

PRODUÇÃO E QUALIDADE DE PLANTAS MEDICINAIS
EM CULTIVO HIDROPÔNICO

THAÍSA CAPATO LIMA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
Março de 2019

PRODUÇÃO E QUALIDADE DE PLANTAS MEDICINAIS
EM CULTIVO HIDROPÔNICO

THAÍSA CAPATO LIMA

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

Orientadora: Prof^a Marta Simone Mendonça Freitas

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
Março de 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

L732

Lima, Thaisa Capato.

PRODUÇÃO E QUALIDADE DE PLANTAS MEDICINAIS EM CULTIVO HIDROPÔNICO /
Thaisa Capato Lima. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2019.

122 f. : il.

Bibliografia: 95 - 122.

Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte
Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2019.
Orientadora: Marta Simone Mendonça Freitas.

1. plantas medicinais. 2. nutrição mineral. 3. metabólitos secundários. 4.
hidroponia. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

PRODUÇÃO E QUALIDADE DE PLANTAS MEDICINAIS
EM CULTIVO HIDROPÔNICO

THAÍSA CAPATO LIMA

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

Aprovada em 25 de Março de 2019

Banca Examinadora

Prof. Glaucio da Cruz Genuncio (D.Sc., Agronomia) – UFMT

Prof. Ivo José Curcino Vieira (D.Sc., Química) - UENF

Prof. Cláudio Roberto Marciano (D.Sc., Solos e Nutrição de Plantas) - UENF

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

À minha família por todo apoio e incentivo.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Carla Cristina, por todo apoio, palavras de incentivo, amor e compreensão;

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

Às minhas avós, Luíza e Nilva (*in memorian*) e ao meu avô Antenor Capato (*in memorian*), pelos ensinamentos e todo amor que sempre me ofertaram;

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

À minha orientadora, Professora Marta Simone, pelo auxílio com os trabalhos, paciência, orientação, palavras de incentivo e pelos ensinamentos;

Ao técnico José Accacio, pela amizade, boa companhia e por toda ajuda com as análises dos experimentos;

Aos amigos “irmãos” do Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, Ygor, Marlene, Diego, Laís, Luciana, Diesily, Jéssica e Assistone, pelo auxílio na condução e análise dos experimentos, momentos de descontração, palavras de apoio e incentivo e por todos os cafezinhos com bolo no fim da tarde;

Ao Diego, pelo companheirismo, compreensão, amizade, paciência, incentivo e carinho;

Aos meus amigos Aline, Natália, Marcos, Luanna, Graziella, Selsiane, Rodolpho, Márcio e Camila, pelo carinho, momentos divertidos e toda ajuda que sempre me ofereceram;

Ao professor Miguel, pelos ensinamentos e pela orientação durante o doutorado sanduíche na Universidad de Almería;

Aos meus amigos PDSE Tiago, Fabíola e Mónica, pela amizade, companheirismo e toda ajuda;

A CAPES, pela bolsa concedida para cursar o Programa Doutorado Sanduíche no Exterior (Processo PDSE: PDSE 88881.133825/2016-01);

À professora Daniela e à técnica Sílvia, pelo auxílio com as análises de flavonoides nas flores de calêndula;

Ao Eurípedes e ao professor Victor, pelo auxílio com as análises dos óleos do funcho;

Aos professores, por todo o conhecimento compartilhado;

Ao CNPq, pela bolsa concedida e a Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, pela oportunidade.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Plantas medicinais e aromáticas	3
2.2. <i>Calendula officinalis</i>	5
2.2.1. Classificação botânica e origem	5
2.2.2. Descrição botânica	5
2.2.3. Importância e usos.....	6
2.3. <i>Foeniculum vulgare</i>	7
2.3.1. Classificação botânica e origem	7
2.3.2. Descrição botânica	7
2.3.3. Importância e usos.....	8
2.4. <i>Matricaria recutita</i>	9
2.4.1. Classificação botânica e origem	9
2.4.2. Descrição botânica	10
2.4.3. Importância e usos.....	10
2.5. Produção de plantas medicinais	12
2.6. Cultivo hidropônico de plantas medicinais e aromáticas	13
2.7. Solução nutritiva	14

3. TRABALHOS.....	17
3.1.1. ARTIGO 1: CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA SOLUÇÃO NUTRITIVA NA PRODUÇÃO DE FLORES E RUTINA EM <i>Calendula officinalis</i> L.....	17
RESUMO.....	17
ABSTRACT	18
1. INTRODUÇÃO.....	19
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3. RESULTADOS.....	23
4. DISCUSSÃO.....	29
5. CONCLUSÕES.....	32
REFERÊNCIAS.....	33
3.1.2. ARTIGO 2: CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA SOLUÇÃO NUTRITIVA NO CRESCIMENTO E BIOPRODUÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS EM <i>Foeniculum vulgare</i> (Mill.).....	41
RESUMO.....	41
ABSTRACT	42
1. INTRODUÇÃO.....	43
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	45
3. RESULTADOS.....	47
4. DISCUSSÃO.....	56
5. CONCLUSÃO	60
REFERÊNCIAS.....	60
3.1.3. ARTIGO 3: CRESCIMENTO E BIOPRODUÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS EM <i>Matricaria recutita</i> L. CULTIVADA EM DIFERENTES CONDUTIVIDADES ELÉTRICAS DA SOLUÇÃO NUTRITIVA	69
RESUMO.....	69
ABSTRACT	70
1. INTRODUÇÃO.....	71
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	72
3. RESULTADOS.....	75
4. DISCUSSÃO.....	83
5. CONCLUSÕES.....	85

REFERÊNCIAS.....	86
4. RESUMO E CONCLUSÕES	93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95

RESUMO

LIMA, Thaísa Capato; D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Março de 2019. Produção e qualidade de plantas medicinais em cultivo hidropônico. Professora Orientadora: Marta Simone Mendonça Freitas.

Esta tese teve o objetivo de avaliar a produção e a qualidade de plantas medicinais cultivadas em sistema hidropônico e, para isso foram realizados três experimentos distintos, sendo que cada experimento resultou em um artigo. O objetivo do primeiro experimento foi verificar o efeito do aumento da condutividade elétrica da solução nutritiva no crescimento, na produção de flores, nos teores de nutrientes, nos teores de fenóis totais e nos teores de rutina nas flores de *Calendula officinalis*. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com seis tratamentos, constituídos por condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva proposta por Hoagland e Arnon (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0 mS cm⁻¹) e cinco repetições. As variáveis avaliadas foram diâmetro médio de flores, número de flores, botões e folhas, massa fresca e seca de flores e parte aérea, área foliar, rendimento de extrato, teor de nutrientes minerais e teores de fenóis totais e rutina nas flores. Para o cultivo de *C. officinalis* nas condições desse trabalho, é indicada a condutividade elétrica da solução nutritiva entre 0,5 e 1,6 mS cm⁻¹. O segundo experimento teve como objetivo verificar o efeito do aumento da condutividade elétrica da solução nutritiva no crescimento, nos teores de nutrientes e na produção de óleos essenciais em *Foeniculum vulgare*. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com quatro tratamentos, constituídos por condutividades elétricas

crecentes da solução nutritiva proposta por Sonneveld e Straver (1,5; 2,5; 3,5 e 4,5 mS cm⁻¹) e cinco repetições. As variáveis avaliadas foram altura de plantas, número de folhas, hastes e flores, massa fresca e seca de folhas, hastes, flores e bulbo, comprimento e largura do bulbo e teor de nutrientes minerais e óleos essenciais nas folhas e flores. A melhor faixa de condutividade da solução nutritiva, para o cultivo de *F. vulgare* é 2,3 a 3,9 mS cm⁻¹. O terceiro experimento teve como objetivo avaliar o efeito da condutividade elétrica da solução nutritiva no crescimento, na composição mineral e na produção de óleos essenciais nas flores de *Matricaria recutita*. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso com seis tratamentos representados pelas condutividades elétricas da solução nutritiva proposta por Hoagland e Arnon (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0 mS cm⁻¹) e cinco repetições, com uma planta por vaso. As variáveis avaliadas foram altura de plantas, diâmetro do caule e flores, número de flores e massas fresca e seca de flores, folhas e hastes e massa seca de raízes. Foi possível concluir que no cultivo de *M. recutita* as plantas conduzidas na faixa de condutividade entre 1,2 e 1,9 mS cm⁻¹ apresentaram maiores produções de flores e óleos.

ABSTRACT

LIMA, Thaísa Capato; D.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. March, 2019. Production and quality of medicinal plants in hydroponic culture. Professor Advisor: Marta Simone Mendonça Freitas.

This thesis aimed to evaluate production and quality of medicinal plants grown in a hydroponic system. For this purpose, it was divided into 3 articles and each one was constituted by a different experiment. The objective of the first article was to verify the effect of increasing nutrient solution electrical conductivity on growth, flower production, nutrient content, total phenols and rutin in *Calendula officinalis* flowers. The experimental design was a randomized complete block design with six treatments, consisting of increasing nutrient solution electrical conductivity (0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 and 3.0 mS cm⁻¹) and 5 replicates. The evaluated variables were average diameter of flowers, number of flowers, buds and leaves, fresh and dry matter of flowers and shoot, leaf area, extract yield, mineral nutrient content, total phenols and rutin in flowers. For *C. officinalis* cultivation under this work conditions we recommend the use of nutrient solution with conductivity between 0.5 and 1.6 mS cm⁻¹. The second article aimed to verify the effect of nutrient solution electrical conductivity increase on growth, nutrient contents and production of essential oils in *Foeniculum vulgare*. The experimental design was a randomized block design with 4 treatments, consisting of increasing nutrient solution electrical conductivity (1.5, 2.5, 3.5 and 4.5 mS cm⁻¹) and 5 replicates. The variables evaluated were plant

height, number of leaves, stems and flowers, fresh and dry matter of leaves, stems, flowers and bulbs, bulb length and width and mineral nutrients and essential oils contents in leaves and flowers. Thus, it was possible to conclude from the conditions of this work that the best conductivity range of nutrient solution for *F. vulgare* cultivation is 2.3 to 3.9 mS cm⁻¹. Finally, the third article aimed to evaluate the effect of nutrient solution electrical conductivity on growth, mineral composition and essential oils production in *Matricaria recutita* flowers. The experimental design was a randomized block design with 6 treatments represented by nutrient solution electrical conductivity (0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 and 3.0 mS cm⁻¹) and 5 replicates, with 1 plant.pot⁻¹. The variables evaluated were plant height, stem and flowers diameter, number of flowers and fresh and dry matter of flowers, leaves and stems and dry matter of roots. It was possible to conclude that in *M. recutita* cultivation under the conditions presented in this work, the highest production of these plants is observed in range conductivity of 1.2 to 1.9 mS cm⁻¹.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de plantas para fins terapêuticos é uma prática que se confunde com a própria história da humanidade, pois as plantas foram responsáveis por formar a base da medicina tradicional através de seu uso popular e ainda hoje se constituem como fonte de substâncias bioativas para a elaboração de medicamentos (Gurib-Fakim, 2006; Majeed, 2017).

O consumo destes vegetais, tanto para prevenção quanto para o tratamento de doenças, é uma prática bastante difundida, reflexo do acúmulo de conhecimentos e de tradições seculares. Trabalhos realizados no Brasil demonstram a aceitação e a utilização de plantas medicinais pela população (Marchese et al., 2004; Mattos et al., 2015). No estado do Rio de Janeiro, por exemplo, o tratamento de doenças a partir da utilização destas plantas já foi relatado por diversos autores (Christo et al., 2006; Boscolo e Senna-Vale, 2008; Borges e Peixoto, 2009; Leitão et al., 2009; Brito e Senna-Valle, 2011; Martinazzo et al., 2013; Oliveira e Martins, 2018).

No Brasil, o interesse pela utilização destes vegetais no tratamento e/ou prevenção de doenças estimulou a implementação de medidas para sua promoção, como a criação da Relação Nacional de Plantas Medicinais de Interesse do SUS (RENISUS), que foi elaborada para orientar estudos e pesquisas que possam subsidiar a produção de fitoterápicos para distribuição pelo SUS (Brasil, 2009; Figueredo et al., 2014; Lima-Saraiva et al., 2015). Na RENISUS constam 71 plantas medicinais, dentre elas *Calendula officinalis*, *Foeniculum vulgare* e *Matricaria*

recutita, que se caracterizam por serem extensamente utilizadas na medicina popular (Brasil, 2009; Srivastava et al., 2010; Rather et al., 2016; Miraj, 2016; Jan et al., 2017; Al-Snafi, 2018).

A produção de plantas medicinais não atende à crescente demanda por matéria-prima, sendo o extrativismo uma prática constante, o que colabora para o desequilíbrio ambiental e a extinção das espécies (Das et al., 2016). Uma forma de amenizar a baixa oferta de plantas medicinais, seria o investimento em estudos que viabilizem ampliar a sua produção agrícola, garantindo a quantidade e a qualidade do material, atendendo à necessidade da indústria (Rao et al., 2012). Nesse sentido, a hidroponia aparece como uma alternativa para superar esse problema, visto que esta técnica permite maior controle das condições de cultivo, como temperatura, luminosidade, incidência de pragas e doenças e da oferta de água e de nutrientes, além de reduzir a quantidade de mão de obra e de espaço (Giurgiu et al., 2014; Treftz e Omaye, 2016).

Na hidroponia, as plantas são cultivadas sem solo e suas necessidades em água e nutrientes minerais são supridas por meio de uma solução nutritiva (Giurgiu et al., 2014). A concentração de nutrientes minerais presente nesta solução está diretamente relacionada com sua condutividade elétrica, sendo que sua variação pode interferir na disponibilidade de nutrientes, absorção de água, abertura estomática e eficiência fotossintética (Baron et al., 2013).

Alguns trabalhos empregando a hidroponia na produção de plantas medicinais já foram realizados (Garlet et al., 2013; Souza et al., 2014; Giurgiu et al., 2014; Chrysargyris et al., 2016; Álvaro et al., 2016; Frescura et al., 2018). Nestes, buscou-se estudar a nutrição mineral de plantas na produção de princípios ativos, em virtude dos nutrientes minerais serem importantes nas rotas de formação destes compostos, seja como componentes de moléculas, ou atuando como ativadores enzimáticos (Ramakrishna e Ravishankar, 2011; Singh et al., 2017). Entretanto, trabalhos relacionando a concentração de solução nutritiva na qualidade de plantas medicinais ainda são escassos. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a produção e a qualidade de plantas medicinais cultivadas em sistema hidropônico.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Plantas medicinais e aromáticas

Os seres humanos se beneficiam da natureza para atender às suas necessidades básicas, como produção de alimentos para si e para os animais, abrigo, roupas, meios de transporte e medicamentos (Gurib-Fakim, 2006). A utilização de plantas para fins terapêuticos remonta ao início dos tempos e é uma prática comum em quase todas as civilizações. As plantas medicinais formaram a base da medicina tradicional e continuam a fornecer novas moléculas para a síntese de novos medicamentos (Zobayed et al., 2005; Majeed, 2017).

A ação terapêutica propiciada pelas plantas medicinais é decorrente de inúmeras substâncias químicas que são encontradas nos tecidos vegetais, denominadas princípios ativos. Dentre os mais importantes grupos de compostos bioativos que conferem estas atividades estão os óleos essenciais, flavonoides, alcaloides, taninos, resinas, saponinas, entre outros (Giurgiu et al., 2014).

Com os avanços da medicina moderna, a utilização de plantas medicinais perdeu seu espaço para os medicamentos sintéticos, entretanto, o elevado custo de produção destes fármacos, aliado aos seus efeitos colaterais, contribuíram para que esta prática ressurgisse como uma alternativa importante no tratamento de enfermidades (Rocha e Rocha, 2006; Rao et al., 2012).

O ressurgimento do interesse nas plantas medicinais pode ser explicado pelas movimentações financeiras do mercado mundial, que deram um salto de US

\$ 2,4 bilhões em 1996 para US \$ 6,2 bilhões em 2013 e vêm crescendo anualmente cerca de 5,3%. Os maiores exportadores mundais são China e Índia e apesar do crescimento desse mercado, grande parte da produção ainda é oriunda do extrativismo. Essa prática, além de não ser sustentável, contribui para o desequilíbrio ambiental e extinção de espécies (Tripathi et al., 2017; He et al., 2018).

O Brasil é reconhecidamente um dos países com maior riqueza em biodiversidade do planeta e, apesar da crescente demanda por plantas medicinais, ainda possui uma baixa competitividade na cadeia produtiva, importando a maior parte do que é consumido e não possuindo protagonismo frente aos demais países produtores (Rodrigues, 2016).

No país, o estado do Paraná é responsável por cerca de 90% da produção nacional de plantas medicinais, sendo que 92,5% da área cultivada com plantas medicinais, aromáticas e condimentares é ocupada por 19 espécies, dentre elas destacando-se a camomila e a calêndula. De 2008 a 2014 observou-se aumento no valor desses produtos de 159%, demonstrando uma crescente valorização da atividade (Corrêa Junior e Scheffer, 2014).

Trabalhos realizados em diversos estados demonstram a aceitação e a utilização de plantas medicinais pela população (Marchese et al., 2004; Mattos et al., 2015). No estado do Rio de Janeiro, por exemplo, o tratamento de doenças a partir da utilização destas plantas já foi relatado por diversos autores (Christo et al., 2006; Boscolo e Senna-Vale, 2008; Borges e Peixoto, 2009; Leitão et al., 2009; Brito e Senna-Valle, 2011; Martinazzo et al., 2013; Oliveira e Martins, 2018).

O interesse por práticas não convencionais na área da saúde estimulou a implementação de medidas para sua promoção, como a criação da Relação Nacional de Plantas Medicinais de Interesse do SUS (RENISUS), que foi elaborada para orientar estudos e pesquisas que possam subsidiar a produção de fitoterápicos para distribuição pelo SUS (Brasil, 2009; Figueredo et al., 2014; Lima-Saraiva et al., 2015). Na RENISUS constam 71 plantas medicinais, dentre elas *Calendula officinalis*, *Foeniculum vulgare* e *Matricaria recutita*, que se caracterizam por serem extensamente utilizadas na medicina popular (Brasil, 2009; Srivastava et al., 2010; Rather et al., 2016; Miraj, 2016; Jan et al., 2017; Al-Snafi, 2018).

2.2. *Calendula officinalis*

2.2.1. Classificação botânica e origem

Pertencente à ordem Asterales, família botânica Asteraceae, o gênero *Calendula* possui 29 espécies, dentre elas *Calendula officinalis*, vulgarmente conhecida no Brasil por calêndula, calêndula-hortense, maravilha e malmequer, por marigold e holligold em países de língua inglesa, por calêndula, maravilla e capetuda em países de língua espanhola, por ringelblume na Alemanha e por souci na França (Lorenzi e Matos, 2008; Citadini-Zanette et al., 2012; Ashwalayan et al., 2018). Embora seja nativa do Mediterrâneo e do Egito, é considerada cosmopolita, sendo cultivada em diversas partes do mundo, incluindo o Brasil (Citadini-Zanette et al., 2012; Khalid e Silva, 2012).

2.2.2. Descrição botânica

É uma planta herbácea anual, pode alcançar 30 a 60 cm de altura, possui raízes fasciculadas, amareladas e cilíndricas. Seu caule é curto e anguloso, podendo ser prostrado ou ereto (Citadini-Zanette et al., 2012).

As folhas de *C. officinalis* são simples, alternas, de formato lanceolado, ligeiramente denteadas, possuem pelos glandulares nas duas faces. As inflorescências podem alcançar cerca de 5 cm de diâmetro e possuem coloração amarela ou laranja, as flores centrais são estéreis e tubuladas e as periféricas são férteis e liguladas, seus frutos são secos tipo aquênios, estreitos, com formato ablongo e curvos (Figuras 1A e 1B) (Citadini-Zanette et al., 2012; Verma et al., 2018).



Figura 1. A: Cultivo de *Calendula officinalis*. B: Inflorescência de *C. officinalis*. Campos dos Goytacazes – RJ, 2016.

2.2.3. Importância e usos

As flores de *C. officinalis* são utilizadas tanto para fins ornamentais, como para confecção de produtos para as indústrias farmacêutica e cosmética (Lorenzi e Matos, 2008; Citadini-Zanette et al., 2012; Jan et al., 2017).

É uma planta muito utilizada na medicina tradicional em diversos países e suas flores são empregadas no preparo de extratos, tinturas e bálsamos, que aplicados diretamente à pele tratam feridas, queimaduras e inflamações. Os chás preparados a partir da calêndula são indicados para gargarejos, lavagem dos olhos e compressas para o tratamento de conjuntivites, faringites, doenças estomacais e assaduras (Khalid e Silva, 2012; Verma et al., 2018).

O uso medicinal da *C. officinalis* é devido aos inúmeros efeitos já comprovados por diversos trabalhos, como atividades anti-inflamatória (Sartori et al., 2003; Ukiya et al., 2006; Preethi et al., 2009; Alexandre et al., 2017), antitumorai (Ukiya et al., 2006), antibacteriana (Roopashree et al., 2008; Szakiel et al., 2008; Parente et al., 2009; Rashmi e Goyal, 2011; Ghaima et al., 2013), antiparasitária (Szakiel et al., 2008; Dorwal, 2012), antifúngica (Gazim et al., 2008; Efstratiou et al., 2012; Ali e El-Moaty, 2017) e antioxidante (Chakraborty, 2009; Ghaima et al., 2013; Verma et al., 2017).

As atividades atribuídas à calêndula se devem à presença de inúmeras classes de compostos químicos, podendo-se citar os terpenoides, flavonoides,

cumarinas, quinonas, óleos essenciais, carotenoides e aminoácidos (Muley et al., 2009). Na calêndula dentre os compostos mais estudados estão os flavonoides, carotenoides e óleos essenciais (Verma et al., 2018). Dentre os flavonoides encontrados em *C. officinalis*, quercetina e rutina representam a maior parte, sendo que o material seco deve conter no mínimo 0,4% de flavonoides totais, de acordo com a Farmacopeia Brasileira (Brasil, 1996; Rodrigues et al., 2004; Mehta et al., 2012). Considerando o alto teor de flavonoides nas inflorescências de calêndula, muitas das atividades biológicas desta planta estão relacionadas à esses constituintes químicos, e, desta forma, estudos que busquem aumentar e padronizar a produção desses compostos são interessantes para a indústria (Kurkin e Sharova, 2007).

2.3. *Foeniculum vulgare*

2.3.1. Classificação botânica e origem

Foeniculum vulgare Mill., pertencente à família Apiaceae, é nativa do sul da Europa e da região do Mediterrâneo, entretanto é amplamente cultivada em todo o mundo, sendo encontrada em regiões tropicais e temperadas (He e Huang, 2011; Rather et al., 2016).

No Brasil é vulgarmente conhecida como funcho e erva-doce (Lorenzi e Matos, 2008), venkel na Alemanha, bitter fennel e comon fennel nos países de língua inglesa, como fenouil na França, hinojo na Espanha, finocchio na Itália e possui ainda muitos outros nomes nos demais países onde é cultivada (Badgujar et al., 2014).

2.3.2. Descrição botânica

F. vulgare é uma planta herbácea, perene ou bianual, que pode atingir 80 a 150 cm de altura, possui folhas inferiores alargadas e superiores mais estreitas, pecíolo alargado e bainha que envolve o caule formando uma espécie de bulbo, que é comestível (Figura 2A) (Badgujar et al., 2014;).

Possui flores hermafroditas e pequenas com coloração amarelo-esverdeada, que se reúnem formando uma espécie de buquê, no formato de umbelas (Figura 2 B). Seus frutos são de formato oblongo, compostos por dois aquênios de cerca de 4 mm de comprimento, contendo óleos essenciais com aroma marcante (Bernárth et al., 1996; Badgujar et al., 2014).



Figura 2. A: Plantas de *Foeniculum vulgare*. B: Flores de *F. vulgare*. Almería - Espanha, 2017.

2.3.3. Importância e usos

Por séculos *F. vulgare* tem sido utilizado na medicina tradicional. É uma erva muito aromática e saborosa, empregada também na culinária, como aromatizante para carnes e peixes, sorvetes, bebidas alcoólicas e temperos, sendo consumida em saladas e suas folhas podem ser servidas cruas ou cozidas (Radulovic e Blagojevic, 2010; Rather et al., 2016). Seu extrato pode ainda ser utilizado na indústria, para conservação de alimentos (Caleja et al., 2015a).

Popularmente, seus frutos são utilizados na preparação de chás para tratamento de problemas digestivos, cólicas, prisão de ventre e estímulo à lactação. Na China, tradicionalmente era indicado para tratamento de tosse e bronquite crônica, pedras nos rins, dismenorreia e vômitos (Lorenzi e Matos, 2008; He e Huang, 2011; Al-Snafi, 2018).

