physiology*, 176(2):1049-1060.

- Gobbo-Neto, L., Lopes, N. P. (2007) *Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários*. *Química nova*, 30(2):374.
- González-Rivera, J., Duce, C., Falconieri, D., Ferrari, C., Ghezzi, L., Piras, A., Tine, M. R. (2016) Coaxial microwave assisted hydrodistillation of essential oils from five different herbs (lavender, rosemary, sage, fennel seeds and clove buds): Chemical composition and thermal analysis. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 33:308-318.
- Hajhashemi, V., Ghannadi, A., Sharif, B. (2003) Anti-inflammatory and analgesic properties of the leaf extracts and essential oil of *Lavandula angustifolia* Mill. *Journal of ethnopharmacology*, 89(1):67-71.
- Hamidi-Moghaddam, A., Arouiee, H., Moshtaghi, N., Azizi, M., Shoor, M., Sefidkon, F. (2019) Visual quality and morphological responses of rosemary plants to UV-B radiation and salinity stress. *Journal of Ecological Engineering*, 20(2):34-43.
- Harborne, J. B. (1999) Classes and functions of secondary products from plants. *Chemicals from plants*, 1-25.
- Hassan, A. (2012) Effects of mineral nutrients on physiological and biochemical processes related to secondary metabolites production in medicinal herbs. *Medical and Aromatic Plant Science and Biotechnology*, Special Issue (1):105-110.
- Hassanpouraghdam, M. B., Hassani, A., Vojodi, L., Hajisamadi, B., Rostami, A. (2011) Essential oil constituents of *Lavandula officinalis* Chaix from Northwest Iran. *Chemija*, 22(3):167-171.
- Hassiotis, C. N. (2010) Chemical compounds and essential oil release through decomposition process from *Lavandula stoechas* in Mediterranean region. *Biochemical Systematics and Ecology*, 38(4):493-501.

- Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Skrumsager Møller, I., White, P. (2012) Functions of macronutrients. In: Marschner P (ed) *Mineral nutrition of higher plants*; 3. ed. Elsevier Ltd., p. 135-189.
- Herraiz-Peñalver, D., Cases, M. Á., Varela, F., Navarrete, P., Sánchez-Vioque, R., Usano-Aleman, J. (2013) Chemical characterization of *Lavandula latifolia* Medik. essential oil from Spanish wild populations. *Biochemical systematics and ecology*, 46:59-68.
- Idris, A., Linatoc, A. C., Bakar, M. F. A., Ibrahim, Z. T., Audu, Y. (2018) Effect of light quality and quantity on the accumulation of flavonoid in plant species. *Journal of Science and Technology*, 10(3):32-45.
- Isah, T. (2019) Stress and defense responses in plant secondary metabolites production. *Biological research*, 52(39):1-25.
- Karapandzova, M., Cvetkovikj, I., Stefkov, G., Stoimenov, V., Crvenov, M., Kulevanova, S. (2012) The influence of duration of the distillation of fresh and dried flowers on the essential oil composition of lavandin cultivated in Republic of Macedonia. *Macedonian Pharmaceutical Society*, 58(1,2):31-38.
- Lesage-Meessen, L., Bou, M., Sigoillot, J. C., Faulds, C. B., Lomascolo, A. (2015) Essential oils and distilled straws of lavender and lavandin: a review of current use and potential application in white biotechnology. *Applied microbiology and biotechnology*, 99(8):3375-3385.
- Lima, V. A., Pacheco, F. V., Avelar, R. P., Alvarenga, I. C., Pinto, J. E. B., Alvarenga, A. A. (2017) Growth, photosynthetic pigments and production of essential oil of long-pepper under different light conditions. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 89(2):1167-1174.
- Maathuis, F. J. (2009) Physiological functions of mineral macronutrients. *Current opinion in plant biology*, 12(3):250-258.