Algumas atividades biológicas atribuídas ao funcho já foram comprovadas através de estudos, como o efeito hepatoprotetivo dos seus óleos essenciais (Ozbek et al., 2003), atividades antimicrobiana (Ozcan et al., 2006; Gulfraz et al., 2008; Anwar et al., 2009; Miguel et al., 2010; Foroughi et al., 2016), antioxidante (Anwar et al., 2009; Miguel et al., 2010; Zheljzkov et al., 2013), anti-inflamatória (Choi e Hwang, 2004; Keskin et al., 2017), inseticida (Pavela, 2018), entre outras.

As atividades biológicas de *F. vulgare* são atribuídas aos seus diferentes compostos bioativos que incluem óleos essenciais, fenilpropanoides, cumarinas, flavonoides, alcaloides, saponinas, entre outros (He e Huang, 2011; Al-Safi, 2018).

O odor característico destas plantas está relacionado com a presença de compostos voláteis em seus óleos essenciais. Já foram relatados cerca de 87 diferentes compostos e seu acúmulo nas diferentes partes da planta é variável (Badgujar et al., 2014; Saxena et al., 2018). Gillen e Manzanos (1996), ao investigarem a composição e o rendimento dos óleos essenciais de *F. vulgare*, identificaram a substância trans-anetol como constituinte majoritário correspondendo a cerca de 68 a 75%, e entre as demais substâncias identificadas estavam fenchona (8 – 15%) e metilchavicol (5 – 9%). A farmacopeia brasileira preconiza que os óleos essenciais de *F. Vulgare* devem apresentar em sua composição pelo menos 80% de anetol, até 15% de fenchona e 5% de estragol (Brasil, 1996).

2.4. *Matricaria recutita*

2.4.1. Classificação botânica e origem

Matricaria recutita é uma planta pertencente à família Asteraceae. É nativa da Europa e do Norte da Ásia, entretanto pode ser encontrada em diversos locais do mundo. É muito cultivada na Alemanha, Hungria, França e no Brasil (Singh et al., 2011).

Vulgarmente é conhecida como camomila, macela, matricária, camomila dos alemães, camomila vulgar, maçanilha, camomila comum, camomila romana e camomila verdadeira (Lorenzi e Matos, 2008, Gupta et al., 2010).

2.4.2. Descrição botânica

É uma planta anual, com cerca de 20 a 50 cm de altura, possui caule ereto e muito ramificado, sem pelos, suas folhas são verdes, lisas na parte adaxial e recortadas. Possui inflorescências brancas, com o centro de coloração amarela sobre um receptáculo cônico e oco, suas flores centrais são hermafroditas, seus frutos são simples, secos, cilíndricos e pequenos com somente uma semente (Srivastava et al., 2010; Singh et al., 2011).



Figura 3. A: Planta de *Matricaria recutita*. B: Flor de *Matricaria recutita*. Campos dos Goytacazes – RJ, 2018.

2.4.3. Importância e usos

A *Matricaria recutita* se caracteriza como uma das ervas mais comuns utilizadas para fins medicinais, sendo incluída na farmacopeia de 26 países e sendo seu uso como planta medicinal uma prática muito antiga, documentada em muitos lugares do mundo. O chá preparado a partir de suas flores secas é muito apreciado e consumido (Srivastava et al., 2010; Miraj e Alesaeidi, 2016).

Possui ampla utilização na indústria de alimentos, cosméticos e farmacêutica. As infusões, óleos essenciais e tinturas obtidos de suas flores possuem propriedades aromáticas e farmacológicas e por isso são usados em uma série de produtos comerciais, incluindo sabões, detergentes, perfumes, loções, pomadas, produtos de cabelo, produtos de panificação, confeitos, bebidas alcoólicas e chás (Gupta et al., 2010).

Na medicina tradicional é utilizada há séculos para tratar feridas, úlceras, eczemas, gota, irritações de pele, hematomas, queimaduras, aftas, neuralgias, hemorróidas, mastites, assaduras, infecções de ouvido, doenças dos olhos e inflamações nasais (Zadeh et al., 2014; Nayak et al., 2007).

Seu chá é amplamente empregado na medicina popular como sedativo suave para acalmar os nervos e reduzir a ansiedade, no tratamento de insônia e outros problemas de sono, relaxante digestivo, perturbações gastrointestinais, indigestão, diarreia, náuseas, vômitos e febres (Srivastava et al, 2010; Amsterdam et al., 2012).

Inúmeras atividades atribuídas à camomila já foram comprovadas em diversos trabalhos como anti-inflamatória (Sartori et al., 2003, Lins et al., 2013), antibacteriana (Albuquerque et al., 2010; Hartman e Onofre, 2010; Kazemi, 2015; Göger et al., 2018), neuroprotetiva (Rampariya et al., 2011), antioxidante (Coelho et al., 2012; Caleja et al., 2015b; Al-Dabbagh et al., 2019), anticancerígena (Srivastava e Gupta, 2007), cicatrizante (Nayak et al., 2007), antifúngica (Jamalian et al., 2012), entre outras.

O potencial terapêutico da camomila está relacionado com a presença de inúmeras substâncias bioativas (McKay e Blumberg, 2006; Srivastava et al., 2010). Diferentes classes de compostos estão presentes nas flores da *M. recutita*, sendo que destes, 120 constituintes químicos já foram identificados, podendo-se citar como exemplos os terpenoides (camazuleno e α -bisabolol), flavonoides (apinegina e luteolina) e cumarinas (umbeliferona) (Srivastava et al., 2010; Zadeh et al., 2014).

O rendimento dos óleos essenciais de camomila varia entre 0,4 e 2,0%, dependendo de sua origem, forma de cultivo e método de extração, sendo seus constituintes majoritários os terpenoides como α -bisabolol e seus óxidos ($\leq 78\%$) e camazulenos (1-15%) (McKay e Blumberg, 2006).

Nas flores, além dos óleos essenciais, também são encontrados compostos fenólicos, principalmente os flavonoides apigenina (16,8%), quercetina (9,9%), patuletina (6,5%) e luteolina (1,9%).

2.5. Produção de plantas medicinais

A necessidade de plantas medicinais e aromáticas como matéria-prima para a indústria de fitoterápicos e cosméticos, leva à exploração da flora nativa e, como consequência ao desequilíbrio ambiental. Nesse sentido, o cultivo dessas espécies se constitui como uma alternativa à essa condição, pois além de permitir a produção de materiais com maior qualidade e quantidade, também garante maior uniformidade (Lubbe e Verpoorte, 2011).

Muitas vezes a justificativa para a utilização de plantas coletadas de seus habitats é de que sua concentração de metabólitos secundários é maior em comparação às plantas cultivadas, porém estudos comprovam que é possível aumentar, regular e padronizar a produção desses compostos em plantas cultivadas. Nesse sentido, é importante considerar que a maioria das empresas multinacionais do ramo não aceita material oriundo de extrativismo (Schippmann et al., 2006; Rao et al., 2012).

O cultivo de plantas medicinais e aromáticas apresenta inúmeras vantagens quando comparado à coleta dessas plantas em seus ambientes, podendo-se citar a conservação das espécies, possibilidade de promover cultivos sustentáveis, maior pureza dos materiais, uniformidade, garantia de qualidade na colheita e armazenamento e produto final com maior valor agregado. Contudo, a necessidade de investimento para viabilizar a produção agrícola dessas espécies torna o produto mais caro em comparação ao coletado diretamente da natureza (Lubbe e Verpoote, 2011; Rao et al., 2012; Giurgiu et al., 2014).

Nesse seguimento, conhecimentos agrônômicos, botânicos, químicos, farmacológicos e toxicológicos são muito importantes para que produtos oriundos dessas plantas entrem e permaneçam no mercado e devido a isso, estudos científicos que busquem desenvolver tecnologias apropriadas para sua produção são indispensáveis (Simões e Schenkel, 2002).

No cultivo de plantas medicinais é imprescindível que a produção de biomassa esteja relacionada com o rendimento e o teor de compostos de interesse. Nesse sentido, trabalhos visando aumentar a produção e a qualidade destes compostos foram conduzidos por diversas técnicas de cultivo (Lopes et al., 2010; Maia-Almeida et al., 2011; Moradi et al., 2011; Rouphael et al., 2012; Khalid, 2013; Alvarenga et al., 2015).

Entretanto, para garantir a segurança e a eficácia na produção de plantas medicinais, uma alternativa é a técnica da hidroponia, uma vez que no cultivo a campo há variações ambientais (temperatura, radiação e chuvas) e ainda a incidência de doenças e pragas, fatores esses que podem influenciar a produção de compostos de interesse (Zobayed et al., 2005; Abdelmajeed et al., 2013).

2.6. Cultivo hidropônico de plantas medicinais e aromáticas

Em decorrência da crescente demanda por plantas medicinais e aromáticas, houve aumento da necessidade de cultivo intensivo e em grande escala dessas espécies, com enfoque na qualidade do produto final. Nesse seguimento, a hidroponia se mostra como uma alternativa, posto que é uma técnica de cultivo intensiva, em que as plantas são cultivadas sem solo e suas necessidades em água e nutrientes minerais são supridas por meio de uma solução nutritiva (Giurgiu et al., 2014; Treftz e Omaye, 2016). Alguns trabalhos mostram que o cultivo hidropônico foi responsável por aumentar as concentrações dos princípios ativos como óleos essenciais e flavonoides, em comparação com o cultivo convencional, além de resultar em um material mais uniforme (Canter et al., 2005; Paulus et al., 2007; Giurgiu et al., 2014).

A hidroponia permite maior controle da oferta de nutrientes e água, além de reduzir a incidência de pragas e doenças e conseqüentemente a utilização de agrotóxicos, melhorando o aproveitamento de áreas e permitindo a produção em menor espaço (Zobayed et al., 2005; Prazeres et al., 2017). Tendo em vista essas vantagens, algumas comunidades estão abandonando o cultivo tradicional e adotando a técnica da hidroponia na produção de plantas medicinais e aromáticas (Yoshimatsu, 2012; Robles, 2013).

Muitos fatores relacionados ao cultivo podem influenciar a produção de compostos pelas plantas medicinais, sendo esses divididos em fatores bióticos,

como, por exemplo, a presença de microrganismos, e abióticos, como temperatura, radiação, umidade, pH, toxidez e nutrição mineral (Morais, 2009; Abdelmajeed et al., 2013).

A síntese de metabólitos pelos vegetais está intimamente relacionada com seu *status* nutricional, pois os nutrientes minerais exercem um papel importante neste processo de produção, uma vez que são componentes de moléculas e ativadores enzimáticos, presentes nas rotas metabólicas de formação dessas substâncias (Morais, 2009; Ramakrishna e Ravishankar, 2011; Singh et al., 2017).

No cultivo hidropônico os nutrientes são fornecidos diluídos em água, formando a solução nutritiva. Nos estudos de nutrição mineral de plantas os nutrientes minerais essenciais são divididos, em decorrência da concentração em que se encontram nos tecidos vegetais, em macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) encontrados na ordem de grandeza de g kg^{-1} matéria seca e em micronutrientes (B, Cu, Mn, Zn, Fe, Cl, Mo e Ni) encontrados na ordem de mg kg^{-1} matéria seca (Marschner, 2012).

Trabalhos evidenciando o papel dos nutrientes no teor e conteúdo de compostos de interesse em plantas medicinais e aromáticas já foram conduzidos. Esses trabalhos tiveram como intuito embasar a elaboração de um manejo nutricional adequado com vistas à produção de matéria-prima vegetal com alta qualidade do produto final (Karioti et al., 2003; Garlet et al., 2013; Abdelmajeed et al., 2013; Souza et al., 2014; Alvarenga et al., 2015; Álvaro et al., 2016; Frescura et al., 2018). No entanto, trabalhos nessa linha ainda são necessários para certas espécies medicinais como *C. officinalis*, *F. vulgare* e *M. recutita*.

2.7. Solução nutritiva

No cultivo hidropônico, a solução nutritiva é um fator de extrema importância, pois é dela que depende o crescimento das culturas uma vez que é o meio onde os nutrientes minerais são dissolvidos em água e colocados à disposição dos vegetais para serem absorvidos pelo seu sistema radicular (Prazeres et al., 2017).

É um sistema homogêneo, onde os nutrientes necessários às plantas estão dispersos, geralmente na forma iônica e em proporções adequadas. A primeira solução foi proposta por Hoagland e Arnon (1950) e possui elevada concentração

de sais, sendo muito empregada em pesquisas com nutrição mineral de plantas, constituindo-se como base para a formulação de inúmeras soluções comerciais atualmente utilizadas, como, por exemplo, a proposta por Sonneveld e Straver (1994).

A utilização de solução no cultivo permite maior eficiência do uso da água e fertilizantes, reduzindo assim o impacto ambiental da atividade agrícola. Plantas cultivadas em sistema hidropônico geralmente apresentam crescimento mais rápido, já que a absorção de água e nutrientes é facilitada, em decorrência do contato direto da raiz com a solução (Putra e Yuliando, 2015; Pardossi et al., 2017).

A concentração dos nutrientes na solução está diretamente relacionada com sua condutividade elétrica, e a variação desta pode interferir na disponibilidade de nutrientes, absorção de água, abertura estomática e eficiência fotossintética (Baron et al., 2013). Soluções nutritivas mais diluídas reduzem os custos de produção, devido à menor quantidade de sais utilizados e podem melhorar as características da cultura, como demonstrado por Haber et al. (2005). Esses autores observaram no cultivo de *Mentha piperita* que a concentração mais diluída, estimada em $1,7 \text{ mS cm}^{-1}$, proporcionou redução do ciclo da cultura, antecipando a colheita, uma característica desejada para a maioria dos produtores. Em contrapartida, o crescimento, a produção de flores, sementes, ácidos graxos e γ -linoleico de *Borago officinalis* foram menores na condutividade $2,2 \text{ mS cm}^{-1}$ em comparação com $3,35$ e $4,5 \text{ mS cm}^{-1}$ (Urrestarazu et al., 2019).

Trabalhos com *Ocimum basilicum* e *Coriandrum sativum* cultivados em concentrações crescentes de solução nutritiva demonstraram que o maior crescimento destas plantas foi observado na concentração de $1,8 \text{ mS cm}^{-1}$ (Santos et al., 2005; Luz et al., 2012). No cultivo de *Petroselinum crispum* sob condutividade elétrica crescente da solução nutritiva ($1,2$; $2,2$ e $3,2 \text{ mS cm}^{-1}$) foi observado que a solução $2,2 \text{ mS cm}^{-1}$ proporcionou maior produção de óleos essenciais, mas por outro lado, no tratamento utilizando solução com $1,2 \text{ mS cm}^{-1}$ foram obtidas as maiores massas da matéria fresca e seca de parte aérea e raízes (Álvaro et al., 2016). Em um experimento testando concentrações de solução nutritiva ($1,0$; $2,0$; $3,0$; $4,0$ e $5,0 \text{ mS cm}^{-1}$), a maior produção de óleos essenciais de *Rosmarinus officinalis* foi obtida na condutividade elétrica estimada de $3,40 \text{ mS cm}^{-1}$, porém a massa da matéria seca desta planta foi reduzida com o aumento da concentração (Frescura et al., 2018).

A maioria dos trabalhos relacionando concentrações de solução nutritiva e o cultivo de plantas medicinais e aromáticas não avaliam a produção de princípios ativos por essas plantas. Ou seja, poucos são os trabalhos na literatura que abordam o manejo da solução nutritiva na qualidade das plantas medicinais (Letchamo et al., 1993; Economakis, 2005). Assim, são necessários estudos para o desenvolvimento de tecnologia para a produção agrícola dessas plantas, com foco não só na quantidade, mas também na qualidade do produto final (Simões e Schenkel, 2002; Zuanazzi e Mayorga, 2010).

3. TRABALHOS

3.1.1. ARTIGO 1: CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA SOLUÇÃO NUTRITIVA NA PRODUÇÃO DE FLORES E RUTINA EM *Calendula officinalis* L.

RESUMO

Calendula officinalis L. possui inúmeros flavonoides com atividades antioxidantes, anti-inflamatória e antimicrobiana. O manejo nutricional adotado durante o cultivo das plantas pode incrementar a produção de flavonoides como a rutina, que são muito importantes para a indústria farmacêutica e de cosméticos. O objetivo do trabalho foi verificar o efeito do aumento da condutividade elétrica da solução nutritiva no crescimento, na produção de flores, nos teores de nutrientes, nos teores de polifenóis totais e teores de rutina nas flores de *C. officinalis*. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com seis tratamentos, constituídos por condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0 mS cm⁻¹) e cinco repetições. A unidade experimental foi composta por um vaso, com 12 L de capacidade, contendo duas plantas, em sistema DFT (Deep Film Technique). A coleta de flores iniciou-se 120 dias após o semeio (DAS) e a coleta das plantas foi realizada aos 150 DAS. Foram avaliados o diâmetro médio de flores,

o número de flores, botões e folhas, as massas seca e fresca de flores e parte aérea, a área foliar e ainda o rendimento de extrato e os teores de nutrientes minerais, teores de polifenóis totais e teores de rutina nas flores. O aumento da condutividade elétrica da solução nutritiva proporcionou redução linear da massa fresca de flores. As variáveis número de folhas, área foliar e massas fresca e seca da parte aérea apresentaram comportamento quadrático à medida que se aumentou a concentração da solução, enquanto, os teores de rutina nas flores foram reduzidos de forma linear. Os tratamentos não influenciaram significativamente o diâmetro médio de flores, o número de flores e botões, o teor de polifenóis nas flores e o rendimento de extrato. Os teores de N, P, K, Ca, Zn, Cu, Mn e Ni foram influenciados pelas condutividades elétricas da solução. Desta forma, pode-se concluir que para o cultivo hidropônico de *C. officinalis* a utilização de solução nutritiva com condutividade entre 0,5 e 1,6 mS cm⁻¹ é indicada.

PALAVRAS-CHAVE: calêndula, DFT, flavonoides.

ABSTRACT

Calendula officinalis flowers contain flavonoids such rutin which has been proven to have numerous activities like antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial, among others. Nutritional management in plant cultivation can increase substances production as rutin. Rutin is very important for pharmaceutical and cosmetics industry however is produced in small quantities by plants. This study aimed to verify the effect of increasing nutrient solution electrical conductivity on growth, flower production, nutrient content, total phenols and rutin in *C. officinalis* flowers. The experimental design was a randomized block design with 6 treatments, consisting of increasing nutrient solution electrical conductivity (0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 and 3.0 mS cm⁻¹) and 5 replicates. The experimental unit was a pot with 12 L of capacity containing two plants in DFT (Deep Film Technique) system. Flowers harvest started at 120 days after sowing (DAS) and plant harvest was performed at 150 DAS. Plants were evaluated for average flower diameter, number of flowers, buds

and leaves, flowers dry and fresh matter, fresh and dry shoot matter, leaf area, extract yield, mineral nutrient content, total phenols and rutin in flowers. The increase of electric conductivity of nutrient solution provided a linear reduction of flowers fresh matter. Leaf number, leaf area and shoot fresh and dry matter showed a quadratic behavior as solution concentration increased. On the other hand, rutin levels in flowers were reduced. The treatments did not significantly influence the mean diameter of flowers, number of flowers and buds, content of polyphenols in flowers and extract yield. N, P, K, Ca, Zn, Cu, Mn and Ni contents were influenced by electrical conductivities of the solution. Thus, we concluded that for the cultivation of *C. officinalis* a nutrient solution with conductivity between 0.5 and 1.6 mS cm⁻¹ is indicated.

Keywords: potmarigold, DFT, flavonoids.

1. INTRODUÇÃO

A planta medicinal, *Calendula officinalis*, pertencente à família botânica Asteraceae, vulgarmente conhecida como calêndula (Lorenzi e Matos, 2008; Ashwlayan et al., 2018) é originária das regiões do Mediterrâneo e Egito (Khalid e Silva, 2012; Nelofer et al., 2017) entretanto pode ser encontrada em vários países.

Suas flores são ricas em flavonoides e são extensamente utilizadas na medicina tradicional, seu uso medicinal se deve às atividades biológicas já comprovadas por diversos trabalhos, como anti-inflamatória (Preethi et al., 2009; Alexandre et al., 2017), antitumoral (Ukiya et al., 2006), antimicrobiana (Efstratiou et al., 2012; Ghaima et al., 2013; Ali e El-Moaty, 2017), antiparasitária (Szakiel et al., 2008) e antioxidante (Chakraborty, 2009; Verma et al., 2016; Verma et al., 2017).

A demanda pela indústria por plantas medicinais vem aumentando no decorrer dos anos, fortalecendo assim a necessidade de cultivo intensivo dessas plantas, sendo importante destacar que é indispensável que a produção de compostos esteja relacionada com a produção de biomassa, garantindo um maior rendimento (Rouphael et al., 2012b). Nessa perspectiva, a hidroponia se mostra

como uma alternativa promissora na produção de plantas medicinais, uma vez que esta técnica permite maior controle da oferta de nutrientes e das condições de cultivo, garante a obtenção de um produto mais uniforme e com maior qualidade, além de reduzir a necessidade de espaço e mão de obra (Yoshimatsu, 2012; Prazeres et al., 2017).

A solução nutritiva se constitui como um fator de extrema importância no cultivo hidropônico, uma vez que é o meio onde os nutrientes e a água são colocados à disposição das plantas para serem absorvidos (Prazeres et al., 2017). A condutividade elétrica de uma solução nutritiva está diretamente relacionada a concentração de nutrientes, nesse sentido soluções mais diluídas apresentam condutividades mais baixas permitindo economia no consumo de fertilizantes (Baron et al., 2013).

A síntese de compostos químicos pelas plantas está intimamente relacionada com seu *status* nutricional, pois os nutrientes minerais exercem papel importante nas rotas de bioprodução desses compostos, uma vez que participam da composição de moléculas ou podem atuar como ativadores enzimáticos nessas rotas (Morais, 2009; Ramakrishna e Ravishankar, 2011; Abdelmajeed et al., 2013). Nesse sentido, alguns trabalhos demonstram que a produção de flavonoides nos capítulos florais de *C. officinalis* pode ser influenciada pelo manejo nutricional (Król, 2011; Rahmani et al., 2012; Yadegari, 2016) mas trabalhos com condutividade elétrica de soluções nutritivas precisam ser realizados.

Visando a produção de plantas medicinais e seus compostos de interesse de forma quantitativa e qualitativa, alguns trabalhos já foram realizados testando concentrações de solução nutritiva na produção de metabólitos secundários, como os trabalhos de Lu et al. (2018) em plantas de *Perilla frutescens*, Amalfitano et al., (2017) em *Capsicum annum* e Roupheal et al., (2012a) em *Cynara cardunculus*. Esses trabalhos demonstram que alguns compostos fenólicos podem ser incrementados com o aumento da concentração nutritiva e os outros podem diminuir. O objetivo do trabalho foi verificar o efeito do aumento da condutividade elétrica da solução nutritiva no crescimento, na produção de flores, nos teores de nutrientes, nos teores de polifenóis totais e nos teores de rutina nas flores de *C. officinalis*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação com cobertura de filme de polietileno de baixa densidade (100 μm) e tela de sombreamento 50%, durante os meses de março a julho de 2016, na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), em Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil (Latitude = 21°19'23", Longitude = 41°10'40"; Altitude = 14 m). As temperaturas mínima e máxima registradas nesse período foram de 13 e 39 °C (HOBO® pro v2 datalogger).

O cultivo foi feito em sistema DFT (Deep Film Technique) e o delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com seis tratamentos constituídos por condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0 mS cm^{-1}) e cinco repetições. A unidade experimental foi composta por um vaso de 12 L, contendo duas plantas.

A propagação foi realizada utilizando sementes comerciais de calêndula (Isla®) germinadas em espuma fenólica. Realizou-se o transplântio para os vasos aos 27 dias após o semeio (DAS). Inicialmente, as plantas receberam solução nutritiva com 0,5 mS cm^{-1} de condutividade, que após o transplântio foi aumentada, em 0,5 mS cm^{-1} , a cada três dias até que se atingissem os valores planejados nos respectivos tratamentos, até que fosse alcançada a condutividade de 3,0 mS cm^{-1} no tratamento de maior concentração. A aeração da solução foi realizada com auxílio de bombas de aquário e mangueiras contendo em suas extremidades uma pedra porosa, que foram colocadas em cada vaso.

A solução nutritiva utilizada foi a proposta por Hoagland e Arnon (1950) (Tabela 1). Diariamente, fez-se o monitoramento e ajuste da condutividade elétrica e do pH das soluções, que foi mantido entre 5,5 e 5,8, utilizando-se solução NaOH (2 mol L^{-1}) e HCl (2 mol L^{-1}). A troca das soluções nutritivas foi realizada a cada 10 dias.

Tabela 1. Composição da solução nutritiva proposta por Hoagland e Arnon, (1950)

Macronutrientes (mM)						Micronutrientes (μM)						
K^+	NH_4^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NO_3^-	P	SO_4^{2-}	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
5	2	4	2	14	1	2,5	4	5	1	2	$\frac{2}{5}$	0,5

A coleta das inflorescências foi iniciada 120 DAS, e estas foram avaliadas quanto ao seu número, diâmetro médio e massa da matéria fresca. Posteriormente as flores foram armazenadas em sacos de papel e submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar por 72 horas a 40°C, sendo então obtida sua massa seca. A coleta das inflorescências foi realizada durante 30 dias, à medida que estas se apresentavam totalmente abertas. Após 150 DAS, as plantas inteiras foram coletadas e avaliadas quanto ao número de folhas e botões, área foliar e massa da matéria fresca da parte aérea. A área foliar foi obtida com auxílio de medidor de área foliar (LiCor, modelo LI-3100). A massa da matéria seca da parte aérea foi obtida após secagem à 65° C por 48 h.

As flores secas foram moídas em moinho de facas do tipo Willey e o material foi acondicionado em frascos hermeticamente fechados. Para a determinação dos teores de N, as amostras foram submetidas à digestão sulfúrica, na qual o nitrogênio foi determinado pelo método de Nessler (Jackson, 1965). Os outros nutrientes P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Zn, Mn, Cu, Mo e Ni foram quantificados por ICP-OES, após digestão com HNO_3 concentrado e H_2O_2 em sistema de digestão aberta. As condições do ICP foram: gás plasma 8,0 L min^{-1} , gás auxiliar 0,70 L min^{-1} e gás carreador 0,55 L min^{-1} (Peters, 2005).

Para quantificação dos polifenóis totais, 0,375 g de amostras de flores foram submetidas à extração com metanol:água (1:1) durante 1 hora em banho aquecido à 80 °C. Após filtragem, foi acrescentado aos extratos o reagente Folin-Dennis. Utilizou-se ácido tânico para a curva padrão (Anderson e Ingram, 1993).

Para quantificação dos teores de rutina foi realizada extração metanólica utilizando 25 mL de metanol e 2 g de flores secas e moídas. Após evaporação foi obtida a massa do extrato. A quantificação foi realizada por meio da cromatografia líquida utilizando como padrão externo o flavonoide rutina (Sigma®), em um

cromatógrafo modelo Shimadzu Prominence SPDM10A com sistema de fotodiodos. Os parâmetros utilizados foram: Temperatura: 32 °C; Fase móvel: A= Água + Ácido fórmico (0,5 %) e B= Acetonitrila; Fluxo: 0,8 mL min⁻¹ e Comprimento de onda: 254-350 nm, com gradiente de polaridade.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, a 5% de probabilidade pelo teste F, e à análise de regressão, ambas utilizando-se o Sistema de Análise Estatística (SANEST) desenvolvido pelo CIAGRI/USP (Zonta et al., 1984).

3. RESULTADOS

Foi observado efeito significativo dos tratamentos para massa fresca de flores de calêndula (Figura 1A). Esta variável foi reduzida de forma linear à medida que se aumentou a condutividade elétrica da solução nutritiva. Verificou-se efeito quadrático significativo para o número de folhas em função do aumento da condutividade da solução nutritiva, onde o maior número de folhas foi observado na condutividade estimada de 1,8 mS cm⁻¹ (Figura 1B).

A área foliar apresentou comportamento quadrático significativo em resposta ao aumento da condutividade da solução, com o maior valor observado para essa variável encontrado na condutividade estimada de 1,7 mS cm⁻¹ (Figura 1C). A maior produção de massa fresca (443,8 g) e de massa seca (36,28 g) da parte aérea por planta, em função do aumento da concentração da solução nutritiva no cultivo de calêndula, ocorreram nas condutividades estimadas de 1,6 e 1,7 mS cm⁻¹ respectivamente (Figuras 1D e 1E). Foi observado redução linear no teor de rutina nas flores de calêndula com o aumento da condutividade elétrica da solução (Figura 1F). O teor de rutina observado no tratamento 3,0 mS cm⁻¹ foi 46% menor que o observado no tratamento de 0,5 mS cm⁻¹ de condutividade elétrica (Figuras 2A e 2B).

Para as variáveis diâmetro médio de flores, número de flores e botões, massa seca de flores, rendimento de extrato e teores de polifenóis nas flores não foram observadas diferenças significativas em funções dos tratamentos (Tabela 2).

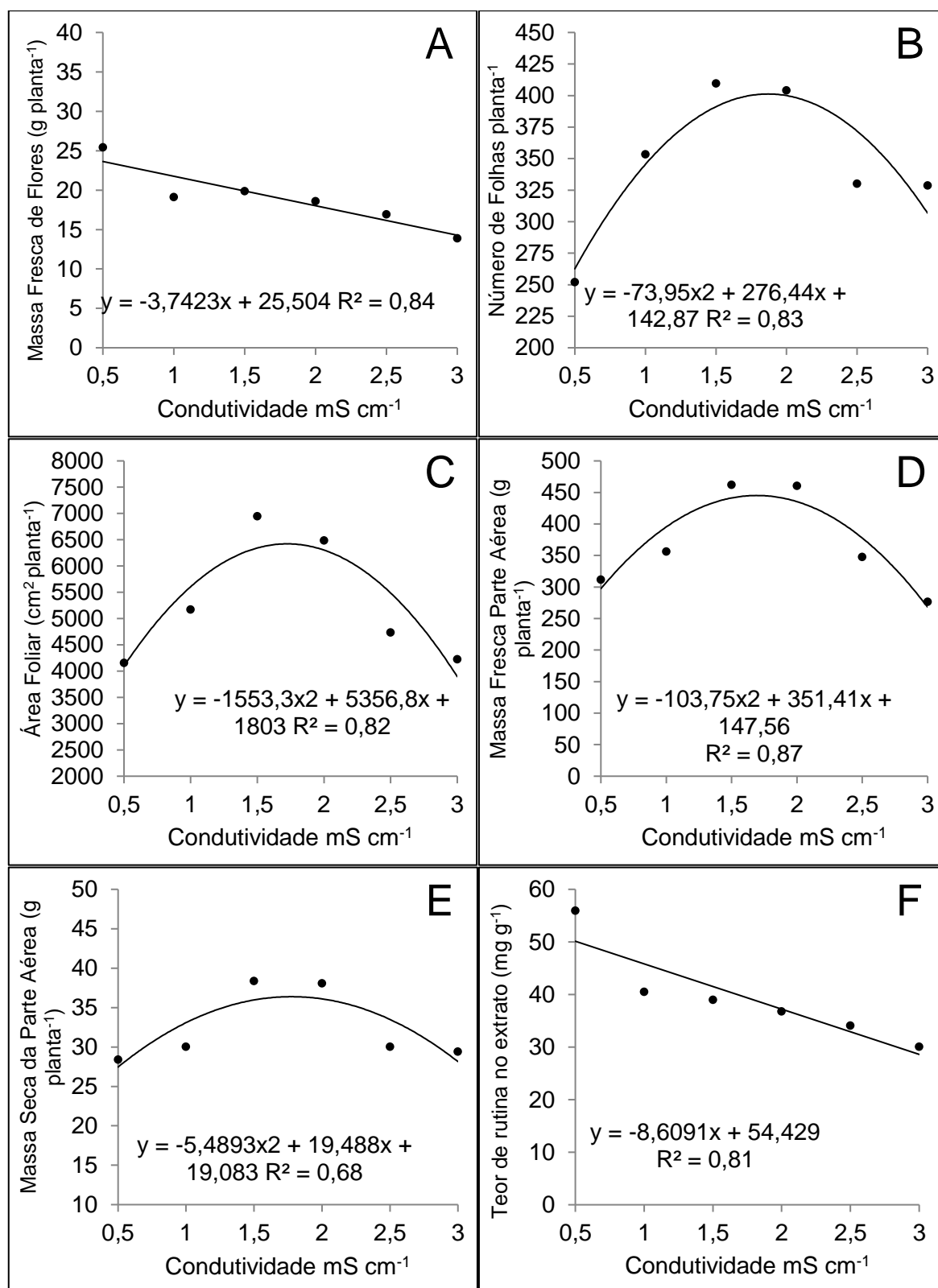


Figura 1. Massa fresca de flores (A), número de folhas (B), área foliar (C), massa fresca (D) e massa seca da parte aérea (E) e teor de rutina no extrato (F) de *C. officinalis* cultivada em condutividade elétrica crescente da solução nutritiva.

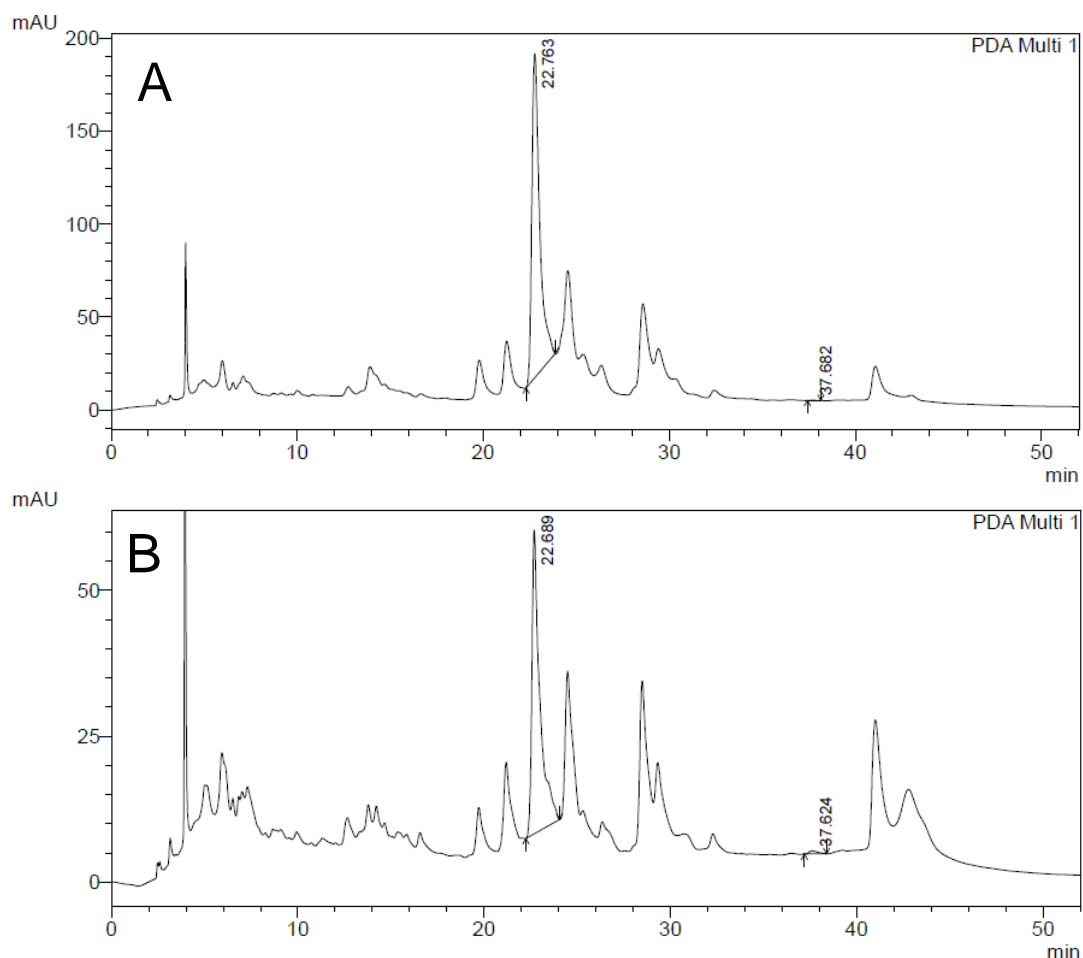


Figura 2. Cromatogramas do extrato metanólico de flores de *C. officinalis*, evidenciando a área do pico de rutina (Tempo de retenção: 22 min). A: Tratamento $0,5 \text{ mS cm}^{-1}$ e B: Tratamento $3,0 \text{ mS cm}^{-1}$.

Tabela 2. Probabilidade (Prob.), média e coeficiente de variação (CV) do diâmetro médio de flores (DMF), massa seca de flores (MSF), número de flores (NF), teor de polifenóis nas flores (POL), rendimento de extrato (E) e número de botões (NB) por planta de *C. officinalis* cultivada em condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva

Fator	DMF (mm)	MSF (g)	NF	POL (g kg ⁻¹)	E (g)	NB
Prob.	0,07	0,08	0,19	0,07	0,1	0,08
Média	55,3	2,3	15,0	15,4	0,26	20,06
CV(%)	9,0	22,9	35,2	7,1	5,7	18,4

Os teores dos macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio nas flores de calêndula apresentaram comportamento quadrático em resposta ao aumento da condutividade elétrica da solução nutritiva. Os maiores teores de N, P, K e Ca (37,3; 8,0; 40,1 e 11,4 g kg⁻¹) foram observados, respectivamente, nas condutividades estimadas de 2,1; 2,1; 2,2 e 1,7 mS cm⁻¹ (Figura 3A, 3B, 3C e 3D).

O aumento da concentração de nutrientes na solução nutritiva proporcionou incremento seguido de redução nos teores de cobre, manganês e zinco nas flores de calêndula. Os maiores teores destes micronutrientes (14,0; 73,1 e 54,5 mg kg⁻¹) foram observados nas condutividades estimadas de 2,2; 2,1 e 1,9 mS cm⁻¹ (Figuras 4A, 4B e 4D).

As condutividades elétricas testadas tiveram efeito linear decrescente sobre o teor de níquel nas flores (Figura 4C). Não foi observada diferença significativa para os teores de magnésio, enxofre, boro, ferro e molibdênio nas flores em função dos tratamentos (Tabela 3).

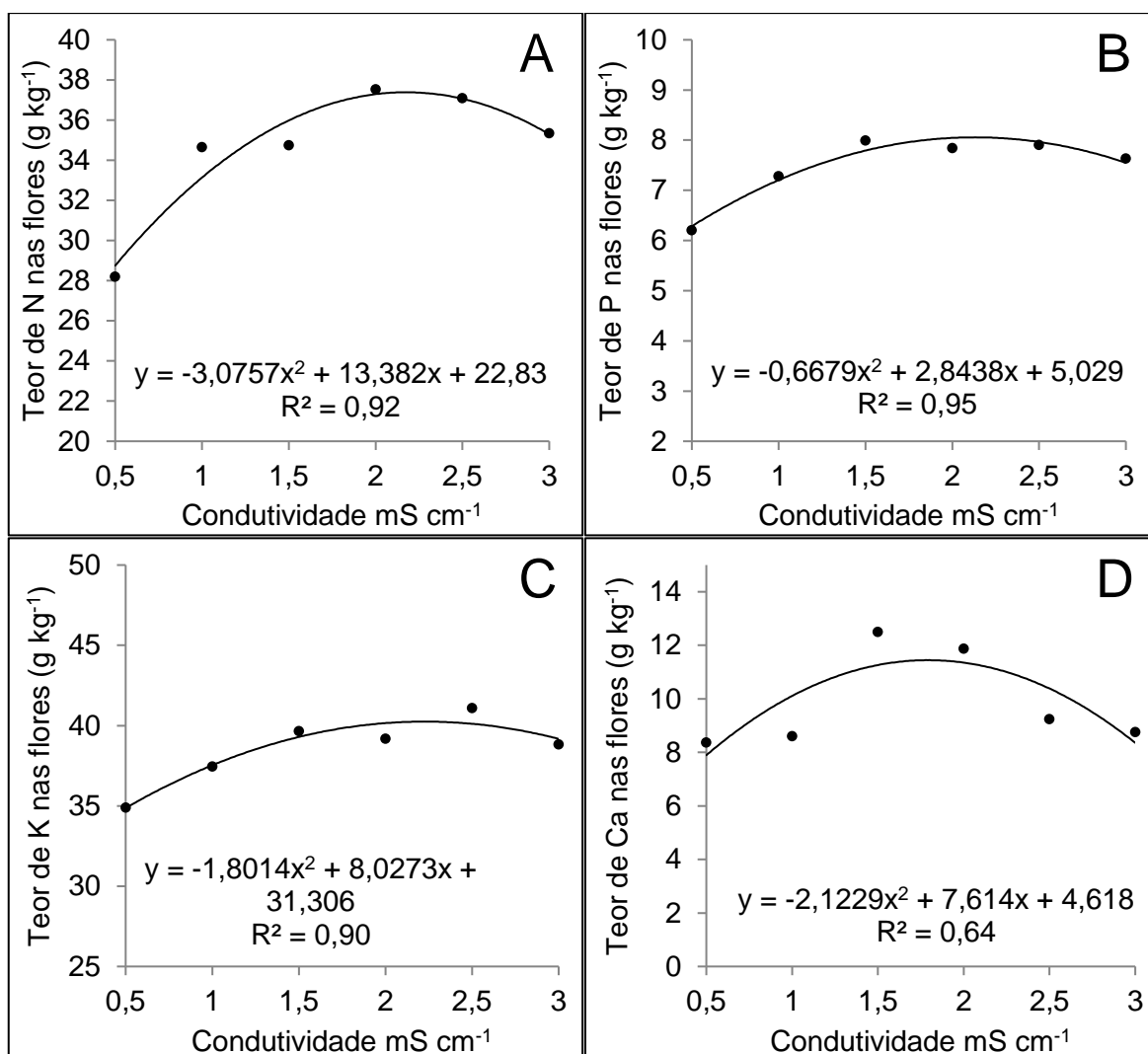


Figura 3. Teores de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C) e cálcio (D) em flores de *C. officinalis* cultivada em condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva.

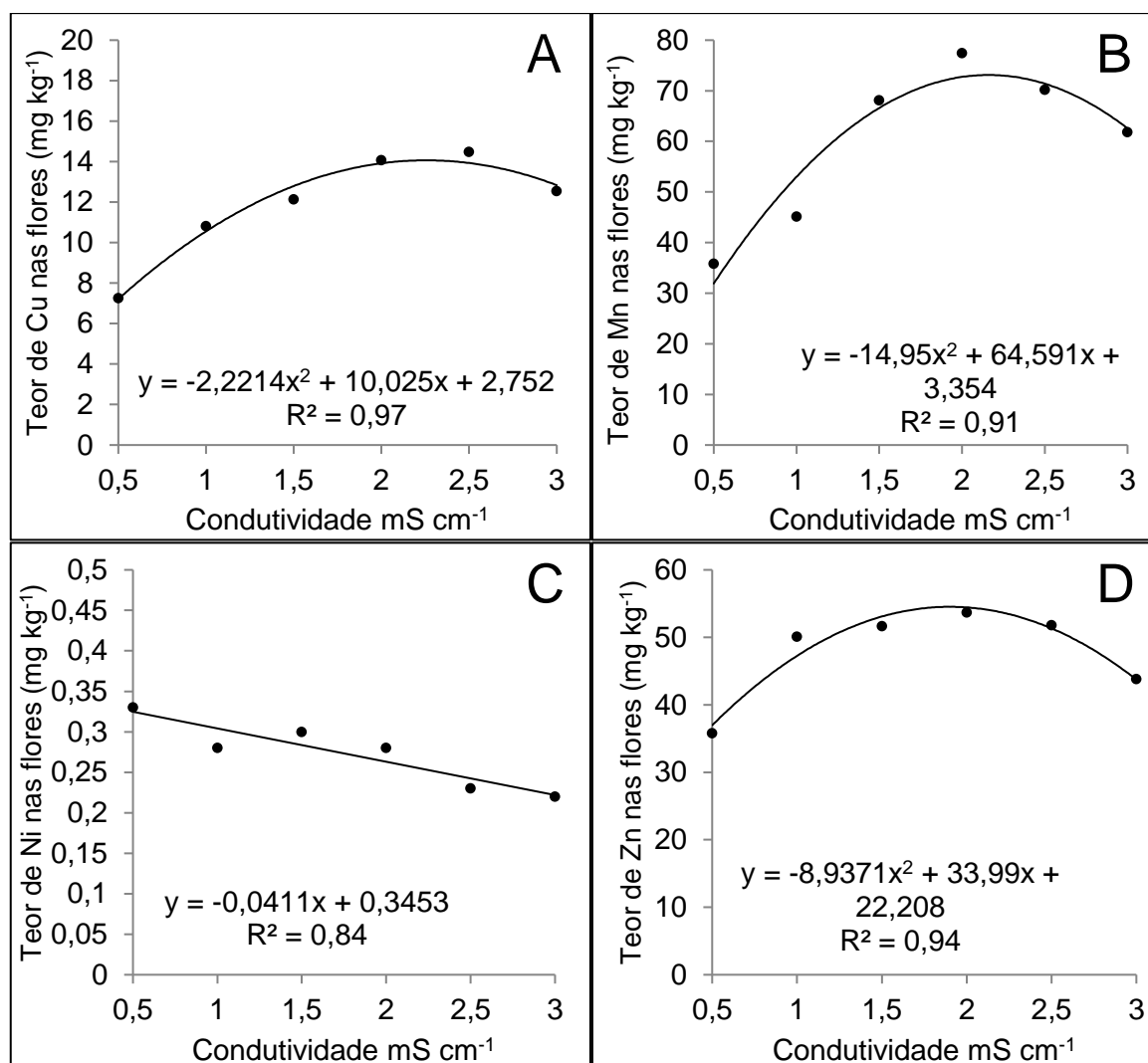


Figura 4. Teores de cobre (A), manganês (B), níquel (C) e zinco (D) em flores de *C. officinalis* cultivada em condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva.

Tabela 3. Probabilidade (Prob.), média e coeficiente de variação (CV) dos teores de nutrientes minerais em flores de *C. officinalis* cultivada em condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva

Fator	S (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)	Mo (mg kg ⁻¹)	Fe (mg kg ⁻¹)	B (mg kg ⁻¹)
Prob.	0,98	0,82	0,13	0,83	0,12
Média	3,5	3,1	2,8	113,4	89,7
CV(%)	7,8	8,8	15,0	14,4	15,0

4. DISCUSSÃO

A condutividade elétrica da solução nutritiva é um fator importante no cultivo hidropônico, capaz de afetar o crescimento do vegetal (Baron et al., 2018). No presente trabalho, a massa fresca de flores de calêndula foi reduzida com o aumento da concentração de nutrientes na solução nutritiva (Figura 1A). Todavia, o número, o diâmetro e a massa seca de flores, não foram afetados significativamente pelos tratamentos (Tabela 2). Estes resultados sugerem que a redução da massa fresca de flores, observada em decorrência do aumento da condutividade, está relacionada com a dificuldade na absorção de água pelas plantas de calêndula.

O aumento da concentração iônica de uma solução nutritiva leva à redução do potencial osmótico próximo às raízes das plantas, ocorrendo dessa forma um decréscimo na absorção de água levando à perda da turgescência das células, podendo ocasionar então redução das taxas de crescimento (Taiz e Zeiger, 2006; Parihar et al., 2015).

A absorção de água pelas plantas ocorre pela diferença de potencial hídrico existente entre o simplasto das células das raízes e a solução no seu entorno, sendo que a água tende a se movimentar seguindo um gradiente de potencial hídrico, sempre em direção ao local com menor potencial. Como soluções nutritivas com condutividade elétrica mais alta possuem potencial hídrico mais baixo, essas, conseqüentemente, dificultam a absorção de água pelas plantas afetando seu crescimento (Larcher, 2000).

Sun et al. (2018), testando condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva no cultivo de *Tagetes* sp., observaram que a condutividade de 6 mS cm⁻¹ levou à redução no número e massa seca de flores. Da mesma forma, no cultivo de girassol, a condutividade elétrica de 6,5 mS cm⁻¹ reduziu a massa seca e o diâmetro de flores (Silva et al., 2009).

Estudando condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva (1,0; 2,0; 3,0; 4,0 e 5,0 mS cm⁻¹) no cultivo de *Gerbera jamesoni*, Mota et al., (2016) demonstraram que a elevação da concentração de nutrientes na solução nutritiva não influenciou o número de flores e a massa seca da parte aérea, mas, por outro lado, o diâmetro das inflorescências foi incrementado.

Em decorrência do aumento da concentração de nutrientes minerais na solução nutritiva, houve um incremento seguido de redução no crescimento das plantas de calêndula, representado pelas variáveis número de folhas, área foliar, massa fresca da parte aérea e massa seca da parte aérea (1B, 1C, 1D e 1E). Este incremento no crescimento das plantas pode ter ocorrido devido ao aumento da absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, cobre, manganês e zinco, uma vez que esses nutrientes desempenham funções essenciais no metabolismo vegetal (Figuras 3A, 3B, 3C, 3D, 4A, 4B e 4D).