- Manivannan, A., Soundararajan, P., Halimah, N., Ko, C. H., Jeong, B. R. (2015) Blue LED light enhances growth, phytochemical contents, and antioxidant enzyme activities of *Rehmannia glutinosa* cultured in vitro. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 56(1):105-113.
- Mantovani, A. L., Vieira, G. P., Cunha, W. R., Groppo, M., Santos, R. A., Rodrigues, V., Magalhães, L. G., Crotti, A. E. (2013) Chemical composition, antischistosomal and cytotoxic effects of the essential oil of *Lavandula angustifolia* grown in Southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 23(6):877-884.
- Masetto, M. A. M., Deschamps, C., Mógor, A. F., Bizzo, H. R. (2011) Teor e composição do óleo essencial de inflorescências e folhas de *Lavandula dentata* L. em diferentes estádios de desenvolvimento floral e épocas de colheita. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 13(4):413-421.
- Mishiba, K. I., Ishikawa, K., Tsujii, O., Mii, M. (2000) Efficient transformation of lavender (*Lavandula latifolia* Medicus) mediated by *Agrobacterium*. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 75(3):287-292.
- Nájera, C., Urrestarazu, M. (2019) Effect of the intensity and spectral quality of LED light on yield and nitrate accumulation in vegetables. *Hortscience*, 54(10):1745-1750.
- Osbourn, A. E., Qi, X., Townsend, B., Qin, B. (2003) Dissecting plant secondary metabolism—constitutive chemical defences in cereals. *New Phytologist*, 159(1):101-108.
- Passalacqua, N. G., Tundis, R., Upson, T. M. (2017) A new species of *Lavandula* sect. *Lavandula* (Lamiaceae) and review of species boundaries in *Lavandula angustifolia*. *Phytotaxa*, 292(2):161-170.

- Ramezani, S., Rezaei, M. R., Sotoudehnia, P. (2009) Improved growth, yield and essential oil content of basil grown under different levels of phosphorus sprays in the field. *J. Appl. Biol. Sci*, 3(2):96-101.
- Rezai, S., Etemadi, N., Nikbakht, A., Yousefi, M., Majidi, M. M. (2018) Effect of light intensity on leaf morphology, photosynthetic capacity, and chlorophyll content in sage (*Salvia officinalis* L.). *Horticultural Science and Technology Journal*, 36(1):46-57.
- Silva, S. M., Luz, J. M. Q., Nogueira, P. A. M., Blank, A. F., Sampaio, T. S., Pinto, J. A. O., Junior, A. W. (2017) Organo-mineral fertilization effects on biomass and essential oil of lavender (*Lavandula dentata* L.). *Industrial Crops and Products*, 103:133-140.
- Silveira, S. M. D., Chunha Jr., A., Scheuermann, G. N., Secchi, F. L., Verruk, S., Krohn, M., Vieira, C. R. W. (2012) Composição química e atividade antibacteriana dos óleos essenciais de *Cymbopogon winterianus* (citronela), *Eucalyptus paniculata* (eucalipto) e *Lavandula angustifolia* (lavanda). *Revista do Instituto Adolfo Lutz* (Impresso), 71(3):462-470.
- Skwirzyńska, M. A., Dziecioł, M. (2017) Comparison of phenolic acids and flavonoids contents in various cultivars and parts of common lavender (*Lavandula angustifolia*) derived from Poland. *Natural product research*, 31(21):2575-2580.
- Spalholz, H., Perkins-Veazie, P., Hernández, R. (2020) Impact of sun-simulated white light and varied blue: red spectrums on the growth, morphology, development, and phytochemical content of green-and red-leaf lettuce at different growth stages. *Scientia Horticulturae*, 264,109195.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., Murphy, A. (2017) *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. Ed. Artmed Editora, 888p.

- Urrestarazu, M., Nájera, C., del Mar Gea, M. (2016) Effect of the spectral quality and intensity of light-emitting diodes on several horticultural crops. *HortScience*, 51(3):268-271.
- Venkatesan, S., Murugesan, S., Pandian, V. S., Ganapathy, M. N. K. (2005) Impact of sources and doses of potassium on biochemical and greenleaf parameters of tea. *Food chemistry*, 90(4):535-539.
- Wierdak, R. N. (2013) Does mineral fertilization modify essential oil content and chemical composition in medicinal plants. *Acta Sci Pol Hortorum Cultus*, 12(5):3-16.
- Wu, S., Chappell, J. (2008) Metabolic engineering of natural products in plants; tools of the trade and challenges for the future. *Current Opinion in Biotechnology*, 19(2):145-152.
- Yadegari, M. (2015) Foliar application of micronutrients on essential oils of borago, thyme and marigold. *Journal of soil science and plant nutrition*, 15(4):949-964.
- Yang, L., Wen, K. S., Ruan, X., Zhao, Y. X., Wei, F., Wang, Q. (2018) Response of plant secondary metabolites to environmental factors. *Molecules*, 23(762):1-26.

APÉNDICE

1. Imagens do experimento com adubação fosfatada.

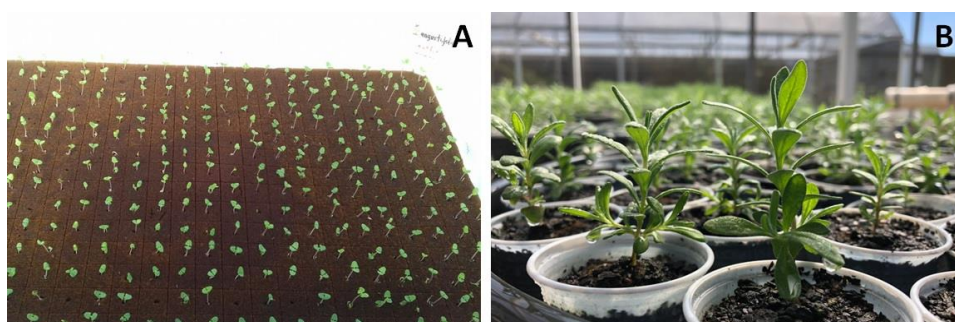


Figura 1: Germinação das sementes (A) e crescimento das mudas (B) de *Lavandula angustifolia* utilizadas para condução do experimento que avaliou a influência da adubação fosfatada.

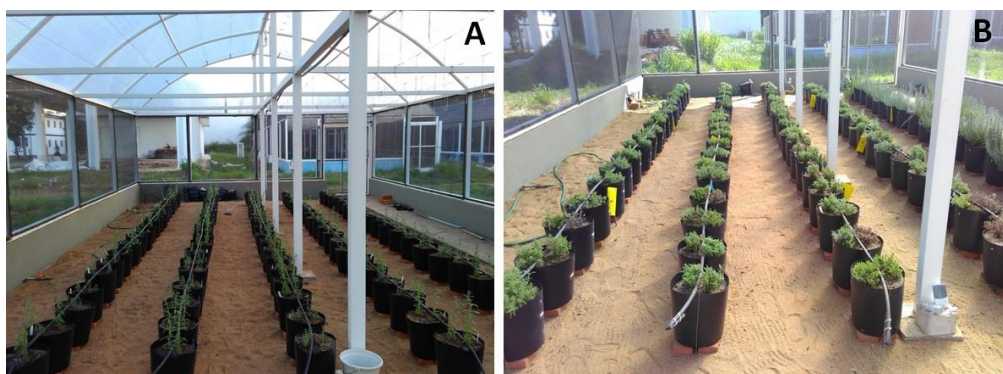


Figura 2: Montagem do experimento (A) e plantas conduzidas após o primeiro corte (B) de *Lavandula angustifolia* utilizadas para condução do experimento que avaliou a influência da adubação fosfatada.