A aplicação de nutrientes durante o cultivo reflete diretamente no crescimento das plantas (Marschner, 1995). O nitrogênio se caracteriza por ser comumente o nutriente mais exigido pelas plantas e possui como principal função ser constituinte da molécula de clorofila, de proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos, coenzimas, entre outras substâncias (Souza e Fernandes, 2006; Taiz e Zeiger, 2006).

Comumente, observa-se nas plantas o aumento das taxas fotossintéticas e do crescimento vegetativo quando se aumenta a oferta de N nos cultivos (Lawlor, 2002; Tavarini et al., 2015). Serra et al. (2013) observaram que o aumento das doses de nitrogênio no cultivo de calêndula proporcionou maiores massas da matéria fresca e seca da parte aérea. O cultivo de calêndula em doses crescentes de nitrogênio e fósforo proporcionou aumentos no número e na massa da matéria seca de flores (Kumar et al., 2015) e na massa da matéria fresca e seca da parte aérea (Moreira et al., 2005). Da mesma forma, o aumento das doses de nitrogênio, fósforo e potássio proporcionaram maiores área foliar, número de flores, diâmetro de flores e massas da matéria fresca e seca de flores nesta planta (Ahmad et al., 2017).

Os efeitos observados com o aumento da concentração de nutrientes na solução nutritiva podem ser explicados pela função desses no metabolismo das plantas. Por exemplo, o fósforo está particularmente envolvido na transferência de energia, uma vez que é constituinte da molécula de ATP, necessária para a fotossíntese, translocação e outros processos metabólicos (Araújo e Machado, 2006). Por sua vez, o potássio nas plantas possui importante papel como ativador enzimático e também na regulação de processos metabólicos, além de estar envolvido no controle da abertura e fechamento estomático, transporte de açúcares e síntese de proteínas (Meurer, 2006; Prajapati e Modi, 2012).

O cobre, o manganês e o zinco são micronutrientes e, por isso, exigidos em pequenas quantidades pelas plantas, entretanto apesar de serem exigidos em pequenas quantidades, esses nutrientes são indispensáveis para o crescimento vegetal. O cobre atua como ativador enzimático e participa de processos fisiológicos como a fotossíntese, respiração e fixação de nitrogênio. Por sua vez, o manganês é essencial à síntese de clorofila, atua como ativador enzimático e participa da fotólise da água, na etapa fotoquímica da fotossíntese (Dechen e Nachtigall, 2006; Marshner, 1995). O zinco nas plantas atua como componente de enzimas e ativador enzimático e está intimamente envolvido no metabolismo do nitrogênio e na síntese de auxina (Marshner, 1995). Avaliando aplicação de sulfato de zinco em plantas de *C. officinalis*, Maleki et al., (2014) observaram que o aumento da disponibilidade de zinco proporcionou incrementos na massa da matéria seca.

A absorção de níquel foi reduzida em decorrência do aumento da condutividade elétrica da solução nutritiva (Figura 2F). O níquel é um micronutriente que participa do metabolismo e da fixação do nitrogênio nas plantas, é absorvido na forma Ni^{+2} e é encontrado em pequenas quantidades no tecido vegetal (Dechen e Nachtigall, 2006). A redução da absorção de níquel observada nesse trabalho, pode estar associada à competição entre os nutrientes pelos sítios de absorção nas raízes (Fernandes e Souza, 2006).

A redução dos teores de N, P, K, Cu e Mn pode ter ocorrido em decorrência de um estresse salino ocasionado pela alta concentração de nutrientes na solução nutritiva. O baixo potencial osmótico da solução, que afeta as raízes em condições de elevada concentração de sais, impede a absorção de água e, conseqüentemente, de nutrientes (Dias et al., 2016). Além do efeito salino, a competição entre os íons pelos mesmos sítios de absorção nas raízes faz com que um nutriente seja absorvido preferencialmente em detrimento a outro (Epstein e Bloom, 2006; Marshner, 1995).

O aumento da oferta de nutrientes está relacionado, muitas vezes, a um decréscimo na produção de compostos bioativos pelas plantas, tais como os flavonoides. No presente trabalho, os teores de rutina observados nas flores de calêndula foram reduzidos com o aumento da concentração de nutrientes na solução nutritiva (Figura 1F). A rutina é um flavonoide com atividades biológicas já evidenciadas como atividades antioxidante e anti-inflamatória (Verma et al., 2017; Alexandre et al., 2017).

Os flavonoides são sintetizados, nas células vegetais, na face citosólica do retículo endoplasmático, pela ação de um complexo de enzimas, sendo derivados de duas vias de biosíntese que são a via do ácido chiquímico e a via do acetato (Mann, 2001; Mierziak et al., 2014).

Lillo et al. (2008) sugerem que o aumento da produção de flavonoides em condições de baixo suprimento de nutrientes está ligado à relação C/N. A deficiência de N restringe a síntese de proteínas aumentando a disponibilidade de fenilalanina, substância precursora na biossíntese dos flavonoides (Ibrahim et al., 2012).

No cultivo de *Labisia pumila*, Ibrahim et al. (2012) testaram 4 doses de nitrogênio (0, 90, 180 e 270 kg de N ha⁻¹) e observaram que o maior teor de flavonoides foi obtido na menor dose utilizada. O incremento na produção de flavonoides, observado em plantas sob condições de baixo suprimento de N, já foi relatado por Margna et al. (1989) em *Fagopyrum esculentum*, Roupael et al. (2012b) em *Cynara cardunculus* e Freitas et al. (2007) em *Passiflora edulis*.

Liu et al. (2011) avaliaram duas doses de potássio (0,05 e 0,3 g de K₂O kg⁻¹) no cultivo de *Chrysanthemum morifolium* e observaram maior produção de flavonoides na menor dose de potássio. A deficiência de fósforo promoveu maior produção de flavonoides em *P. edulis* (Freitas et al., 2007) e *Nicotiana tabacum* (Jia et al., 2014).

5. CONCLUSÕES

O aumento da condutividade elétrica no cultivo de *C. officinalis* reduz o crescimento das plantas e a produção de rutina, porém não interfere na produção de flores, de modo que neste cultivo é indicado o uso de solução nutritiva, proposta por Hoagland e Arnon, com condutividades elétricas em torno de 0,5 a 1,6 mS cm⁻¹.

REFERÊNCIAS

- Abdelmajeed, N.A., Danial, E.N. Ayad, H.S. (2013). The effect of environmental stress on qualitative and quantitative essential oil of aromatic and medicinal plants. *Archives des Sciences*, 66(4):100-120.
- Ahmad, I., N., Jabeen, K., Ziaf, J.M., Dole, M.A.S., Khan, Bakhtavar, M.A. (2017) Macronutrient application affects morphological, physiological, and seed yield attributes of *Calendula officinalis* L. *Canadian Journal of Plant Science*, 97(5):906-916.
- Alexandre, J.T.M., Sousa, L.H.T., Lisboa, M.R.P., Furlaneto, F.A.C., do Val, D.R., Marques, M., Vasconcelos, H.C., Melo, I.M., Leitão, R., Brito, J.A.C., Goes, P (2017) Anti-inflammatory and antiresorptive effects of *Calendula officinalis* on inflammatory bone loss in rats. *Clinical Oral Investigations*, 22(6):2175-2185.
- Ali, E.M., El-Moaty, H.A. (2017) Antifungal activity of *Achillea santolina* L. and *Calendula officinalis* L. essential oils and their constituents against fungal infection of liver as complication of cyclophosphamide therapy. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 20(4):1030-1043.
- Amalfitano, C., Del Vacchio, L., Somma, S., Cuciniello, A., Caruso, G. (2017) Effects of cultural cycle and nutrient solution electrical conductivity on plant growth, yield and fruit quality of "Friariello" pepper grown in hydroponics. *Hort Science*, 44:91-98.
- Anderson, J.D., Ingram, J.S.I. (1993) Tropical soil biology and fertility. A handbook of methods. 2.ed. Walling Ford: CAB International.
- Araújo, A.P.A., Machado, C.T.T. (2006) Fósforo. In *Nutrição Mineral de Plantas*, ed. M.S. Fernandes, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 253-280. Viçosa.

- Ashwlayan, V.D., Lumar, A., Verma, M., Garg, V.K., Gupta, S.K. (2018) Therapeutic potential of *Calendula officinalis*. *Pharmacy and Pharmacology International Journal*, 6(2):149-155.
- Baron, D., Amaro, A.C.E., Campos, F.G., Boaro, C.S.F., Ferreira, G. (2018) Plant physiological responses to nutrient solution: an overview. In: Ahmad, P., Ahanger, M.A., Singh, V.P., Tripathi, D.K., Alam, P., Alyemeni, M.N. (Eds.) *Plant metabolites and regulation under environmental stress*. Academic Press, 20p.
- Baron, D., Ferreira, G., Rodrigues, J.D., Boaro, C.S.F., Macedo, A.C. (2013) Gas exchange, physiological indexes and ionic accumulation in *Annona emarginata* (Schltdl.) H. Rainer seedlings in nutrients solution. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35(2):361-376.
- Chakraborty, G.S. (2009) Antioxidant activity of successive extracts of *Calendula officinalis* leaves. *Asian Journal of Chemistry*, 21(6):4957-4959.
- Dechen, A.R., Nachtigall, G.R. (2006) Micronutrientes. In *Nutrição Mineral de Plantas*, ed. M.S. Fernandes, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 327-354. Viçosa.
- Dias, N.S., Blanco, F.F., Souza, E.R., Ferreira, J.F.S., Souza Neto, O.N. Quairoz, I.S.R., (2016) Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: Gheyi, H.R., Dias, N.S., Lacerda, C.F., Gomes Filho, E. (Ed.). *Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados*. INCTSal. Fortaleza. 151-162.
- Efstratiou, E., Hussain, A.I., Nigam, P.S., Moore, J.E., Ayub, M., Rao, J.R. (2012) Antimicrobial activities of *Calendula officinalis* petal extracts against fungi, as well as gram-negative and gram-positive clinical pathogens. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 18:173-176.
- Epstein, E., Bloom, A.J. (2004) *Nutrição mineral de plantas – princípios e perspectivas*. 2 ed. Editora Planta: Londrina.

- Fernandes, M.S., Souza, S.R. (2006) Absorção de nutrientes. In *Nutrição Mineral de Plantas*, ed. M.S. Fernandes, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 115-152. Viçosa.
- Freitas, M.S.M., Monnerat, P.H., Vieira, I.J.C., Carvalho, A.J.C. (2007) Flavonoids and mineral composition the leaf in yellow passion fruit in function of leaves at positions in the branch. *Ciência Rural*, 37(6):1634-1639.
- Ghaima, K.K., Rasheed, S.F., Ahmed, E.F. (2013) Antibiofilm, antibacterial and antioxidant activities of water extract of *Calendula officinalis* flowers. *International Journal of Biological and Pharmaceutical Research*, 4(7):465-470.
- Hoagland, D.R., Arnon, D.I. (1950) *The water culture method for growing plants without soils*. Berkeley: California Agricultural Experimental Station.
- Ibrahim, M.H., Jaafar, H.Z.E., Rahmat, A., Rahman, Z.A. (2012) Involvement of nitrogen on flavonoids, glutathione, anthocyanin, ascorbic acid and antioxidante activities of Malaysian medicinal plant *Labisia pumila* Blume (Kacip Fatimah). *International Journal of Molecular Science*, 13:393-408.
- Jackson, M. L. (1965) *Soil chemical analysis*. New Jersey: Prentice Hall.
- Jia, H., Wang, J., Yang, Y., Liu, G., Bao, Y. Bao, Chui, H. (2014) Changes in flavonol content and transcript levels of genes in the flavonoid pathway in tobacco under phosphorus deficiency. *Plant Growth Regulations*, 76(2):225-231.
- Khalid, K.A., Silva, J.A.T. (2012) Biology of *Calendula officinalis* Lin.: Focus on pharmacology, biological activities and agronomic practices. *Medicinal and Aromatic Plant Science and Biotechnology*, 6(1):12-27.
- Król, B. (2011) The effect of different nitrogen fertilization rates on yield and quality of marigold (*Calendula officinalis* L. "Tokaj") raw material. *Acta Agrobotanica*, 64(3):29-34.

- Kumar, V., Pandey, S.K., Singh, V.K., Verty, P., Samoon, S.A. Samoon (2015) Response of nitrogen and phosphorus levels on calendula (*Calendula officinalis* L.). *Research in Environment and Life Sciences*, 8(4):557-560.
- Larcher, W. (2000) *Ecofisiologia vegetal*. Rima. 531p.
- Lawlor, D.W. (2002) Carbon and nitrogen in relation to yield: mechanisms are the key to understanding production systems. *Journal of experimental botany*, 53(370):773-787.
- Lillo, C., Lea, U., Ruoff, P. (2008) Nutrient depletion as a key factor for manipulating gene expression and product formation in different branches of the flavonoid pathway. *Plant, Cell and Environment*, 31:587-601.
- Liu, W., Zhu, D., Liu, D., Zhou, W., Yang, T., Geng, M. (2011) Influence of potassium deficiency on flower yield and flavonoid metabolism in leaves of *Chrysanthemum morifolium* Ramat. *Journal of Plant Nutrition*, 34:1905-1918.
- Lorenzi, H., Matos, F.J.A. (2008) *Plantas medicinais do Brasil: nativas e exóticas cultivadas*. 2.ed. São Paulo: Instituto Plantarum.
- Lu, N., Takagaki, M., Yamori, W., Kagawa, N. (2018) Flavonoid productivity optimized for green and red forms of *Perilla frutescens* via environmental control technologies in plant factory. *Journal of Food Quality*, 2018:1-9.
- Maleki, A., Feizolah, A., Daneshian, J., Naseri, R., Rashnavadi, R. (2014) Effect of different sources of nitrogen and zinc sulfate on grain yield and its associated traits in marigold (*Calendula officinalis* L.). *International Journal of Biosciences*, 4(6):45-52.
- Mann, J. (2001) *Secondary Metabolism*. 2ed. United States- Oxford University Press. 374p.

- Margna, U., Margna, E., Vainjarv, T. (1989) Influence of nitrogen nutrition on the utilization of L-phenylalanine for building flavonoids in buckwheat seedling tissues. *Journal of Plant Physiology*, 134:697-702.
- Marschner, H. (1995) *Mineral Nutrition of Higher plants*. 2 ed. Londres: Academic Press.
- Meurer, E.J. (2006) Potássio. In *Nutrição Mineral de Plantas*, ed. M.S. Fernandes, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 281-298. Viçosa.
- Mierziak, J., Kostyn, K., Kulma, A. (2014) Flavonoids as important molecules of plant interactions with environment. *Molecules*, 19:16240-16265
- Morais, L.A.S. (2009) Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. *Horticultura Brasileira*, 24(2):4050-4063.
- Moreira, P.A., Marchetti, M.E., Vieira, M.C., Novelino, J.O., Gonçalves, M.C., Robaina, A. (2005) Desenvolvimento vegetativo e teor foliar de macronutrientes da calêndula (*Calendula officinalis* L.) adubada com nitrogênio e fósforo. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 8(1):18-23.
- Mota, P.R.D., Boas, L.R.V., Ludwig, F., Fernandes, D.M. (2016) Development and mineral nutrition of gerbera plants as a function of electrical conductivity. *Ornamental Horticulture*, 22(1):37-42.
- Nelofer, J., Andrabi, K.I., John, R. (2017) *Calendula officinalis* – An important medicinal plant with potential biological properties. *Proceedings of the Indian National Science Academy*, 83(4):769-787.
- Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V.P., Prasad, S.M. (2015) Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22:4056-4075.
- Peters, J.B. (2005) *Wisconsin Procedures for Soil Testing, Plant Analysis and*

Feed & Forage Analysis: Plant Analysis. Department of Soil Science, College of Agriculture and Life Sciences, University of Wisconsin-Extension, Madison, WI. <http://uwlab.soils.wisc.edu/files/procedures/plant_icp.pdf> Acesso em: 20/02/2014

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

Prazeres, A.R., Albuquerque, A., Luz, S., Jerónimo, E., Carvalho, F. (2017) Hydroponic system: A promising biotechnology for food production and wastewater treatment. In: Grumezescu, A.M., Holban, A.M. *Food Biosynthesis*, Volume 1. Academic Press, 463p.

Preethi, K.C., Kuttan, G., Kuttan, R. (2009) Anti-inflammatory activity of flower extract of *Calendula officinalis* Linn. And its possible mechanism of action. *Indian Journal of Experimental Biology*, 47:113-120.

Rahmani, N., Taherkhani, T., Zandi, P., Aghdam, A.M. (2012) Effect of regulated deficit irrigation and nitrogen levels on flavonoid content and extract performance of marigold (*Calendula officinalis* L.). *Annals of Biological Research*, 3(6):2624-2630.

Ramakrishna, A., Ravishankar, G.A. (2011) Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant Signaling & Behavior*, 6(11):1720-1731.

Rouphael, Y., Cardarelli, M., Lucini, L., Rea, E., Colla, G. (2012a) Nutrient solution concentration affects growth, mineral composition, phenolic acids and flavonoids in leaves of artichoke and cardoon. *HortScience*, 47(10):1424-1429.

Rouphael, Y., Cardarelli, M., Bassal, A., Leonardi, C., Giufridda, F., Colla, G. (2012b) Vegetable quality as affected by genetic, agronomic and environmental factors. *Journal of food agriculture and environment*, 10(3-4):680-688.

- Serra, A.P., Marchetti, M.E., Vieira, M.C., Robaina, A.D. Robaina, Veronesi, C.O., Nascimento, J.M., Matos, F., Conrad, V.A., Morais, H.S., Guimarães, F.C.N. (2013) Eficiência nutricional do nitrogênio e produção de biomassa em *Calendula officinalis* L. (Asteraceae) em condições de casa de vegetação. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 15(1):78-85.
- Silva, T.G.F., Zolnier, S., Grossi, J.S.S., Barbosa, J.G., Moura, C.R.W., Muniz, M.A. (2009) Crescimento do girassol ornamental cultivado em ambiente protegido sob diferentes níveis de condutividade elétrica de fertirrigação. *Revista Ceres*, 56(5):602-610.
- Sousa, S.R., Fernandes, M.S. (2006) Nitrogênio. In *Nutrição Mineral de Plantas*, ed. M.S. Fernandes, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 215-252. Viçosa.
- Sun, Y., Niu, G., Perez, C., Pemberton, H.B., Altland, J. (2018) Responses of marigold cultivars to saline water irrigation. *Hortechology*, 28(2):166-171.
- Szakiel, A., Ruszkowski, D., Grudniak, A., Kurek, A. Wolska, K, Doligalska, M., Janiszowska, W. (2008) Antibacterial and antiparasitic activity of oleanolic acid and its glycosides isolated from marigold (*Calendula officinalis*). *Plant Med*, 74:1709-1715.
- Taiz, L. , Zeiger, E. (2006) *Fisiologia Vegetal*, 3 ed. Artmed.
- Tavarini, S., Pagano, I., Guidi, L., Angelini, L.G. (2015) Impact of nitrogen supply on growth, steviol glycosides and photosynthesis in *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Plant Biosystems*, 150(5): 953-962.
- Ukiya, M., Akihisa, T., Yasukawa, K., Tokuda, H. Tokuda, Suzuki, T., Kimura, Y. (2006) Anti-inflammatory, anti-tumor promoting, and cytotoxic activities of constituents of marigold (*Calendula officinalis*) flowers. *Journal of Natural Products*, 69(12):1692-1696.

- Verma, P.K., Raina, R., Singh, M., Wazir, V.S., Kumar, P. Kumar (2017) Attenuating potential of *Calendula officinalis* on biochemical and antioxidant parameters in hepatotoxic rats. *Indian Journal of Physiology and Pharmacology*, 61(4):398-410.
- Verma, P.K., Raina, R., Sultana, M., Singh, M. (2016) Modulatory effect of *Calendula officinalis* on altered antioxidant status and renal parameters in diabetic rats. *Pharmaceutical and Biomedical Research*, 2(4):52-64.
- Yadegari, M. (2016) Phyto-chemical and morphological characters of *Calendula officinalis* as affected by micronutrients. *Journal of Ornamental Plants*, 6(4):271-278.
- Yoshimatsu, K. (2012) Innovative cultivation: Hydroponics of medicinal plants in the closed-type cultivation facilities. *Journal of Traditional Medicine*, 29:30-34.
- Zonta, E.P., Machado, A.A., Silveira Junior, P. (1984) Sistema de análises estatísticas para microcomputadores (SANEST). Pelotas: UFP, 151p.

3.1.2. ARTIGO 2: CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA SOLUÇÃO NUTRITIVA NO CRESCIMENTO E BIOPRODUÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS EM *Foeniculum vulgare* (Mill.)

RESUMO

A produção de óleos essenciais pode ser influenciada pelo manejo nutricional das plantas durante o cultivo. *Foeniculum vulgare* (Mill.) é uma erva aromática, vulgarmente conhecida como funcho e amplamente cultivada em todo o mundo. Possui em suas flores e folhas óleos essenciais com importância farmacêutica e que comprovadamente apresentam atividades antimicrobiana, antioxidante e anti-inflamatória. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi verificar o efeito do aumento da condutividade elétrica da solução nutritiva no crescimento, nos teores de nutrientes e na produção de óleos essenciais em *F. vulgare*. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com quatro tratamentos, constituídos por condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva (1,5; 2,5; 3,5 e 4,5 mS cm⁻¹) e cinco repetições. A unidade experimental foi composta por quatro vasos contendo uma planta cada. Foram utilizados vasos com capacidade de 20 L preenchidos com fibra de coco. Após 140 dias de cultivo, as plantas foram avaliadas quanto à altura, número de folhas, hastes e flores, massa fresca e seca de folhas, hastes, flores e bulbo, comprimento e largura do bulbo, teor de nutrientes minerais e óleos essenciais nas folhas e flores. O crescimento foi influenciado pelos

tratamentos, entretanto a produção de bulbos não foi afetada. A composição mineral de folhas e flores foi alterada pelo aumento da condutividade, assim como a produção de óleos essenciais nas flores. Dessa forma, pode-se concluir, pelas condições desse trabalho, que a melhor faixa de condutividade da solução nutritiva para o cultivo de *F. vulgare*, visando à produção de flores e óleos essenciais, é de 2,3 a 3,9 mS cm⁻¹.

Palavras-chave: nutrientes minerais, funcho, hidroponia com substrato

ABSTRACT

Foeniculum vulgare (Mill.) is an aromatic herb commonly known as fennel and worldwide widely cultivated. It flowers and leaves have essential oils with pharmaceutical importance which present antimicrobial, antioxidant and anti-inflammatory activities. Essential oils production can be influenced by abiotic factors during cultivation such as plants nutritional management. This work aimed to verify the effect of nutrient solution electrical conductivity increase on *F. vulgare* growth, nutrient contents and essential oils production. The experimental design was a randomized block design with 4 treatments, consisting of increasing nutrient solution electrical conductivity (1.5, 2.5, 3.5 and 4.5 mS cm⁻¹) and 5 replicates. The experimental unit was composed of 4 pots containing one plant each and filled with 20L of coconut fiber. Propagation was carried out using *F. vulgare* commercial seeds. Plants received Sonneveld and Straver (1994) nutrient solution daily. After 140 days, plants were harvested and evaluated for height, number of leaves, stems and flowers, fresh and dry matter of leaves, stems, flowers and bulbs, bulbs length and width, mineral nutrients contents and leaves and flowers essential oils production. Growth was influenced by treatments, while bulbs production was not affected. Leaves and flowers mineral composition and flowers essential oil production were altered by conductivity increase. Thus, we concluded from the conditions of this work that nutrient solution best conductivity range for *F. vulgare* cultivation is 2.3 to 3.9 mS cm⁻¹.

Keywords: mineral nutrients, fennel, hydroponic.

1. INTRODUÇÃO

Foeniculum vulgare, erva aromática e saborosa, rica em óleos e ácidos graxos essenciais é muito consumida e largamente utilizada na medicina tradicional (Barros et al., 2010; Majeed, 2017). Vulgarmente, é conhecida como funcho e é pertencente à família botânica Apiaceae. Embora seja originária do sul da Europa e região do Mediterrâneo, pode ser encontrada em muitos países (Rather et al., 2016).