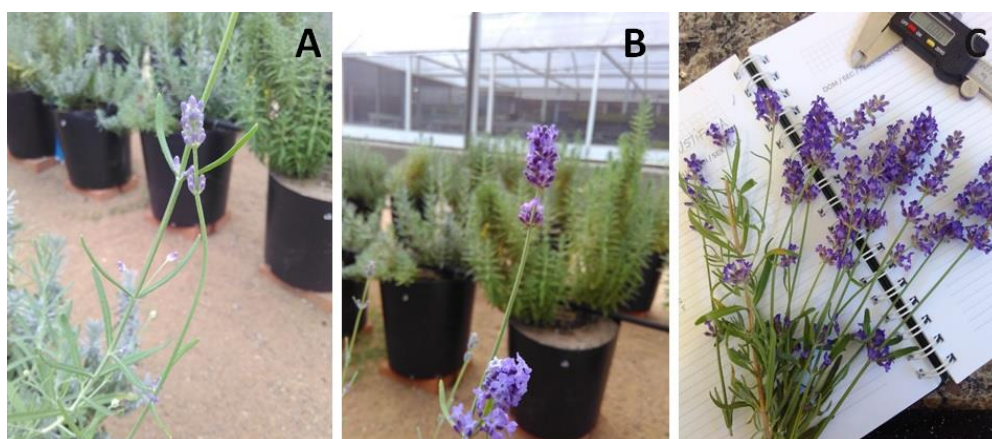


Figura 3: Início da formação de botões (A), início do florescimento (B) e coleta das flores (C) de *Lavandula angustifolia* utilizadas no experimento que avaliou a influência da adubação fosfatada.

2. Imagens do experimento com adubação potássica.

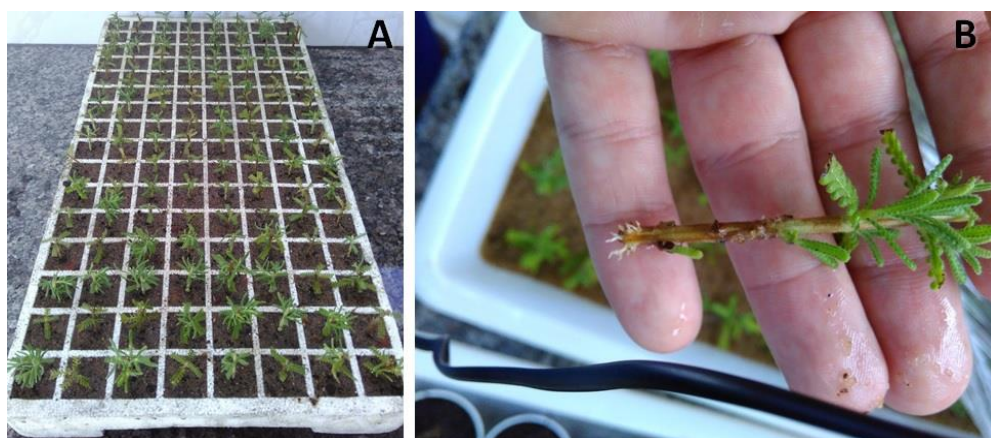


Figura 1: Produção de mudas (A) e início do enraizamento das estacas (B) de *Lavandula dentata* utilizadas no experimento com adubação potássica.



Figura 2: Transplante das mudas (A) e florescimento (B) das plantas de *Lavandula dentata* utilizadas no experimento com adubação potássica.

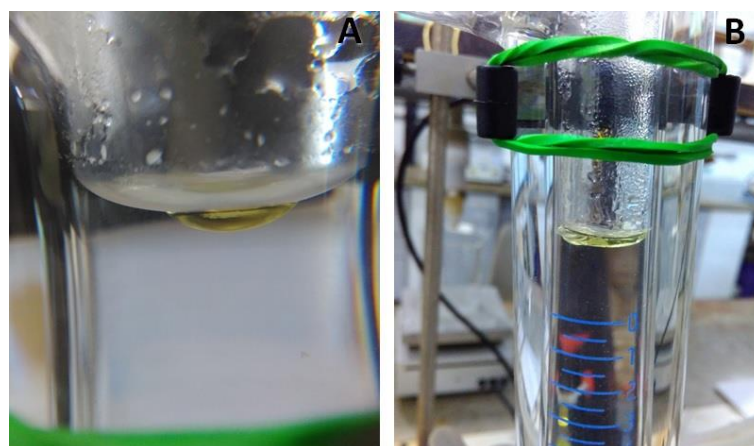


Figura 3: Início (A) e final (B) da extração de óleos essenciais das plantas de *Lavandula dentata* utilizadas no experimento com adubação potássica.