Os óleos essenciais de *F. vulgare* podem ser obtidos a partir de suas sementes, flores, folhas e hastes e devido à sua agradável fragrância, são utilizados na indústria alimentícia, na fabricação de pães, queijos, pickles e bebidas e também empregados na produção de cosméticos e medicamentos (Radulovic e Blagojevic, 2010; Saxena et al., 2018). Em seus óleos essenciais inúmeras substâncias bioativas já foram evidenciadas, as quais apresentam atividades biológicas, comprovadas cientificamente, como efeito hepatoprotetivo (Ozbek et al., 2003), atividade antimicrobiana (Miguel et al., 2010; Foroughi et al., 2016; Keskin, et al., 2017; Akhbari et al., 2018), atividade antioxidante (Miguel et al., 2010; Zheljaskov et al., 2013; Caleja et al., 2015a), atividade anti-inflamatória (Choi e Hwang, 2004; Keskin et al., 2017) e inseticida (Rocha et al., 2015; Pavela et al., 2016; Al-Snali, 2018).

A produção de compostos de interesse pelas plantas, como os óleos essenciais, pode ser influenciada por diversos fatores durante o cultivo, dentre os quais pode-se citar: temperatura, luz, umidade e nutrientes minerais (Ramakrishna e Ravishankar, 2011; Singh et al., 2017). Alguns trabalhos já foram desenvolvidos demonstrando que a nutrição mineral pode afetar a produção de óleos essenciais em *F. vulgare*. Trabalhos como os de Bhardwaj (2016), Bhardwaj e Kumar (2016) e Ehsanipour et al. (2012) demonstram que a produção de óleos essenciais foi incrementada à medida que se aumentaram as doses de potássio e nitrogênio.

A procura por plantas medicinais pela indústria cresce a cada ano, todavia a produção não consegue atender a essa demanda. O mercado mundial dessas plantas movimentou em 2013 cerca de US\$ 6,2 bilhões (Tripathi et al., 2017). Dessa forma, o cultivo intensivo, em grande escala, com enfoque na qualidade do produto final, se constitui como uma alternativa a esse entrave (Lubbe e Verpoorte, 2011). Nesse âmbito, o cultivo hidropônico se mostra como uma possibilidade para a produção dessas plantas, uma vez que permite maior controle das condições de cultivo, principalmente da oferta de nutrientes minerais e água, além de garantir maior uniformidade e qualidade, permitindo maiores volumes de produção em um menor espaço, proporcionando ainda economia em mão de obra e insumos (Giurgiu et al., 2014; Treftz e Omaye, 2016).

No cultivo hidropônico, as necessidades em água e nutrientes minerais são supridas por meio de uma solução nutritiva, sendo sua concentração diretamente relacionada com a sua condutividade elétrica e disponibilidade de nutrientes (Zobayed et al., 2005). Soluções mais diluídas reduzem os custos de produção e podem ainda melhorar as características da cultura, como demonstrado por Álvaro et al. (2016). Esses autores observaram que no cultivo de *Petroselinum crispum* a solução de 2,2 mS cm⁻¹ proporcionou maior produção de óleos essenciais, enquanto no tratamento utilizando solução com 1,2 mS cm⁻¹ proporcionou as maiores massas da matéria fresca e seca de parte aérea e raízes. Frescura et al., (2018) demonstram que a condutividade elétrica da solução nutritiva no cultivo de *Rosmarinus officinalis* estimada em 3,4 mS cm⁻¹ proporcionou maior teor de óleos essenciais.

Diante do exposto, há necessidade de estudos que abordem a produção agrícola intensiva de plantas medicinais, visando não só o volume de produção, mas também sua qualidade, uma vez que poucos trabalhos abordam o manejo da solução nutritiva na produção e qualidade de plantas medicinais (Economakis, 2005; Zuanazzi e Mayorga, 2010). Dessa forma, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do aumento da condutividade elétrica da solução nutritiva no crescimento, composição mineral e produção de óleos essenciais em *F. vulgare*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do tipo “*raspa y amagado*” (Martínez et al., 2016), no Centro de Investigación em Biotecnología Alimentária, pertencente à Universidad de Almería, localizada na província de Almería – Espanha (36°49’36,8”Nm 2°24’19,3”E e 8m de altitude), no período de abril a setembro de 2017.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com quatro tratamentos e cinco repetições, a unidade experimental foi composta por quatro vasos contendo uma planta cada. Os tratamentos consistiram em condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva (1,5; 2,5; 3,5 e 4,5 mS cm⁻¹).

A propagação foi realizada por meio de sementes comerciais de *F. vulgare* (Mascarell®), semeadas em bandeja de poliestireno expandido (150 células), preenchida com fibra de coco (Pelemix®). Após o aparecimento do primeiro par de folhas iniciou-se a aplicação de solução nutritiva com 1,5 mS cm⁻¹ de condutividade elétrica.

Aos 40 dias após o semeio, as mudas foram transplantadas para vasos com 1 L de capacidade contendo fibra de coco, iniciando-se neste momento a aplicação dos tratamentos. A condutividade elétrica foi aumentada de forma gradativa, até que se alcançasse a condutividade de cada tratamento. Decorridos 30 dias, as plantas foram transplantadas para vasos com 20 L de capacidade também preenchidos com fibra de coco.

Diariamente, as plantas receberam solução nutritiva proposta por Sonneveld e Straver (1994) (Tabela 1), até que fosse obtido um volume de drenagem de 30% em relação à quantidade de solução aplicada¹. O pH da solução foi mantido em 5,8, utilizando ácido nítrico concentrado.

¹Nota: Como a água utilizada para o preparo das soluções nutritivas possuía condutividade elétrica de 1,0 mS cm⁻¹, adotou-se a drenagem de 30% do volume de solução aplicado, como forma de se evitar a salinidade excessiva do substrato.

Tabela 1. Composição da solução nutritiva proposta por Sonneveld e Straver (1994)

Macronutrientes (mM)							Micronutrientes (μM)					
K^+	NH_4^+	Ca^{2+}	Mg^2_+	NO_3^-	H_2PO_4^-	SO_4^{2-}	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
7	0,5	3,75	1,0	10,5	1,5	2,5	15	10	0,75	5	$\frac{3}{0}$	0,5

A coleta e avaliação das plantas foi realizada 140 dias após o semeio (DAS), estas foram avaliadas quanto à altura, número de folhas, hastes e flores e massas frescas de folhas, hastes, flores e bulbos. Com o auxílio de um paquímetro foram feitas as medições do comprimento e largura do bulbo. Em seguida, o material foi submetido à secagem em estufa de circulação forçada por 72 horas à 45°C e então foram obtidas as massas secas de folhas, hastes, flores e bulbos.

Posteriormente, foi realizada a quantificação dos nutrientes nas folhas e flores. Para a determinação dos teores de N, as amostras foram submetidas à digestão sulfúrica, na qual o nitrogênio foi determinado pelo método de Nessler (Jackson, 1965). Os outros nutrientes P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Zn, Mn, Cu, Mo e Ni foram quantificados por ICP-OES, após digestão com HNO_3 concentrado e H_2O_2 em sistema de digestão aberta. As condições do ICP foram: gás plasma 8,0 L min^{-1} , gás auxiliar 0,70 L min^{-1} e gás carreador 0,55 L min^{-1} (Peters, 2005).

A extração dos óleos essenciais de flores e folhas foi realizada a partir de 20 g de amostra, previamente seca, sendo esta submetida à hidrodestilação, de acordo com metodologia descrita por Álvaro et al. (2016). Para a análise estatística, os dados foram submetidos à análise de variância, a 5% de probabilidade pelo teste F, e à análise de regressão, ambas utilizando-se o Sistema de Análise Estatística (SANEST) desenvolvido pelo CIAGRI/USP (Zonta et al., 1984).

3. RESULTADOS

Pela análise de regressão, constatou-se comportamento quadrático dos níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva sobre a altura de plantas de *F. vulgare*, onde a maior altura (201,04 cm) foi observada na condutividade estimada de 2,71 mS cm⁻¹ (Figura 1A). As variáveis número de folhas, número de hastes e número de flores, também apresentaram comportamento quadrático em decorrência do aumento da concentração de nutrientes na solução, sendo os maiores valores observados, respectivamente, nas condutividades estimadas de 2,6; 2,8 e 2,9 mS cm⁻¹ (Figuras 1B, 1C e 1D). De forma semelhante, as massas frescas de folhas e de hastes foram aumentadas até as condutividades estimadas de 2,3 e 2,7 mS cm⁻¹ (Figuras 1E e 1F).

O efeito da condutividade elétrica da solução nutritiva sobre a massa fresca de flores de *F. vulgare* foi de natureza quadrática, sendo que o resultado negativo do aumento da concentração da solução foi observado a partir da condutividade estimada de 2,6 mS cm⁻¹ (Figura 2A). As massas da matéria seca de folhas, hastes e flores foram alteradas de forma significativa com o aumento da condutividade da solução, apresentando ajuste quadrático. Desta forma, os maiores valores obtidos para essas variáveis foram respectivamente 25,0 g; 23,4 g e 11,8 g por planta, verificados nas condutividades 2,6; 2,8 e 2,8 mS cm⁻¹ (Figuras 2B, 2C e 2D). Os tratamentos não influenciaram de forma significativa a massa fresca, a massa seca, o diâmetro e a largura de bulbos (Tabela 2).

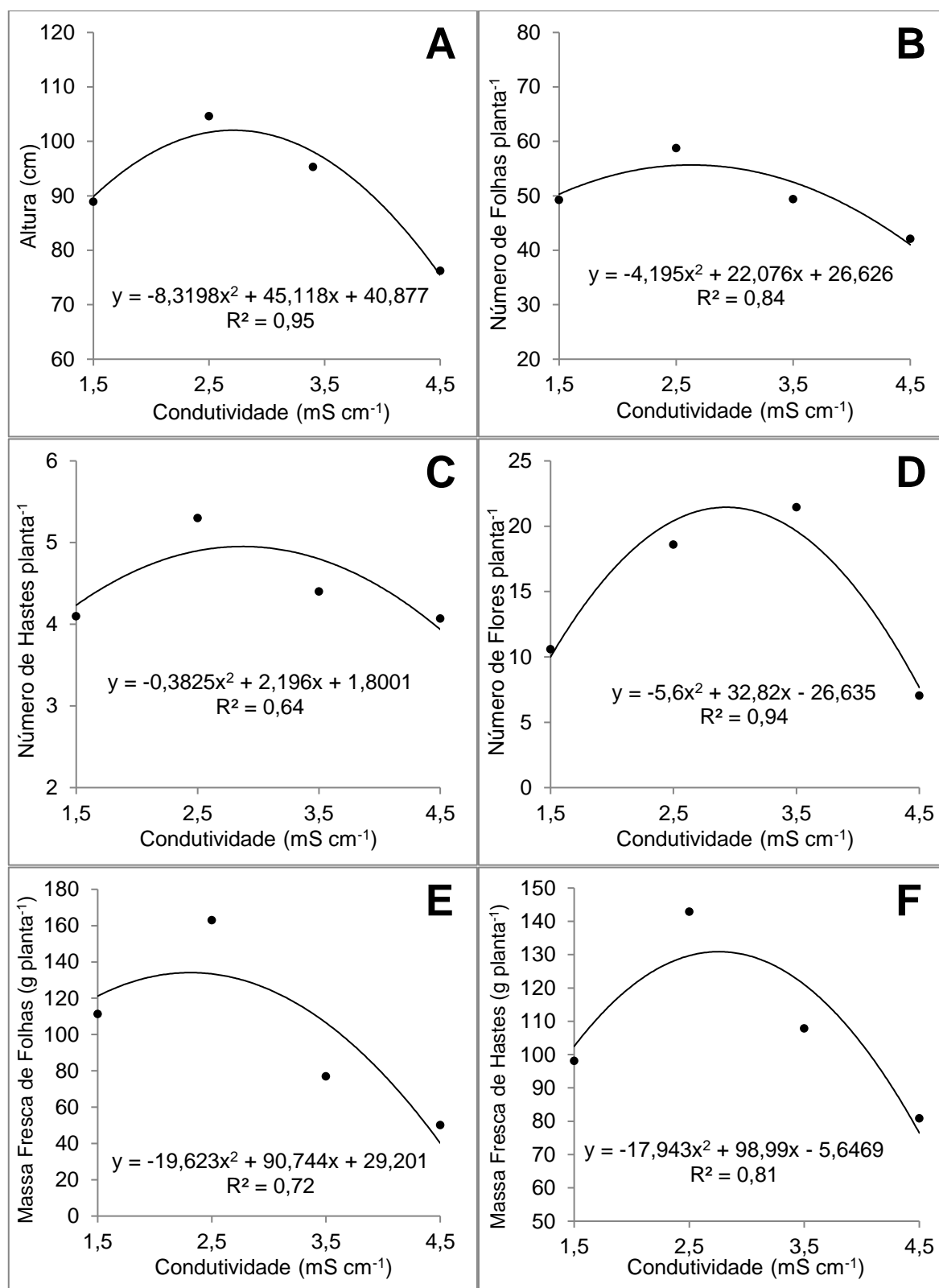


Figura 1. Altura (A), número de folhas (B), número de hastes (C), número de flores (D), massa fresca de folhas (E) e massa fresca de hastes (F) de *F. vulgare* cultivado em condutividade elétrica crescente da solução nutritiva.

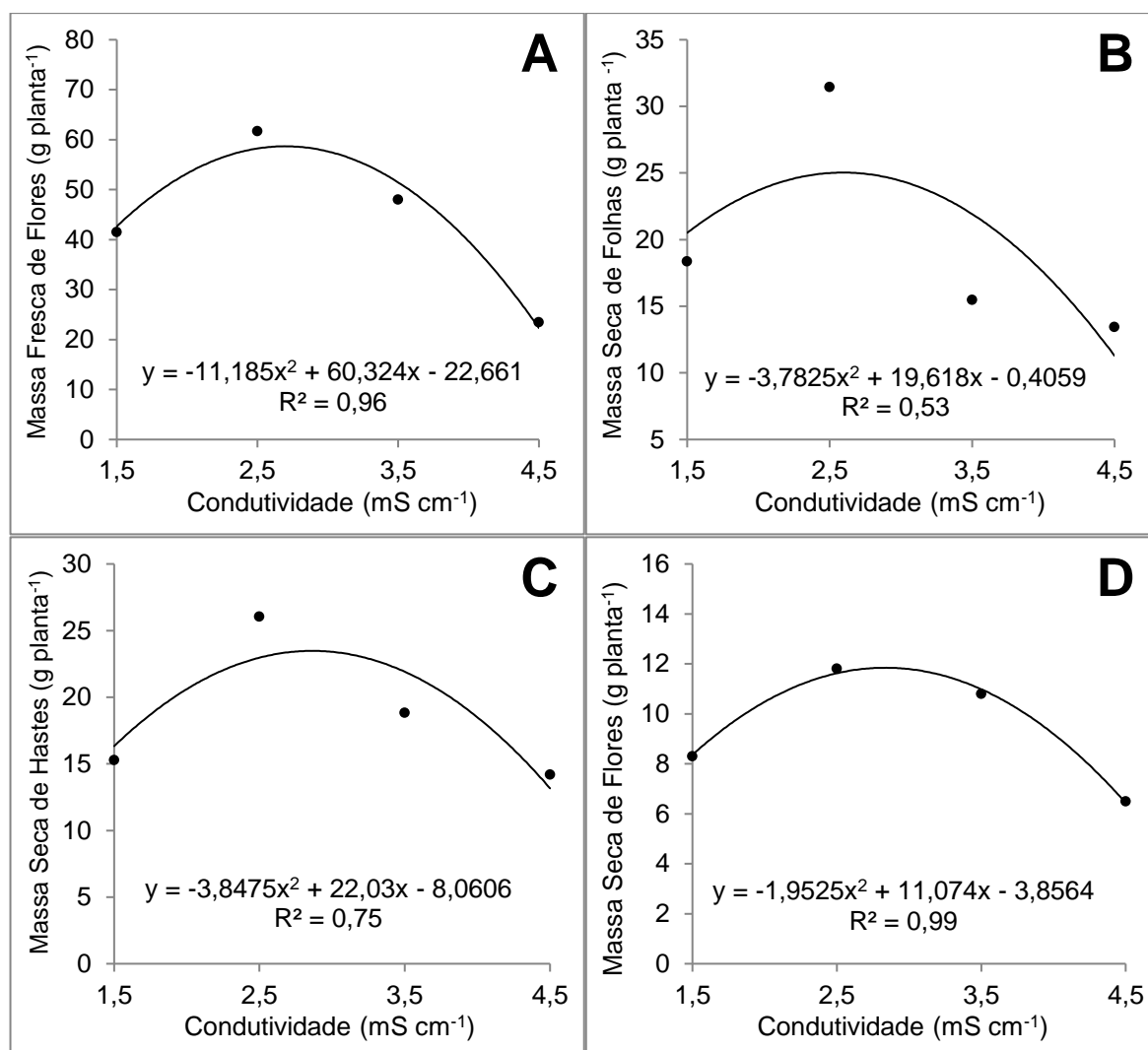


Figura 2. Massa fresca de flores (A), massa seca de folhas (B), massa seca de hastes (C) e massa seca de flores (D) de *F. vulgare* cultivado em condutividade elétrica crescente da solução nutritiva.

Tabela 2. Probabilidade (Prob.), Média e coeficiente de variação (C.V.), massa seca, fresca, comprimento e largura do bulbo de *F. vulgare* cultivado em condutividade elétrica crescente da solução nutritiva

Fator	Massa Fresca de Bulbo (g)	Massa Seca de Bulbo (g)	Comprimento de Bulbo (cm)	Largura de Bulbo (cm)
Prob.	0,16	0,20	0,09	0,11
Média	27,13	4,55	5,65	2,34
C.V. (%)	36,3	31,9	19,2	18,3

A elevação da condutividade elétrica da solução nutritiva proporcionou aumento linear na absorção de nitrogênio pelas plantas. O teor de N nas folhas foi 42 % superior nas plantas cultivadas na condutividade 4,5 mS cm⁻¹, em comparação com as cultivadas na condutividade 1,5 mS cm⁻¹ (Figura 3A).

Os teores de fósforo e cálcio nas folhas de *F. vulgare* apresentaram comportamento quadrático para as condutividades testadas, sendo que os maiores teores desses nutrientes (19,8 e 15,3 g kg⁻¹) foram observados, respectivamente, nas condutividades estimadas de 3,29 e 2,21 mS cm⁻¹ (Figuras 3B e 3C). O teor de magnésio apresentou ajuste linear, sendo que à medida que a concentração da solução foi aumentada os teores desse nutriente nas folhas foram reduzidos em 47 % (Figura 3D).

Foi verificado efeito linear significativo dos tratamentos para os teores dos micronutrientes boro e molibdênio nas folhas. Os teores de B aumentaram em 46,8 % e os teores de Mo reduziram em 66,1% com o aumento da condutividade da solução de 1,5 para 4,5 mS cm⁻¹ (Figuras 3E e 3F).

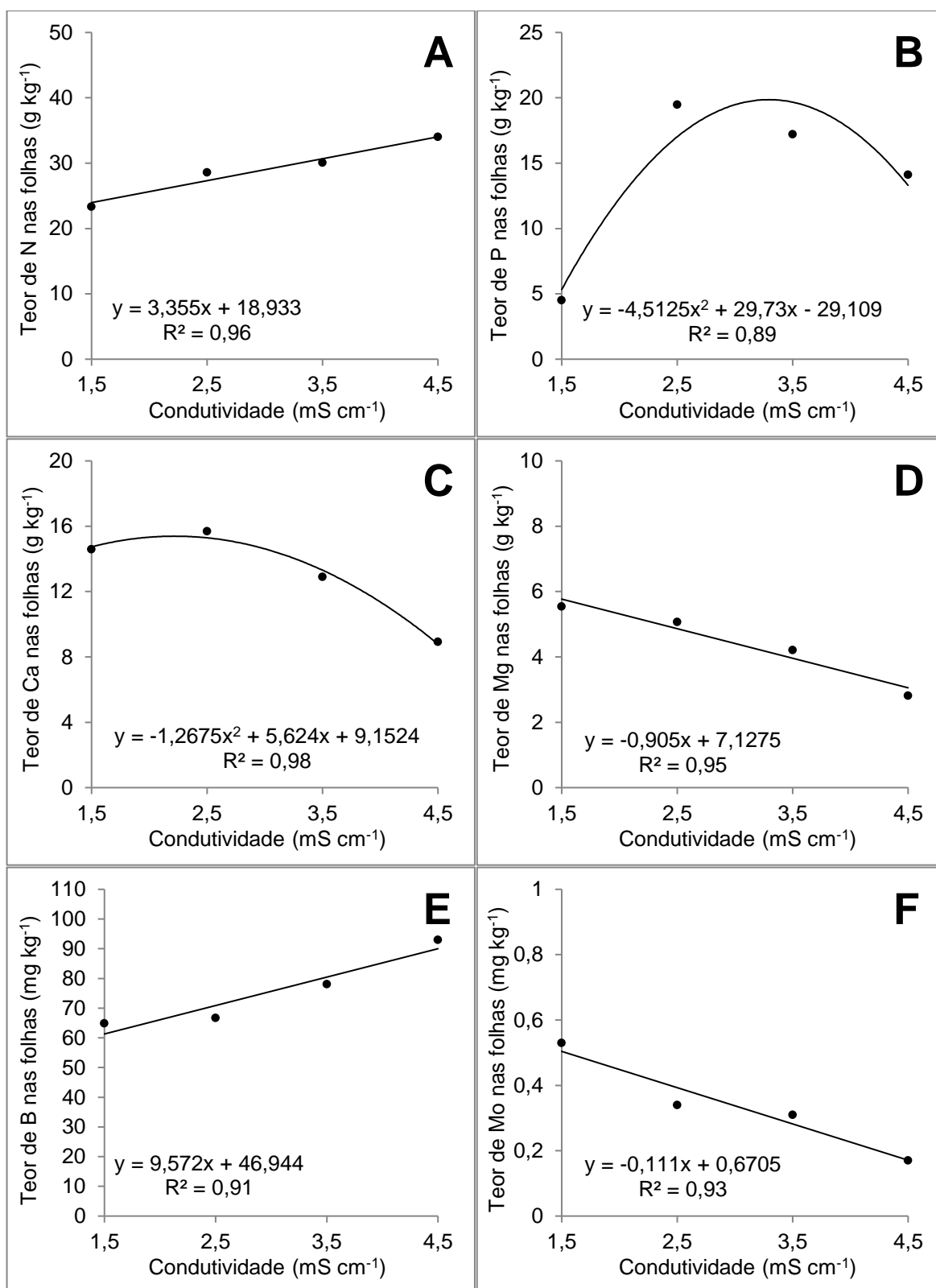


Figura 3. Teores de nitrogênio (A), fósforo (B), cálcio (C), magnésio (D), boro (E) e molibdênio (F) em folhas de *F. vulgare* cultivado em condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva.

Quanto aos demais nutrientes minerais, não foi observada diferença estatística significativa entre os tratamentos para os teores de potássio, enxofre, ferro, manganês, níquel, cobre e zinco nas folhas (Tabela 3). O teor e o conteúdo de óleos essenciais nas folhas também não foram influenciados significativamente pelos tratamentos, sendo obtido um teor médio de óleo de $10,5 \text{ g kg}^{-1}$ e um conteúdo médio de $0,16 \text{ g planta}^{-1}$ (Tabela 3).

Tabela 3. Probabilidade (Prob.), Média e coeficiente de variação (C.V.) dos teores potássio, enxofre, manganês, níquel, zinco, cobre, ferro e teor e conteúdo de óleos essenciais em folhas de *F. vulgare* cultivado em condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva.

Fator	K	S	Mn	Ni	Zn	Cu	Fe	Óleos essenciais	
	----(g kg ⁻¹)----		----- (mg kg ⁻¹)-----						g kg ⁻¹
Prob.	0,10	0,40	0,23	0,27	0,34	0,05	0,06	0,50	0,05
Média	67,32	4,69	66,65	0,62	44,4	3,95	106,7	10,5	0,16
CV(%)	9,02	24,5	21,9	12,9	14,0	27,0	51,8	17,1	33,0

Nas flores, os teores de nitrogênio e fósforo apresentaram resposta quadrática para a elevação da concentração de sais na solução nutritiva. O maior valor de N observado foi $38,48 \text{ g kg}^{-1}$, na condutividade estimada de $3,5 \text{ mS cm}^{-1}$ e o maior valor de P foi $9,75 \text{ g kg}^{-1}$, na condutividade estimada de $3,1 \text{ mS cm}^{-1}$ (Figuras 4A e 4B). Com o aumento da condutividade elétrica da solução nutritiva no cultivo de *F. vulgare*, foi observado incremento nos teores de cálcio e enxofre nas flores até as condutividades estimadas de $2,7$ e $3,3 \text{ mS cm}^{-1}$ (Figuras 4C e 4E). O acréscimo de nutrientes à solução nutritiva no cultivo de *F. vulgare* proporcionou redução linear no teor de magnésio nas flores, sendo que a concentração deste nutriente na condutividade $4,5 \text{ mS cm}^{-1}$ foi $43,6 \%$ inferior à obtida na condutividade $1,5 \text{ mS cm}^{-1}$ (Figura 4D). Não foi observada diferença estatística para o teor de potássio (Tabela 4).

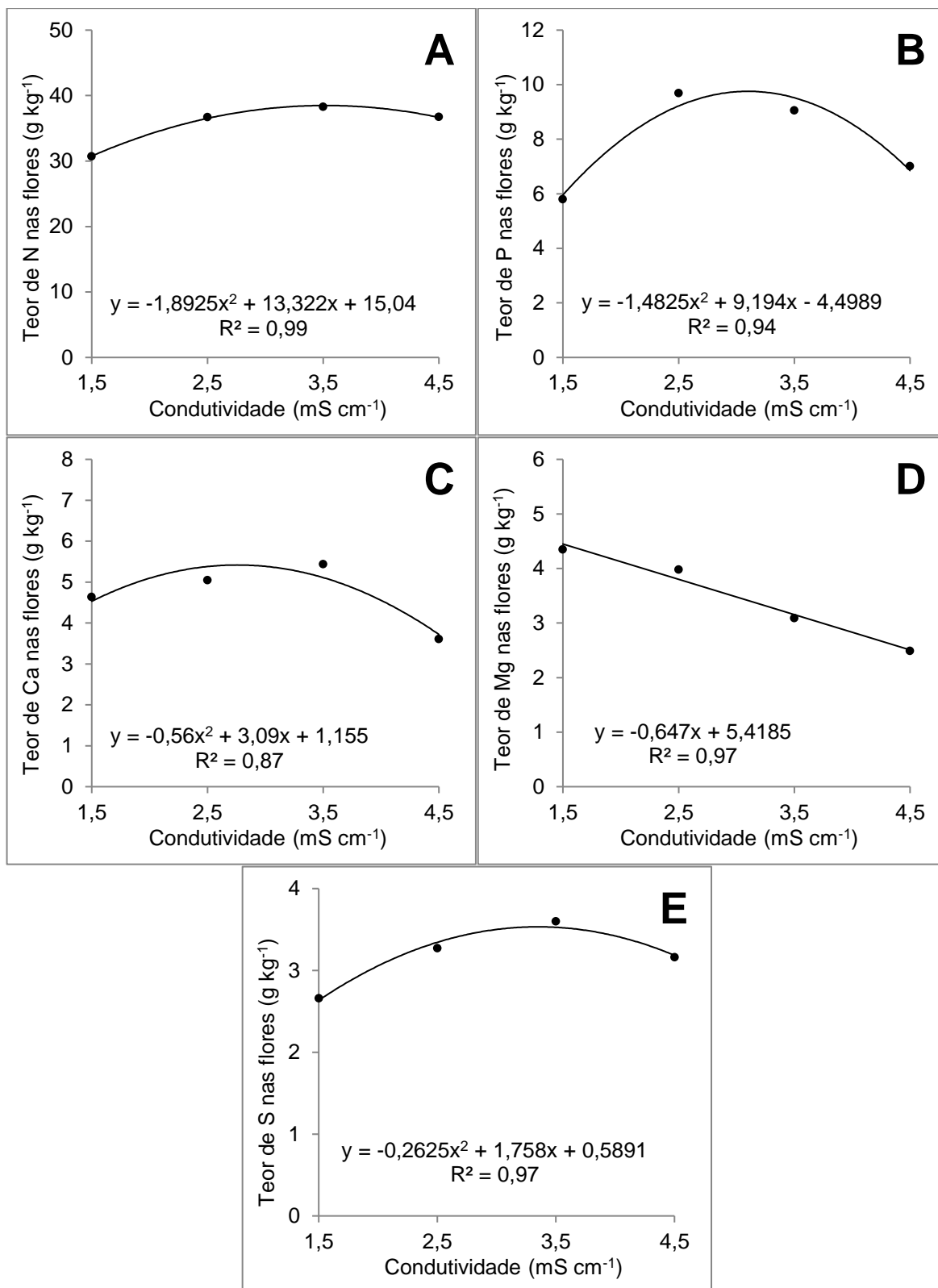


Figura 4. Teores de nitrogênio (A), fósforo (B), cálcio (C), magnésio (D) e enxofre em flores de *F. vulgare* cultivado em condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva.

Tabela 4. Probabilidade (Prob.), Média e coeficiente de variação (C.V.) dos teores de potássio, níquel e zinco em flores de *F. vulgare* cultivado em condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva

Fator	K (g kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
Prob.	0,09	0,02	0,62
Média	48,3	0,59	48,3
CV(%)	8,54	24,6	16,3

Em relação aos teores de micronutrientes nas flores de *F. vulgare*, as concentrações de boro e cobre apresentaram, respectivamente incremento linear de 69,5 % e 72 %, com o aumento da condutividade da solução de 1,5 para 4,5 mS cm⁻¹ (Figuras 5A e 5B). Os teores de ferro e manganês apresentaram comportamento quadrático significativo com o aumento da concentração de nutrientes na solução, sendo os maiores teores observados respectivamente, 81,3 e 62,8 mg kg⁻¹ nas condutividades estimadas de 3,2 e 3,5 mS cm⁻¹ (Figuras 5C e 5D).

O teor de molibdênio nas flores foi reduzido de forma linear em decorrência dos tratamentos, sendo o valor verificado na condutividade 4,5 mS cm⁻¹ 61 % inferior ao obtido na condutividade 1,5 mS cm⁻¹ (Figura 5E). Não foi observada diferença estatística entre os tratamentos para os teores de níquel e zinco nas flores (Tabela 4). Quanto à produção de óleos essenciais nas flores de *F. vulgare*, as variáveis teor e conteúdo de óleos apresentaram resposta quadrática para o aumento da condutividade. O maior teor de óleo, 12,0 g kg⁻¹ foi verificado na condutividade estimada de 3,9 mS cm⁻¹, e o maior conteúdo, 0,21 g planta⁻¹, foi obtido na condutividade 2,8 mS cm⁻¹ (Figuras 6A e 6B).

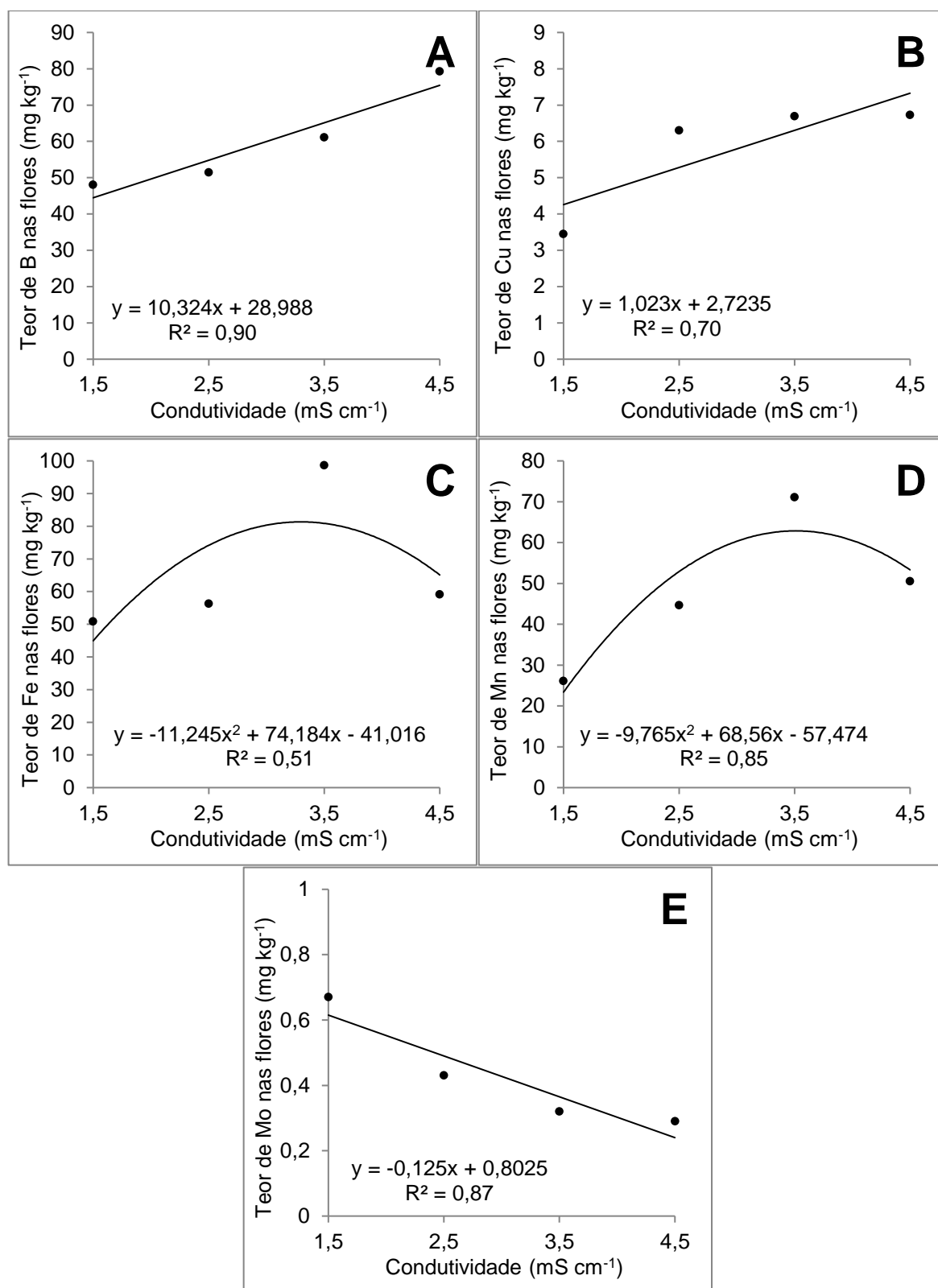


Figura 5. Teores de boro (A), cobre (B), ferro (C), manganês (D) e molibdênio em flores de *F. vulgare* cultivado em condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva.

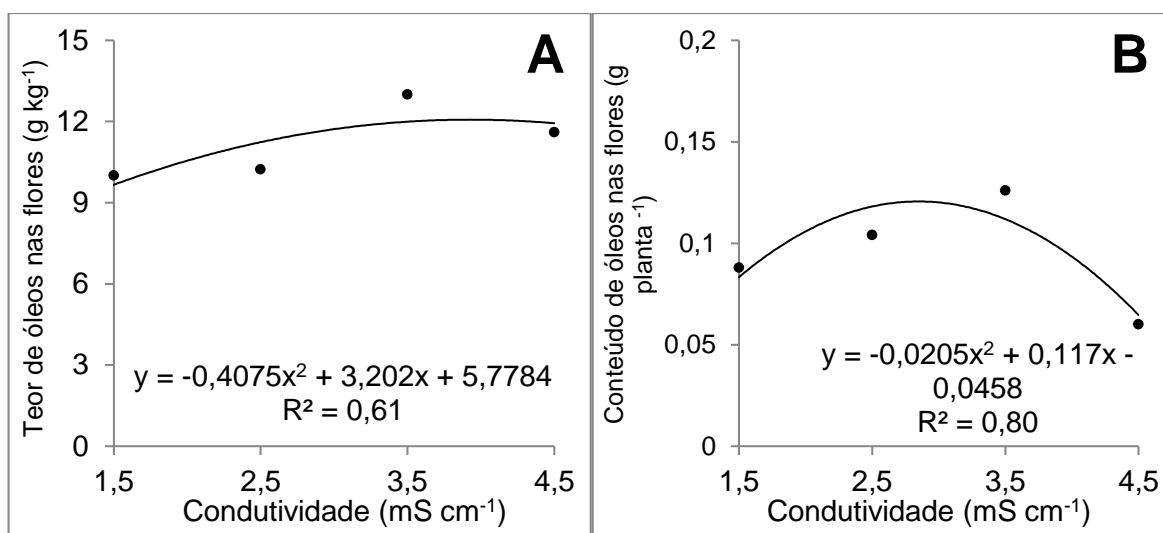


Figura 6. Teor (A) e conteúdo (B) de óleos essenciais em flores de *F. vulgare* cultivado em condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva.

4. DISCUSSÃO

A quantidade de nutrientes presentes na solução nutritiva pode afetar diretamente o crescimento das plantas (Tretz e Omaye, 2016; Barol et al., 2018). No presente trabalho, o incremento da altura e do número de folhas, hastes e flores de *F. vulgare* pode estar relacionado com a maior absorção de nutrientes por essas plantas, causada pelo aumento da concentração da solução nutritiva (Figuras 1A, 1B, 1C e 1D). Por outro lado, a redução dessas variáveis a partir de determinada condutividade elétrica da solução pode ter ocorrido devido ao estresse salino, como já observado por Tabatabaie e Nazari (2007) e Álvaro et al. (2016).

O estresse salino, provocado pelo excesso de sais próximo ao sistema radicular, pode prejudicar o crescimento dos vegetais, seja pela redução da absorção de água, decorrente da redução do potencial osmótico próximo às raízes, ou pela redução da transpiração, causando diminuição da taxa fotossintética. Nesse sentido, a redução da fotossíntese pode ser ocasionada tanto pelo fechamento estomático, como por danos diretos ao aparato fotossintético, causado pelo excesso de sais (Parihar et al., 2015; Acosta-Motos et al., 2017).

Morano et al. (2017) testando o efeito de condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva (2,2; 2,5; 2,8 e 3,1 mS cm⁻¹), no cultivo de *Ocimum basilicum*, observaram que a condutividade de 2,8 mS cm⁻¹ proporcionou o maior número de folhas e massa da matéria seca de plantas. O aumento da concentração da solução no cultivo de *Capsicum annum* foi responsável por reduzir a altura de plantas e o número de folhas, sendo que para esta espécie a condutividade recomendada foi 1,7 mS cm⁻¹ (Furtado et al., 2017).

As massas da matéria fresca e seca de folhas, hastes e flores de *F. vulgare* também foram influenciadas pelas condutividades testadas, sendo aumentadas pelo acréscimo de nutrientes à solução e, em seguida reduzidas (Figuras 1E, 1F, 2A, 2B, 2C e 2D). O mesmo foi verificado no cultivo de *Mentha piperita* e *Lippia citriodora*, visto que nestes, condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva (0,7; 1,4; 2,7; 5,6 mS cm⁻¹) provocaram um aumento nas massas da matéria fresca e seca e no número de folhas até a condutividade de 1,4 m .cm⁻¹ (Tabatabaie e Nazari, 2007). Na produção de *Petroselinum crispum* em sistema hidropônico, os maiores valores de massas da matéria fresca e seca de parte aérea foram observados nas plantas crescidas em solução nutritiva mais diluída, com 1,2 mS cm⁻¹, em comparação com as demais condutividades testadas (2,2 e 3,2 mS cm⁻¹) (Álvaro et al., 2016).

A composição mineral de *F. vulgare* foi alterada pelos tratamentos, sendo que nas folhas e flores foi observado maior acúmulo de nitrogênio, ocasionado pelo aumento da condutividade da solução (Figuras 3A e 4A). Este nutriente é requerido em grandes quantidades e seu suprimento está diretamente relacionado com o crescimento das plantas, uma vez que no metabolismo vegetal, além estar presente na molécula de clorofila, o N faz parte de enzimas que atuam no processo fotossintético e, dessa forma, pode-se pressupor que a capacidade fotossintética está vinculada ao seu teor (Pilbean, 2011; Lea e Mifflin, 2011).

A resposta das culturas à aplicação de N é relatada em diversos trabalhos, por exemplo, nos cultivos de *Mentha piperita* (Souza et al., 2007), *Ocimum basilicum* (Kiferle et al., 2013) e *Lavandula angustifolia* (Chrysargyris et al., 2016), sempre com o aumento da concentração de nitrogênio na solução nutritiva proporcionando maior crescimento dessas plantas.

Os teores de fósforo e cálcio nas folhas e nas flores de *F. vulgare* foram aumentados, respectivamente, até as condutividades estimadas de 3,2; 2,2; 3,1

e $2,7 \text{ mS cm}^{-1}$, em seguida foram reduzidos (Figuras 3B, 4B, 3C e 4C). Nas plantas, o fósforo é encontrado no DNA, RNA e em fosfolípidos das membranas, atua nas células como sinalizador e transportador de substratos e como transdutor de energia química, na forma de ATP (adenosina trifosfato), de modo que, seu adequado suprimento estimula o crescimento vegetal (Marschner, 1995; Baker et al., 2015). Como demonstrado em *Lavandula angustifolia*, a maior dose de P estudada (70 mg L^{-1}), foi responsável por conferir maior altura, comprimento de folha e massa fresca às plantas (Chrysargyris et al., 2016).

O cálcio é imprescindível para o adequado crescimento e desenvolvimento das plantas, uma vez que, participa da divisão celular e síntese de novas paredes, atua na estabilidade de membranas celulares e regulação de enzimas, além de ser um importante sinalizador em resposta a estímulos ambientais (Dodd et al., 2010). Nesse aspecto, a elevação das doses de cálcio nos cultivos de *Chrysanthemum coronarium* e *Artemisia dracunculus* proporcionou aumento no crescimento dessas plantas (Supanjani et al., 2005; Heidari et al., 2014).

A redução no teor de magnésio e molibdênio nas folhas e flores de *F. vulgare* (Figuras 3D, 3F, 4D e 5E), decorrente do aumento da concentração de nutrientes na solução nutritiva, pode ser explicada pela competição entre íons pelos sítios de absorção nas raízes. O aumento na quantidade de íons próximo às raízes reduz o potencial osmótico e ainda afeta a disponibilidade, a absorção e o transporte de nutrientes para as plantas (Dias et al., 2016). Nesse sentido, em resposta ao acréscimo de nitrogênio na solução nutritiva, no cultivo de *Mentha piperita*, a absorção de magnésio foi reduzida (David et al., 2014). Da mesma forma, os teores de molibdênio na parte aérea de *Salvia officinalis* foram reduzidos, como resultado do aumento da condutividade elétrica da solução (Kang e Iersel, 2004).

O teor de enxofre nas flores de *F. vulgare* foi aumentado até a condutividade estimada de $3,5 \text{ mS cm}^{-1}$ (Figura 4E). A aplicação de enxofre durante o cultivo pode estimular o crescimento vegetal (Rao et al., 2015), visto que esse nutriente é componente de aminoácidos como cisteína e metionina, proteínas, cofatores e grupos prostéticos, atuando ainda juntamente com o fósforo na formação do ATP (Kopriva, 2015).

O efeito observado no crescimento de *F. vulgare* no presente trabalho pode, ainda, estar relacionado ao aumento linear nos teores de boro e cobre (Figuras 3E, 5A e 5B). Alguns autores já atribuíram a importância desses nutrientes

no crescimento e desenvolvimento de plantas às suas funções biológicas já comprovadas (Viegas et al., 2004; Dixit et al., 2009; Zhu et al., 2012). No metabolismo vegetal, o boro atua principalmente na síntese de novas paredes celulares e na integridade de membranas, porém também está envolvido na translocação de açúcares e atividade hormonal (Shireen et al., 2018). Por sua vez, o cobre é constituinte de enzimas como a fenol-oxidase e da plastocianina, importante proteína presente no fotossistema II, que atua na transferência de elétrons na fase fotoquímica da fotossíntese (Dechen e Nachtigall, 2006).

Nas plantas, o ferro é componente de proteínas e enzimas, desempenha importante papel em inúmeros processos biológicos como a fotossíntese, síntese de clorofila, respiração, fixação do nitrogênio, síntese e DNA, entre outros (Rout e Sahoo, 2015). Por outro lado, o manganês no metabolismo vegetal, atua como ativador enzimático, participa da síntese de clorofila e do fotossistema II, realizando a fotólise da água (Dechen e Nachtigall, 2006; Schmidt et al., 2016). O aumento dos teores desses nutrientes nas flores de *F. vulgare*, devido ao incremento da força iônica da solução, pode estar relacionado ao maior crescimento das plantas, como já relatado por Yeritsyan e Economakis (2002) e Nazari et al. (2018).

O aumento observado na produção de óleos essenciais nas flores de *F. vulgare* pode estar relacionado com a maior absorção de nutrientes por essas plantas (Figuras 6A e 6B). Os óleos essenciais de *F. vulgare* são ricos em fenilpropanoides, substâncias biosintetizadas à partir da via do ácido chiquímico (He e Huang, 2011; Al-Snafi, 2018). O efeito específico dos nutrientes minerais sobre as rotas de formação dessas substâncias pode ser explicado a partir das rotas primárias do metabolismo do carbono (Rock, 2017).

Os fenilpropanoides têm como precursores o fosfoenolpiruvato (PEP) e a d-eritrose-4-fosfato, que são intermediários da glicólise e da via da pentose fosfato, respectivamente (Ibrahim, 2001). Neste caso, maiores suprimentos de nitrogênio e fósforo podem incrementar a produção dessas substâncias, uma vez que esses nutrientes estão presentes nessas rotas de biosíntese, por exemplo, na forma de NADPH e ATP (Khan et al., 1999; Rock, 2017).

Ehsanipour et al. (2012) observaram que o aumento das doses de nitrogênio no cultivo de *F. vulgare* foi responsável por uma maior produção de óleos essenciais. Por outro lado, a produção desses compostos em *Coriandrum sativum* foi incrementada pelo aumento das doses de fósforo (Hani et al., 2015). O efeito do

aumento das doses de nutrientes minerais sobre a produção de óleos essenciais já foi evidenciado para inúmeras culturas. Pode-se citar, por exemplo, o efeito do cálcio na produção de óleos em *Artemisia dracunculus* (Heidari et al., 2014), cálcio e magnésio em *Origanum vulgare* (Dordas, 2008), boro e magnésio em *Corymbia citriodora* (Fávaro et al., 2011) e de manganês em *Mentha aquatica* (Nazari et al., 2018), entre outros.

5. CONCLUSÃO

O aumento da condutividade elétrica da solução nutritiva no cultivo de *F. vulgare* reduz o crescimento, a composição mineral e a produção de óleos essenciais. A faixa de condutividade indicada para o cultivo dessa espécie visando à produção de flores e óleos essenciais, é 2,3 a 3,9 mS cm⁻¹.

REFERÊNCIAS

- Acosta-Motos, J.R., Ortuno, M.F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M.J., Hernandez, J.A. (2017) Plant response to salt stress: adaptative mechanisms. *Agronomy*, 7(1):1-38.
- Akhbari, M., Kord, R., Nodooshan, S.J., Hamedi, S. (2018) Analisis and evaluation of the antimicrobial and anticancer activities of the essential oil isolated from *Foeniculum vulgare* from Hamedan, Iran. *Natural Product Research*, 7:1-4.
- Al-Snafi, A.E. (2018) The chemical constituents and pharmacological effects of *Foeniculum vulgare* – A review *Journal of Pharmacy*, 8(5):81-96.
- Alvaro, J.E., Lao, M.T., Urrestarazu, M., Baghour, M., Abdelmajid, A. (2016) Effect of nutrient solution salinity and ionic concentration on parsley (*Petroselinum*

crispum Mill.) essential oil yield and content. *Journal of Plant Nutrition*, 39(8):1057-1062.

Baker, A., Ceasar, S.A., Palmer, A.J., Paterson, J.B., Qi, W., Muench, S.P., Baldwin, S.A. (2015) Replace, reuse, recycle: improving the sustainable use of phosphorus by plants. *Journal of Experimental Botany*, 66(12):3523-3540.

Bhardwaj, R.L. (2016) Response of transplanted fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) to potassium fertilization. *Journal of Spices and Aromatic Crops*, 25(2):149-158.

Bhardwaj, R.L., Kumar, D. (2016) Effect of varying levels of nitrogen on growth, yield, quality and profitability of transplanted fennel (*Foeniculum vulgare* Mill). *Journal of Spices and Aromatic Crops*, 25(2):141-148.

Barros, L., Carvalho, A.M., Ferreira, I.C.F.R. (2010) The nutritional composition of fennel (*Foeniculum vulgare*): Shoots, leaves, stems and inflorescences. *Food Science and Technology*, 43:814-818.

Caleja, C., Barros, L., Antonio, A.L., Ciric, A., Sokovic, M., Oliveira, B.P.P., Santos-Buelga, C., Ferreira, I.C.F.R. (2015a) *Foeniculum vulgare* Mill. As natural conservation enhancer and health promotes by incorporation in cottage cheese. *Journal of Functional Foods*, 2:428-438.

Choi, E.M., Hwang, J.K. Antiinflammatory, analgesic and antioxidant activities of the fruit of *Foeniculum vulgare*. *Fitoterapia*, v.75, p.557-565. 2004.

Chrysargyris, A., Christakis, P., Tzorlakis, 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.