3. Imagens do experimento com espectros luminosos.

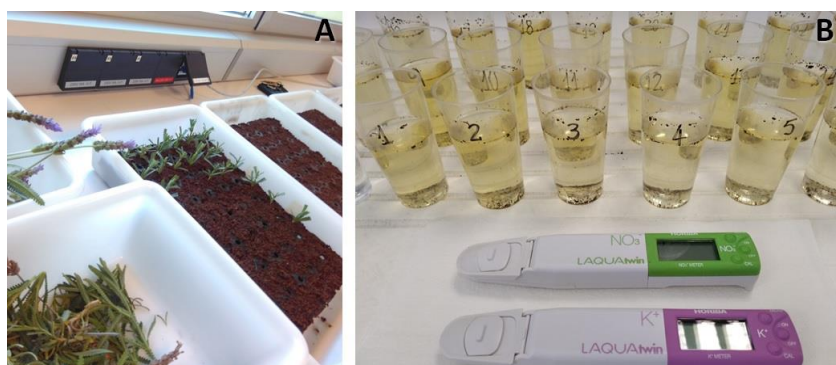


Figura 1: Produção de estacas (A) e leitura diária do lixiviado (B) das plantas de *Lavandula dentata* utilizadas no experimento com espectros luminosos.

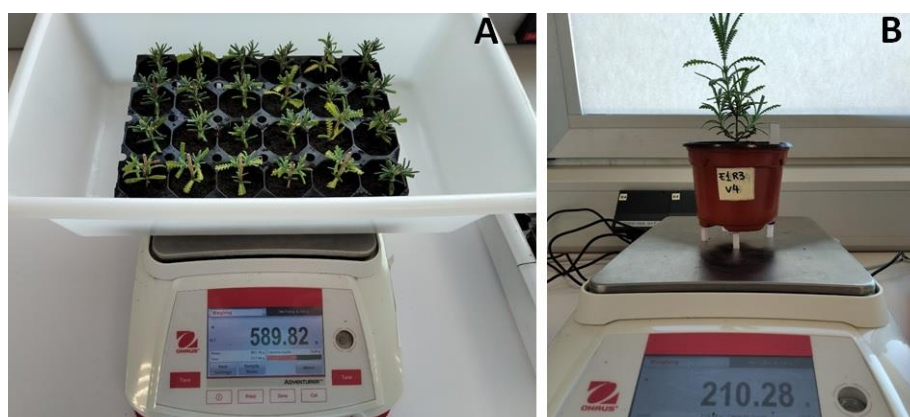


Figura 2: Pesagem das bandejas (A) e dos vasos (B) para cálculo do volume de fertirrigação das plantas de *Lavandula dentata* utilizadas no experimento com espectros luminosos.

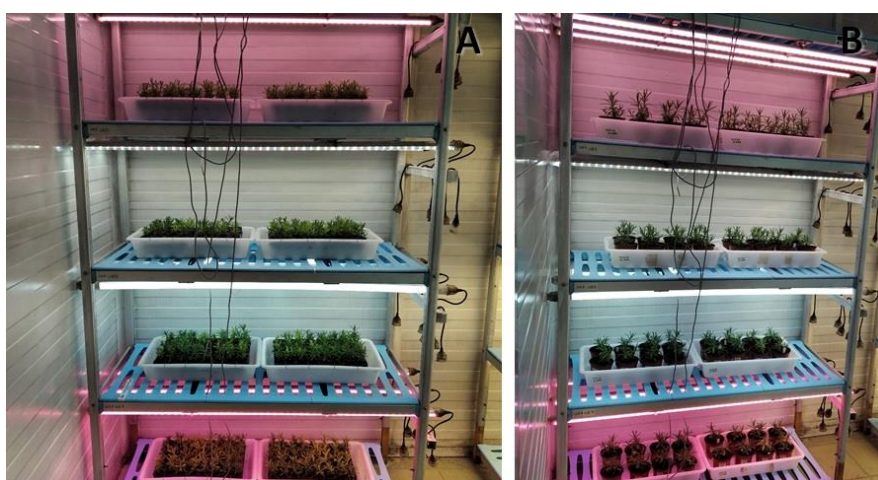


Figura 2: Disposição das estacas (A) e dos vasos (B) de *Lavandula dentata* utilizadas no experimento com espectros luminosos.