Dechen, A.R. and G.R. Nachtigall. 2006. Micronutrientes. In *Nutrição Mineral de Plantas*, ed. M.S. Fernandes, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 327-354. Viçosa.

- Dias, N.S., Blanco, F.F., Souza, E.R., Ferreira, J.F.S., Sousa Neto, O.N., Queiroz, I.S.R. (2016) Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: Gheyi, H.R., Dias, N.S., Lacerda, C.F., Gomes Filho, E. (Ed.). *Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados*. INCTSal. Fortaleza. 151-162.
- Dixit, D., Srivastava, N.K., Sharma, S. (2009) Boron deficiency induced changes in translocation of $^{14}\text{CO}_2$ photosynthate into primary metabolites in relation to essential oil and curcumin accumulation in turmeric (*Curcuma longa* L.). *Photosynthetica*, 40(1):109-113.
- Dodd, A.N., Kudla, J., Sanders, D. (2010) The language of calcium signalling. *Annual Review of Plant Biology*, 61:593-620.
- Economakis, C. (2005) Effect of solution conductivity on the volatile constituents of *Origanum dictamnus* L. in nutrient film technique. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.53, n.5, p.1656-1660.
- Ehsanipour, A., Razmjoo, J., Zeinali, H (2012) Effect of nitrogen rates on yield and quality of fennel *Foeniculum vulgare* Mill.) accessions. *Industrial Crops and Products*, 35:121-125.
- Foroughi, A., Pournagui, P., Zhaleh, M., Zangeneh, A., Zangeneh, M.M., Moradi, R. (2016) Antibacterial activity and phytochemical screening of essential oil of *Foeniculum vulgare*, *International Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 8(11):1505-1509.
- Frescura, V.D., Boligon, A.A., Barbosa, F.M., Souza, J.M., Lerner, M.A., Laughinghouse, H.D., Silva, C.B., Andriolo, J.L., Lopes, S.J., Tedesco, S.B. (2018). Nutrient solution concentration and collection time in phytomass production, content, yield and chemical composition of essential oil of rosemary. *Journal of Plant Nutrition*, 41(10):1293-1302.

- Furtado, G.F., Cavalcante, A.R., Chaves, L.H.G., Santos Júnior, J.A., Gheyi, H.R. (2017) Growth and production of hydroponic pepper under salt stress and plant density. *American Journal of Plant Sciences*, 8:2255-2267.
- Giurgiu, R.M., Morar, G.A., Dumitras, A., Boanca, P., Duda, B.M., Moldovan, C. (2014) Study regarding the suitability of cultivating medicinal plants in hydroponic systems in controlled environment. *Research Journal of Agricultural Science*, 46(2):84-92.
- Hani, M.M., Hussein, S.A.H.A., Mursy, M.H., Ngezimana, W., Mudau, F.N. (2015) Yield and essential oil response in Coriander to water stress and phosphorus fertilizer application. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 18(1):82-92.
- Heidari, S., Soltani, F., Azizi, M., Hadian, J. (2014) Foliar application of Ca and K improves growth, yield, essential oil yield and nutrient uptake of tarragon (*Artemisia draculuns* L.) grown in Iran. *International Journal of Biosciences*, 4(12):323-338.
- He, W., Huang, B. (2011) A review of chemistry and bioactivities of a medicinal spice: *Foeniculum vulgare*. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(16):3595-3600.
- Ibrahim, R.K. (2001) Phenylpropanoid metabolism. In: Encyclopedia of life sciences. 10p.
- Jackson, M. L. (1965) Soil chemical analysis. New Jersey: Prentice Hall.
- Keskin, I., Gunal, Y., Ayla, S., Kolbasi, B., Sakul, A., Kilic, U., Gok, O., Koroglu, K., Ozbek, H. (2017) Effects of *Foeniculum vulgare* essential oil compounds, fenchone and limonene, on experimental wound healing. *Biotechnic and Histochemistry*, 92(4):272-282.

- Khan, M.M., Azam, Z.M., Samiullah (1999) Changes in the essential oil constituents of fennel (*Foeniculum vulgare*) as influenced by soil and foliar levels of N and P. *Canadian Journal of Plant Science*, 79(4):587-591.
- Kiferle, C., Maggini, R., Pardossi, A. (2013) Influence of nitrogen nutrition on growth and accumulation of rosmarinic acid in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) grown in hydroponic culture. *Australian Journal of Crop Science*, 7(3):321-327.
- Kopriva, S. (2015) Plant sulfur nutrition: From Sachs to big data. *Plant Signaling and Behavior*, 9(10):1559-2324.
- Lea, P.J., Mifflin, B.J. (2011) Nitrogen assimilation and its relevance to crop improvement. *Annual Plant Review*, 42:1-40.
- Lubbe, A., Verpoorte, R. (2011) Cultivation of medicinal and aromatic plants for specialty industrial materials. *Industrial Crops and Products*, 34:785-801.
- Majeed, M. (2017) Evidence-based medicinal plant products for the health care of world population. *Annals of Phytomedicine* 6(1):1-4.
- Marschner, H. (1995) *Mineral Nutrition of Higher plants*. 2 ed. Londres: Academic Press, 889p.
- Martínez, D.L.V., Ureña, L.J.B., Aiz, F.D.M., Martínez, A.L. (2016) *Greenhouse agriculture in Almería. A comprehensive techno-economic analysis*. Espanha:Cajamar, 408p.
- Miguel, M.G., Cruz, C., Faleiro, E., Simões, M.T.F., Figueiredo, A.C., Barroso, J.G., Pedro, L.G. (2010) *Foeniculum vulgare* essential oils: chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities. *Natural Products Communications*, 5(2):319-328.
- Morano, G., Amalfitano, C., Sellito, M., Cuciniello, A., Maiello, R., Caruso, G. (2017) Effects of nutritive solution electrical conductivity and plant density n growth,

yield and quality of sweet basil grown in gullies by subirrigation. *Advances in Horticultural Sciences*, 31(1):25-30.

Ozbek, H., Ugras, S., Dulger, H., Bayram, I., Tuncer, I., Ozturk, G., Ozturk, A. (2003) Hepatoprotective effect of *Foeniculum vulgare* essential oil. *Fitoterapia*, 74:317-319.

Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V.P., Prasad, S.M. (2015) Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22:4056-4075.

Pavela, R., Zakba, M., Bednar, J., Triska, J., Vrchotová, N. (2016) New knowledge for yield, composition and insecticidal activity of essential oils obtained from aerial parts or seeds of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Industrial Crops and Products*, 83:275-282.

Peters, J.B. Wisconsin *Procedures for Soil Testing, Plant Analysis and Feed & Forage Analysis: Plant Analysis*. Department of Soil Science, College of Agriculture and Life Sciences, University of Wisconsin-Extension, Madison, WI.<https://uwlabs.soils.wisc.edu/wpcontent/uploads/sites/17/2015/09/plant_icp.pdf> Acesso em 24/08/2016.

Pilbeam, D.J. (2011) The utilization of nitrogen by plants: A whole plant perspective. *Annual Plant Reviews*, 42:305-351.

Radulovic, N.S., Blagojevic, P.D. (2010) A note on the volatile secondary metabolites of *Foeniculum vulgare* Mill. (Apiaceae). *Facta Universitatis*, 8(1):25-37.

Ramakrishna, A., Ravishankar, G.A. (2011) Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant Signaling & Behavior*, 6(11):1720-1731.

- Rao, B.R.R., Rajaput, D.K., Patel, R.P. (2015) Improving yield and quality of palmarosa [*Cymbopogon martini* (Roxb.) Wats. Var. Motia Burk.] with sulfur fertilization. *Journal of Plant Nutrition*, 38(3):386-396.
- Rather, M.A., Dar, B.A., Sofi, S.N., Bhat, B.A., Qurishi, M.A. (2016) *Foeniculum vulgare*: A comprehensive review of its traditional use, phytochemistry, pharmacology and safety. *Arabian Journal of Chemistry*, 9(2):1574-1583
- Rocha, D.K., Matos, O., Novo, M.T., Figueiredo, A.C., Delgado, M., Moiteiro, C. (2015) Larvicidal activity against *Aedes aegypti* of *Foeniculum vulgare* essential oils from Portugal and Cape Verde. *Natural Product Communications*, 10(4):677-682.
- Rock, C.D. (2017) *Phenylpropanoid metabolism*. In: Encyclopedia of life sciences, John Wiley & Sons Ltd, Chichester. 18p.
- Rout, G.R., Sahoo, S. (2015) Role of iron in plant growth and metabolism. *Reviews in Agricultural Science*, 3:1-4.
- Saxena, S.N., Agarwal, D., John, S., Dubey, P.N., Lal, G. (2018) Analysis of fennel (*Foeniculum vulgare*) essential oil extracted from green leaves, seeds and dry straw. *International Journal of Seed Spices*, 8(1):60-64.
- Schmidt, S.B., Jensen, P.E., Husted, S. (2016) Manganese deficiency in plants: The impact on photosystem II. *Trends in Plant Science*, 21(7):622-632.
- Shireen, F., Nawaz, M.A., Chen, C., Zhang, Q., Zheng, Z., Sohail, H., Sun, J., Cao, H., Huang, Y., Bie, Z. (2018) Boron: Functions and approaches to enhance its availability in plants for sustainable agriculture. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(7):1-20.
- Singh, M., Ali, A.A., Qureshi, M.I. (2017) Unraveling the impact of essential mineral nutrients on active constituents of selected medicinal and aromatic plants. In:

- Naeem, M., Ansari, A., Gill, S. (Eds) *Essential plant nutrients*. Springer, Cham. p.183-209.
- Sonneveld, C., Straver, N. (1994) *Nutrient Solutions for Vegetables and Flowers Grown in Water or Substrates*, 10. ed. Netherlands:Voedingsoplossingen Glastuinbouw. 39 pp.
- Souza, M.A.A., Araujo, O.J.L., Ferreira, M.A., Stark, E.M.L.M., Fernandes, M.S., Sousa, S.R. (2007) Produção de biomassa e óleo essencial de hortelã em hidroponia em função de nitrogênio e fósforo. *Horticultura Brasileira*, 25:41-48.
- Supanjani, A.R.M.T., Yang, M.S., Han, H., Lee, K.D. (2005) Calcium effects on yield, mineral uptake and terpene components of hydroponic *Chrysanthemum coronarium* L. *Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 1(2):146-151.
- Tabatabaie, S.J., Nazari, J. (2007) Influence of nutrient concentrations and NaCl salinity on the growth, photosynthesis and essential oil content of peppermint and lemon verbena. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31:245-353.
- Treftz, C., Omaye, S.T. (2016) Hydroponics: potential for food augmenting sustainable food production in non-arable regions. *Nutrition and Food Science*, 46(5):672-684.
- Tripathi, H., Suresh, R., Kumar, S., Khan, F. (2017) International trade in medicinal and aromatic plants: A case study of past 18 years. *Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences*, 39(1):1-17.
- Viegas, I.J.M., Thomaz, M.A.A., Silva, J.F., Conceição, H.E.O., Naiff, A.P.M. (2004) Efeito da omissão de macronutrientes e boro no crescimento, nos sintomas de deficiências nutricionais e na composição mineral de plantas de camucamuzeiro. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26(2):315-319.

- Zheljazkov, V.D., Horgan, T., Astatkie, T., Schlegel, V. (2013) Distillation time modifies essential oil yield, composition and antioxidant capacity of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill). *Journal of Oleo Science*, 62(9):665-672.
- Zhu, Q., Zhang, M., Ma, Q. (2012) Copper-based foliar fertilizer and controlled release urea improved soil chemical properties, plant growth and yield of tomato. *Scientia Horticulturae*, 143:109-114.
- Zobayed, S.M.A., Afreen, F., Kozai, T. (2005) Necessity and production of medicinal plants under controlled environments. *Environmental Control Biology*, 43(4):243-252.
- Zonta, E.P., Machado, A.A., Silveira Junior, P. (1984) *Sistema de análises estatísticas para microcomputadores (SANEST)*. Pelotas: UFP.
- Zuanazzi, J.A.S., Mayorga, P. (2010) Fitoprodutos e desenvolvimento econômico. *Química Nova*, 33(60):1421-1428.

3.1.3. ARTIGO 3: CRESCIMENTO E BIOPRODUÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS EM *Matricaria recutita* L. CULTIVADA EM DIFERENTES CONDUTIVIDADES ELÉTRICAS DA SOLUÇÃO NUTRITIVA

RESUMO

O adequado manejo da solução nutritiva no cultivo hidropônico de plantas medicinais permite obter materiais mais uniformes, com maior qualidade e menor custo. *Matricaria recutita* se caracteriza como uma das ervas mais comumente utilizadas para fins medicinais no mundo. Nesse sentido, esse trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da condutividade elétrica da solução nutritiva no crescimento, na composição mineral e na produção de óleos essenciais nas flores de *M. recutita*. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, as plantas foram cultivadas em vasos de 6 L, preenchidos com areia lavada. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso com seis tratamentos representados pela condutividade elétrica da solução nutritiva (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0 mS cm⁻¹) e cinco repetições, com uma planta por vaso. A solução nutritiva utilizada foi a proposta por Hoagland e Arnon. A coleta das plantas foi feita aos 267 DAS, sendo avaliadas quanto à altura, diâmetro do caule e massas fresca e seca de folhas e hastes e massa seca de raízes. Os nutrientes minerais foram quantificados nas folhas e flores e os teores de polifenóis e óleos essenciais foram quantificados nas flores. As massas fresca e seca de flores foram maiores na condutividade estimada

de 1,5 mS cm⁻¹. Os teores de P, K, S, B, Cu, Mn e Ni nas folhas e P, B, Cu, Mo e Mn nas flores foram alterados pelo aumento da condutividade da solução. O teor e o conteúdo de óleos essenciais foram incrementados até as condutividades estimadas de 1,9 e 1,5 mS cm⁻¹, respectivamente. No cultivo de *M recutita* visando a produção de óleos essenciais e flores, recomenda-se que a condutividade elétrica da solução seja mantida entre 1,5 e 1,9 mS cm⁻¹

Palavras-chave: camomila, hidroponia, nutrientes minerais.

ABSTRACT

In hydroponic culture adequate nutrient solution management in medicinal plants production allows to obtain more uniform materials with higher quality and lower cost. *Matricaria recutita* is one of the most commonly herbs used for medicinal purposes in world. We aimed to investigate the effect of nutrient solution electrical conductivity on growth, mineral composition and essential oils production in *M. recutita* flowers. The experiment was conducted in a greenhouse. Plants were grown in 6L pots filled with washed sand. The experimental design was a randomized block design with six treatments represented by the electrical conductivity (0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 and 3.0 mS cm⁻¹) and 5 replicates, with 1 plant.pot⁻¹. The nutrient solution used was proposed by Hoagland and Arnon. Propagation was carried out using commercial seeds sown in washed sand. Treatments started 31 days after sowing (DAS). The flowering began at 150 DAS in this moment started collecting flowers. Flowers collected were evaluated for their diameter, number, fresh matter and dry matter. Plants were harvested at 267 DAS and were evaluated for height, stem diameter and fresh and dry matter of leaves and stems and dry matter of roots. Mineral nutrients were quantified in leaves and flowers and polyphenols and essential oils contents were quantified only in flowers. Plant growth was affected by the increase in electrical conductivity of the nutrient solution. Flowers fresh matter and flowers dry matter showed a quadratic response, where the highest values were observed in the estimated conductivity of 1.5 mS cm⁻¹

¹. Leaves of P, K, S, B, Cu, Mn and Ni contents and flowers of P, B, Cu, Mo and Mn contents were altered by nutrient solution conductivity increase. Essential oils content and yield were increased by estimated conductivities of 1.9 and 1.5 mS cm⁻¹. We concluded that higher production of *M. recutita* is obtained in conductivity range of 1.2 to 1.9 mS cm⁻¹.

Keywords: chamomile, hydroponic, mineral nutrients.

1. INTRODUÇÃO

Matricaria recutita, planta pertencente à família botânica Asteraceae, é nativa da Europa e do Norte da Ásia, entretanto pode ser encontrada em diversos locais do mundo (Singh et al., 2011; Zadeh et al., 2014). No Brasil, é vulgarmente conhecida com camomila e está incluída na farmacopeia de 26 países, sendo seu uso como planta medicinal uma prática muito antiga e difundida (Srivastava et al., 2010; Miraj e Alesaeidi, 2016). O chá preparado a partir de suas flores é muito apreciado e utilizado como um calmante natural (Zadeh et al., 2014).

Suas flores são ricas em óleos essenciais com ampla utilização na indústria de alimentos, cosméticos e farmacêutica, sendo utilizados na confecção de sabões, detergentes, perfumes, loções, pomadas, produtos de cabelo, produtos de panificação, confeitos, bebidas alcoólicas e medicamentos (Gupta et al., 2010; Chauhan e Jaya, 2017).

Os óleos essenciais de *M. recutita* possuem inúmeras substâncias com atividades biológicas já evidenciadas em diversos trabalhos, como atividades anti-inflamatória (Lins et al., 2013), antibacteriana (Albuquerque et al., 2010; Hartman e Onofre, 2010; Kazemi, 2015; Göger et al., 2018), neuroprotetiva (Rampariya et al., 2011), antioxidante (Coelho et al., 2012; Caleja et al., 2015b; Al-Dabbagh et al., 2019), anticancerígena (Srivastava e Gupta, 2007), cicatrizante (Nayak et al., 2007), antifúngica (Jamalian et al., 2012), entre outras.

A produção de óleos essenciais pode ser influenciada por inúmeros fatores durante o cultivo, como disponibilidade hídrica, luminosidade, temperatura e

nutrição mineral. Os nutrientes minerais, por sua vez, desempenham funções essenciais no metabolismo vegetal e estão presentes nas rotas de biosíntese dessas substâncias (Boroomand e Grouh, 2012; Singh et al., 2017). Alguns trabalhos demonstram o efeito dos nutrientes na produção de óleos em plantas medicinais (Dordas, 2009; El-Gendy, 2015; Chrysargyris et al., 2016).

O correto manejo dos nutrientes essenciais as plantas é um fator importante não só para a produção de compostos de interesse, mas também para o crescimento do vegetal. Nesse sentido, o cultivo hidropônico permite o controle preciso do fornecimento de nutrientes para as plantas, por meio do controle da condutividade elétrica da solução nutritiva (Baron et al., 2013; Giurgiu et al., 2014). Estudos com condutividade elétrica da solução nutritiva desmonstram incrementos na produção de óleos essenciais em *Petroselinum crispum* (Álvaro et al., 2016) e *Rosmarinus officinalis* (Frescura et al., 2018). Além de proporciona maior economia de espaço e mão-de-obra, maior controle das condições de cultivo, redução da incidência de pragas e doenças, além de garantir um produto mais uniforme e em maior quantidade (Giurgiu et al., 2014; Kumari et al., 2018).

Alguns trabalhos já foram realizados visando compreender a importância dos nutrientes minerais no crescimento e produção de óleos essenciais em *M. recutita* (Morais et al., 2006; Karami et al., 2008; Jeshni et al., 2017). Entretanto, informações agronômicas referentes à produção hidropônica dessa cultura ainda são escassas. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo verificar o efeito da condutividade elétrica da solução nutritiva no crescimento, composição mineral e produção de óleos essenciais em *M. recutita*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação com cobertura de filme de polietileno de baixa densidade (100 μm) e tela de sombreamento com 50% de transmissividade, durante os meses de março a dezembro de 2018, na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), em Campos dos Goytacazes – Brasil (Latitude = 21°19 '23" Sul, Longitude = 41°10'40" Oeste;

Altitude = 14 m). Os valores de temperatura mínimo e máximo registrados para esse período foram, respectivamente, 14 e 46°C, e os valores para umidade relativa foram 39 e 97% (HOBO® pro v2 datalogger).

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com seis tratamentos constituídos por condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0 mS cm⁻¹) e cinco repetições. A unidade experimental foi composta por um vaso de 6 L, contendo uma planta.

A propagação foi realizada utilizando sementes comerciais de *M. recutita* (Isla®) germinadas em espuma fenólica. Inicialmente, as plantas receberam solução nutritiva com 0,5 mS cm⁻¹ de condutividade. Aos 31 dias após o semeio (DAS) foi realizado o transplântio para recipientes plásticos, com capacidade de 50 cm³, preenchidos com areia lavada. Nesse momento, iniciou-se a aplicação dos tratamentos e a condutividade foi aumentada de forma gradual. A solução nutritiva utilizada foi a proposta por Hoagland e Arnon (1950) (Tabela 1) e esta foi aplicada diariamente às plantas. O transplântio para os vasos de 6 L, contendo areia como substrato, foi feito aos 80 DAS.

A coleta das flores foi iniciada aos 150 DAS, sendo estas avaliadas quanto ao seu número, diâmetro médio e massa fresca. Posteriormente as flores foram armazenadas em sacos de papel e submetidas à secagem em estufa de circulação de ar forçado por 72 horas à 45°C e, então, foi obtida sua massa seca. A coleta das flores foi realizada durante 117 dias, à medida que estas se apresentavam totalmente abertas.

A coleta final foi realizada aos 267 DAS, sendo as plantas inteiras coletadas e avaliadas quanto à altura, diâmetro médio do caule e massas frescas de folhas e hastes. Após secagem à 70 °C, por 72 horas em estufa de ventilação forçada, foram obtidas as massas secas de folhas, hastes e raízes.

Tabela 1. Composição da solução nutritiva proposta por Hoagland e Arnon, (1950)

Solução estoque	mL.L ⁻¹ Solução
Ca (NO ₃) ₂ 4H ₂ O (2 mol L ⁻¹)	2,0
KNO ₃ (2 mol L ⁻¹)	3,0
NH ₄ H ₂ PO ₄ (1 mol L ⁻¹)	1,0
MgSO ₄ (1 mol L ⁻¹)	2,0
FeEDTA (25 g L ⁻¹)	1,0
MICRO*	1,0
H ₃ BO ₃ (25 mM)	1,0
(NH ₄) ₂ SO ₄ (1 mol L ⁻¹)	0,5

*Micro: CuSO₄ 5H₂O = 250 mg L⁻¹, KCl = 3728 mg L⁻¹, MnSO₄ H₂O = 845 mg L⁻¹, ZnSO₄ 7H₂O = 578 mg L⁻¹, (NH₄)₆Mo₇O₂₄ 4H₂O = 88 mg L⁻¹.

O material vegetal foi moído em moinho de facas do tipo Willey e foi acondicionado em frascos hermeticamente fechados. Para a determinação dos teores de N, as amostras foram submetidas à digestão sulfúrica, na qual o nitrogênio foi determinado pelo método de Nessler (Jackson, 1965). Os outros nutrientes P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Zn, Mn, Cu, Mo e Ni foram quantificados por ICP-OES, após digestão com HNO₃ concentrado e H₂O₂ em sistema de digestão aberta. As condições do ICP foram: gás plasma 8,0 L min⁻¹, gás auxiliar 0,70 L min⁻¹ e gás carreador 0,55 L min⁻¹ (Peters, 2005). Para quantificação dos polifenóis totais, as amostras de flores foram submetidas à extração com metanol 50% durante 1 hora em banho aquecido à 80 °C. Após filtragem, foi acrescentado aos extratos o reagente Folin-Dennis. Utilizou-se ácido tânico para a curva padrão (Anderson e Ingram, 1993).

A extração dos óleos essenciais foi realizada à partir de 4 g de flores secas, por meio de hidrodestilação em aparelho do tipo Clevenger. O tempo de extração foi de 120 minutos, contados a partir do início do acúmulo do óleo no tubo coletor. Após o término da extração, foram adicionados 10 mL de diclorometano à fase oleosa (óleos essenciais), formada na porção superior do tubo coletor, sendo o material recolhido em um funil de decantação onde foi possível a separação dos

óleos e da água. Em seguida o extrato foi deixado por 48 h em capela para a volatilização do reagente e então foi obtida a massa do óleo.

Os dados foram submetidos à análise de variância, a 5% de probabilidade pelo teste F, e à análise de regressão, para ambas utilizando-se o Sistema de Análise Estatística (SANEST) desenvolvido pelo CIAGRI/USP (Zonta et al., 1984).

3. RESULTADOS

O aumento da condutividade elétrica da solução nutritiva no cultivo de *M. recutita* não influenciou de forma significativa o diâmetro médio do caule, a altura de plantas e a massa fresca de folhas (Tabela 2).

Tabela 2. Probabilidade (Prob.), Média e coeficiente de variação (C.V.) do diâmetro médio do caule, altura e massa fresca de folhas em *M. recutita* cultivada em condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva

Fator	Diâmetro médio do caule (mm)	Altura (cm)	Massa fresca de folhas (g)
Prob.	0,02	0,07	0,09
Média	5,18	36,26	58,78
CV(%)	16,8	26,5	50,92

O diâmetro médio e o número de flores apresentaram uma resposta quadrática às concentrações de nutrientes na solução (Figuras 1A e 1B). Os tratamentos proporcionaram efeito quadrático para a massa fresca e massa seca de flores, sendo seus maiores valores 72,71 g e 14,09 g obtidos na condutividade estimada de 1,5 mS cm⁻¹ (Figura 1C e 1D).

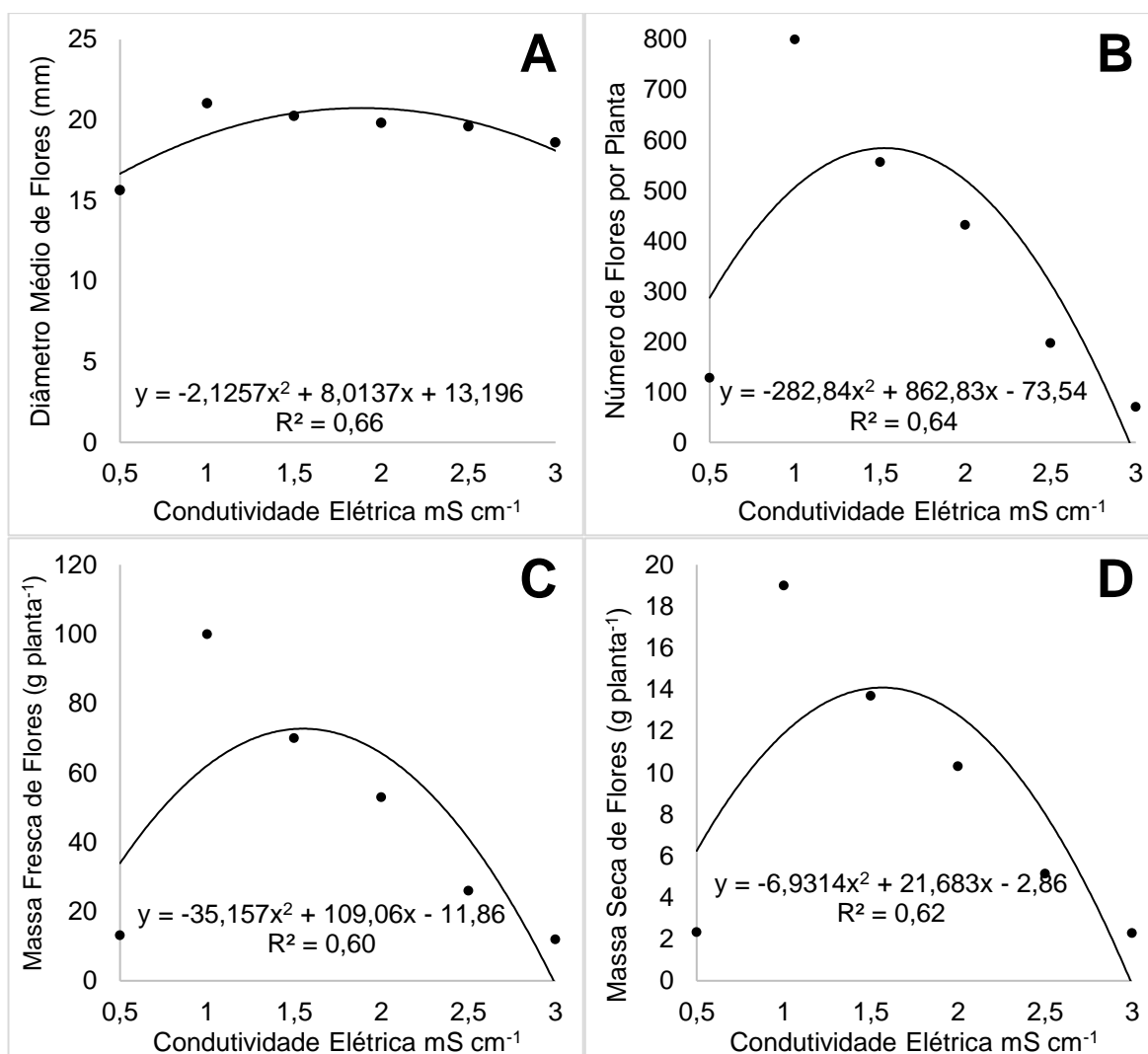


Figura 1. Diâmetro médio (A), número (B), massa fresca (C) e massa seca (D) de flores de *M. recutita* cultivada em condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva.

O efeito do aumento da condutividade elétrica sobre a massa seca de folhas foi de natureza quadrática, sendo aumentada até a condutividade estimada de 1,2 mS cm⁻¹ e em seguida reduzida (Figura 2A). As massas fresca e seca de hastes também apresentaram um comportamento quadrático, sendo seus pontos de máxima observados nas condutividades 1,5 mS cm⁻¹ e 1,6 mS cm⁻¹ (Figuras 2B e 2C). O aumento da concentração da solução nutritiva reduziu de forma linear a massa seca de raízes de *M. recutita* (Figura 2D).

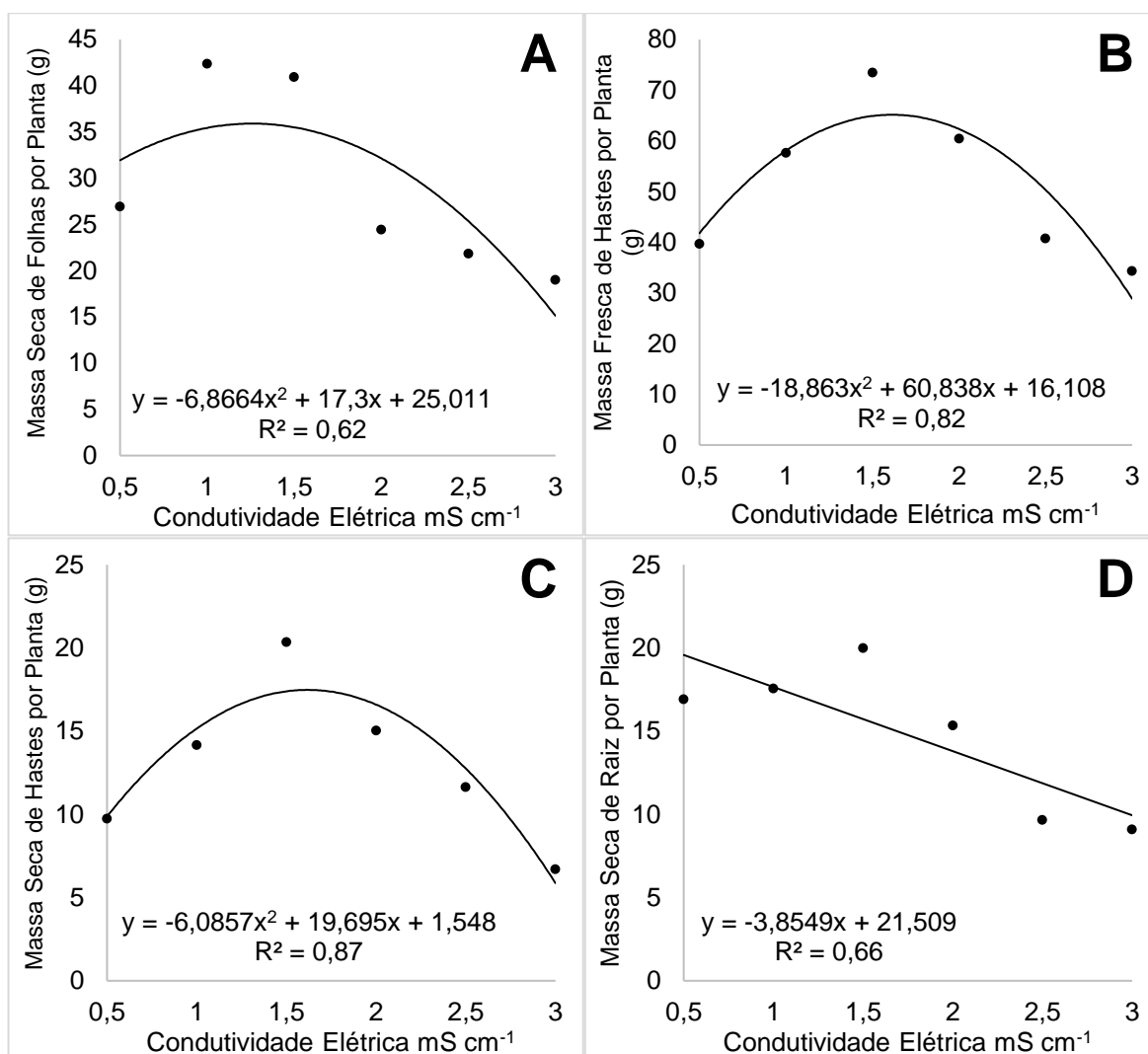


Figura 2. Massa seca de folhas (A), massa fresca de hastes (B), massa seca de hastes (C) e massa seca de raiz (D) de *M. recutita* cultivada em condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva.

A composição mineral de folhas e flores de *M. recutita* foi alterada em decorrência dos tratamentos. O aumento da condutividade elétrica da solução nutritiva levou a um incremento linear de 88,5 % no teor de fósforo nas folhas (Figura 3A). Todavia, o teor de enxofre nas folhas foi reduzido em 43 %, de forma linear, pelo aumento da concentração de nutrientes na solução nutritiva (Figura 3C). Por sua vez, o teor de potássio nas folhas apresentou uma resposta quadrática aos tratamentos, sendo o maior teor (132,6 g kg⁻¹) obtido na condutividade estimada de 2,2 mS cm⁻¹ (Figura 3B).

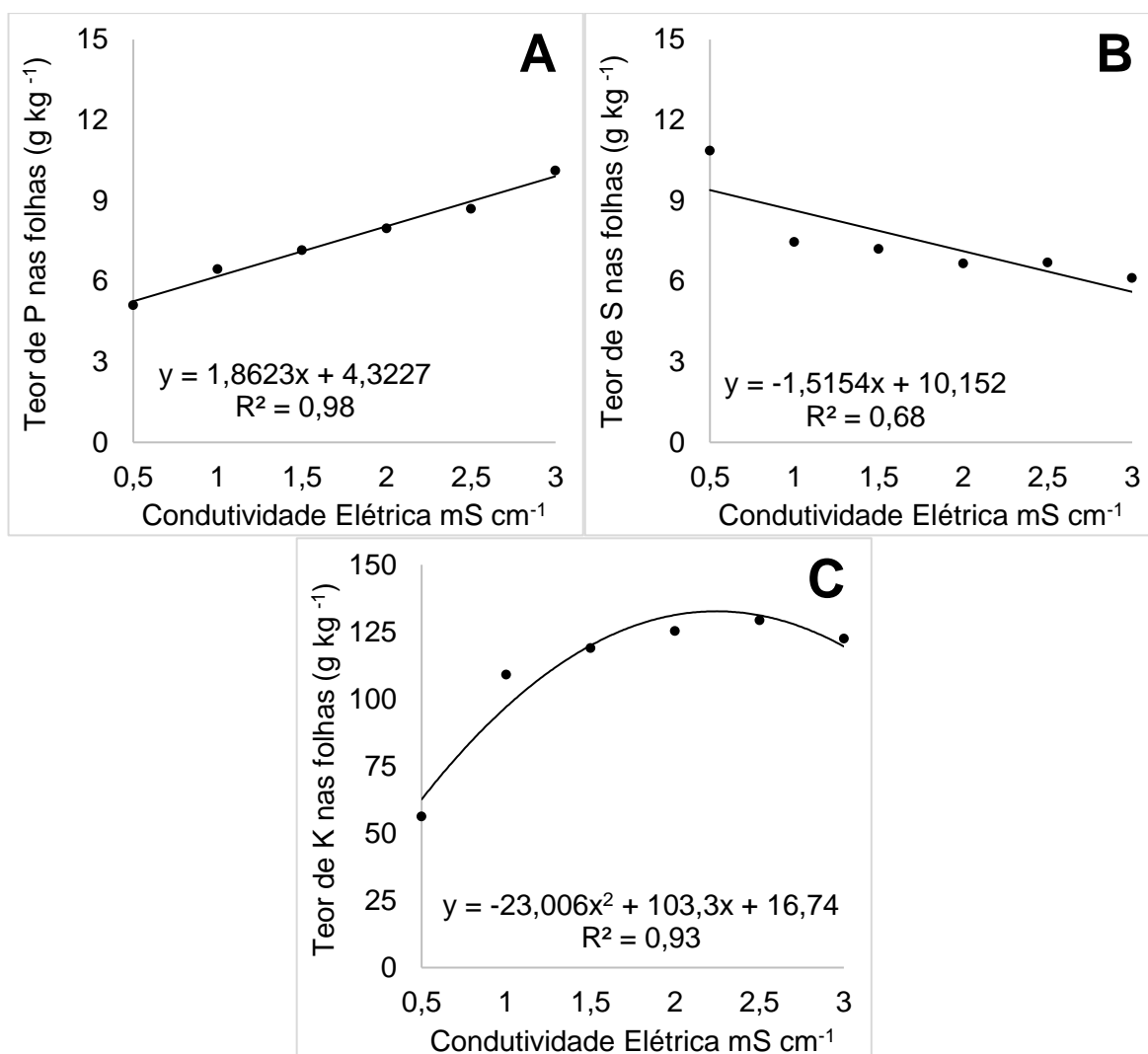


Figura 3. Teores de fósforo (A), enxofre (B) e potássio (C) em folhas de *M. recutita* cultivada em condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva.

A elevação da condutividade elétrica da solução nutritiva levou a um incremento linear nos teores de boro e cobre nas folhas de *M. recutita* em torno de 76 e 135 %, respectivamente (Figura 4A e 4B). Por outro lado, houve um decréscimo linear de 76 %, no teor de níquel nas folhas (Figura 4C). O teor de manganês apresentou uma resposta quadrática aos tratamentos, sendo seu maior valor (378 mg kg^{-1}) observado na condutividade $1,8 \text{ mS cm}^{-1}$ (Figura 4D). Os tratamentos não influenciaram de forma significativa os teores de nitrogênio, cálcio, magnésio, ferro, molibdênio e zinco nas folhas de *M. recutita* (Tabela 3).

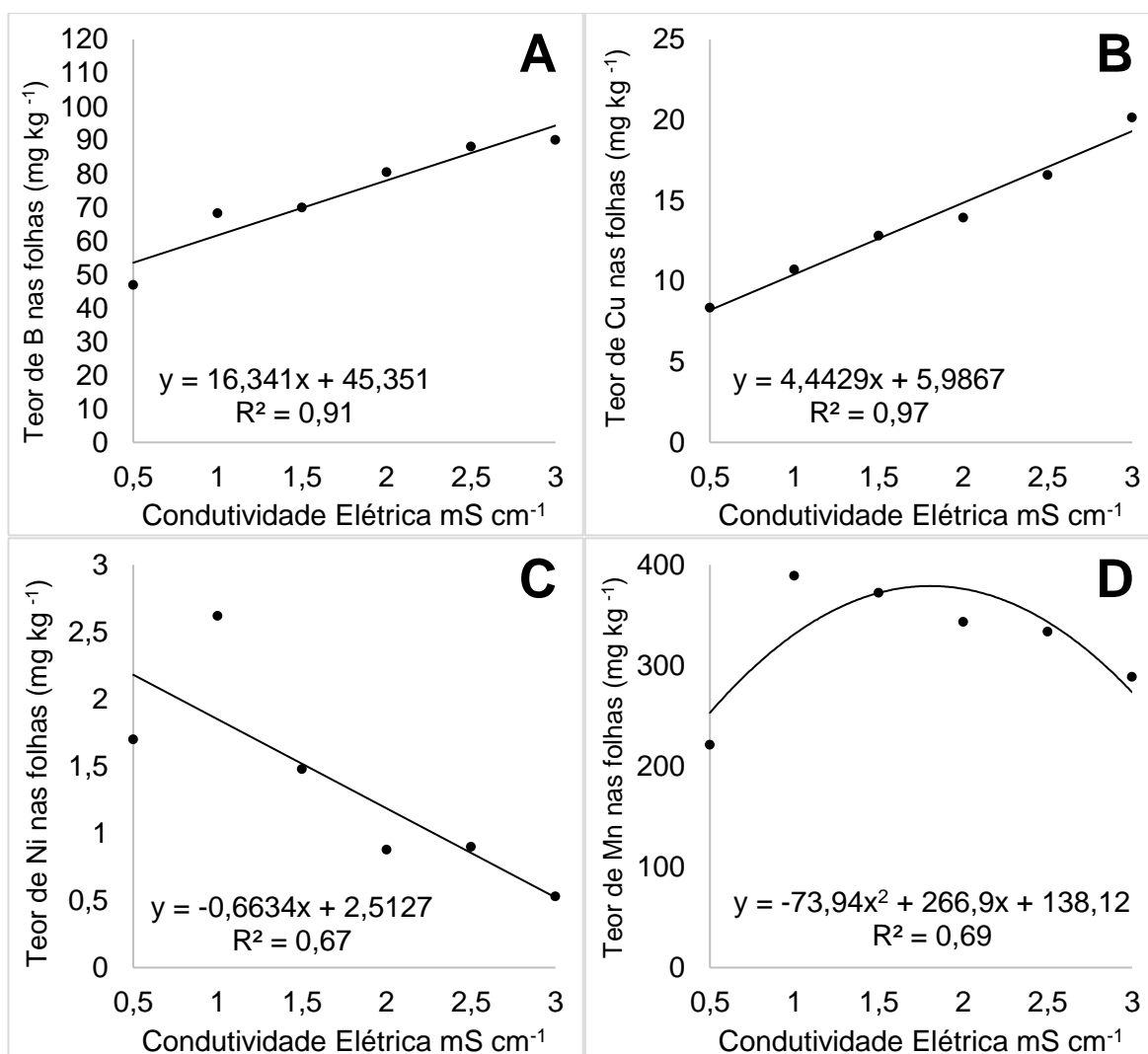


Figura 4. Teores de boro (A), cobre (B), níquel (C) e manganês (D) em folhas de *M. recutita* cultivada em condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva.

Tabela 3. Probabilidade (Prob.), Média e coeficiente de variação (C.V.) do diâmetro médio dos teores de nitrogênio (N), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), molibdênio (Mo) e zinco (Zn) em folhas de *M. recutita* cultivada em condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva

Fator	N	Ca	Mg	Fe	Mo	Zn
	----- g kg ⁻¹ -----			----- mg kg ⁻¹ -----		
Prob.	0,36	0,28	0,14	0,10	0,2	0,18
Média	41,7	18,44	5,88	196,6	2,71	56,9
CV(%)	8,80	28,73	30,3	41,5	35,7	30,0

O teor de fósforo nas flores de *M. recutita* apresentou uma resposta quadrática ao aumento da concentração desse nutriente na solução, o maior teor de P observado foi $6,83 \text{ g kg}^{-1}$, na condutividade estimada de $1,6 \text{ mS cm}^{-1}$ (Figura 5A). A elevação da condutividade elétrica resultou em um aumento linear dos teores de boro e cobre nas flores de 85 e 117 %, respectivamente (Figuras 5C e 5D). Entretanto, o teor de molibdênio foi reduzido em 44 % em decorrência dos tratamentos (Figura 5E). O efeito da condutividade sobre o teor de manganês nas flores foi de natureza quadrática, sendo verificado seu maior teor na condutividade $1,9 \text{ mS cm}^{-1}$ (Figura 5D).

Não foi observada diferença estatística significativa para os teores de nitrogênio, cálcio, potássio, magnésio, enxofre, ferro, níquel, zinco e polifenóis nas flores de *M. recutita* (Tabela 4).

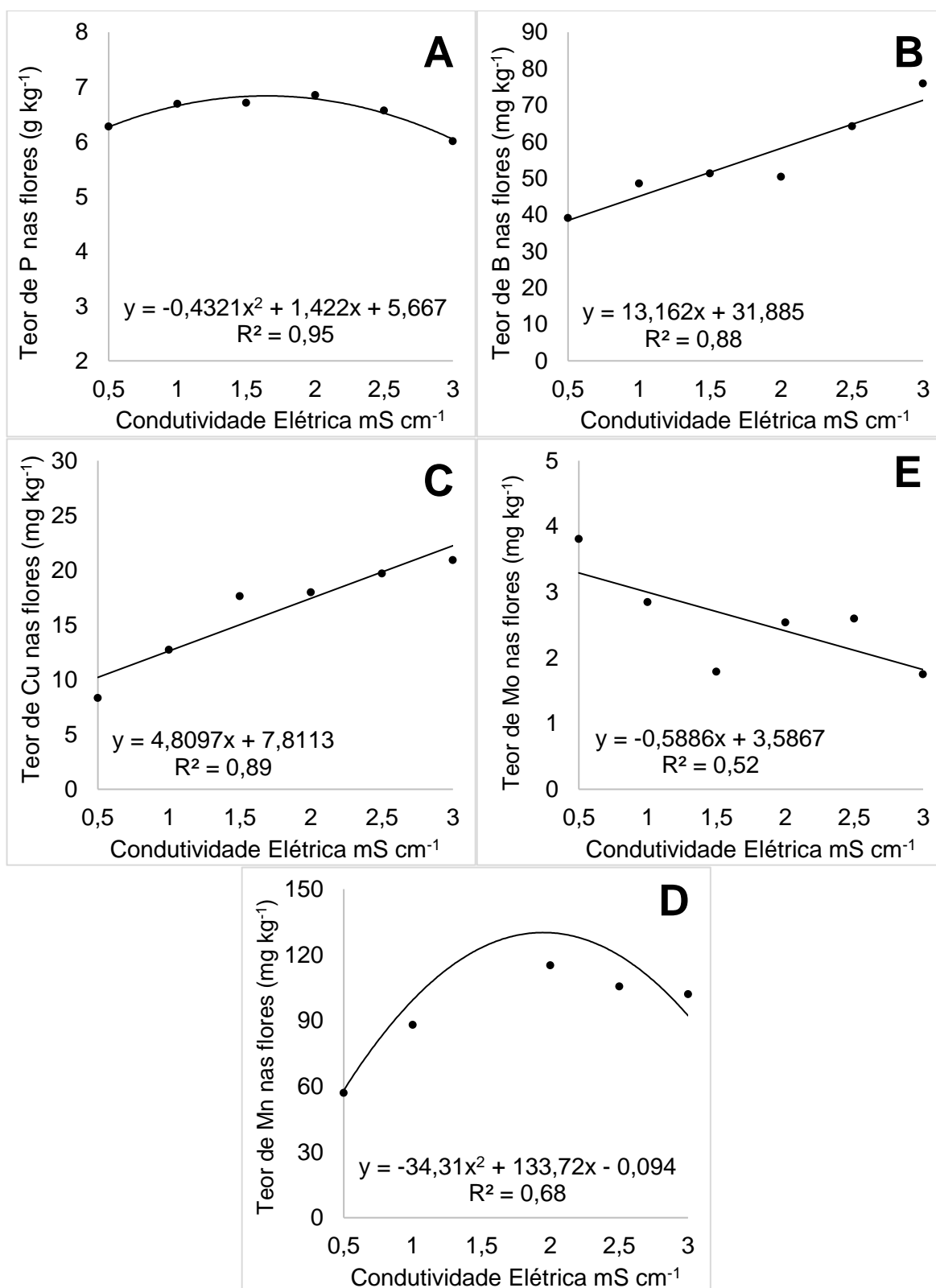


Figura 5. Teores de fósforo (A), boro (B), cobre (C), manganês (D) e molibdênio (E) em flores de *M. recutita* cultivada em condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva.

Tabela 4. Probabilidade (Prob.), Média e coeficiente de variação (C.V.) do diâmetro médio dos teores de nitrogênio (N), cálcio (Ca), potássio (K), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), níquel (Ni), zinco (Zn) e polifenóis em flores de *M. recutita* cultivada em condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva

Fator	N	Ca	K	Mg	S	Fe	Ni	Zn	Polifenóis
	----- g kg ⁻¹ -----					----- mg kg ⁻¹ -----		g kg ⁻¹	
Prob.	0,35	0,52	0,09	0,53	0,14	0,5	0,11	0,71	0,07
Média	36,6	4,30	43,3	2,34	3,84	47,1	1,26	50,6	17,23
CV(%)	11,3	32,4	7,44	13,5	16,9	22,9	58,7	24,6	11,4

O teor e o conteúdo de óleos essenciais nas flores apresentaram resposta quadrática para o aumento da concentração da solução nutritiva. Para essas duas variáveis seus pontos de máxima (4,6 g kg⁻¹ e 0,06 g planta⁻¹) foram verificados nas condutividades estimadas de 1,9 e 1,5 mS cm⁻¹, respectivamente (Figuras 6A e 6B).

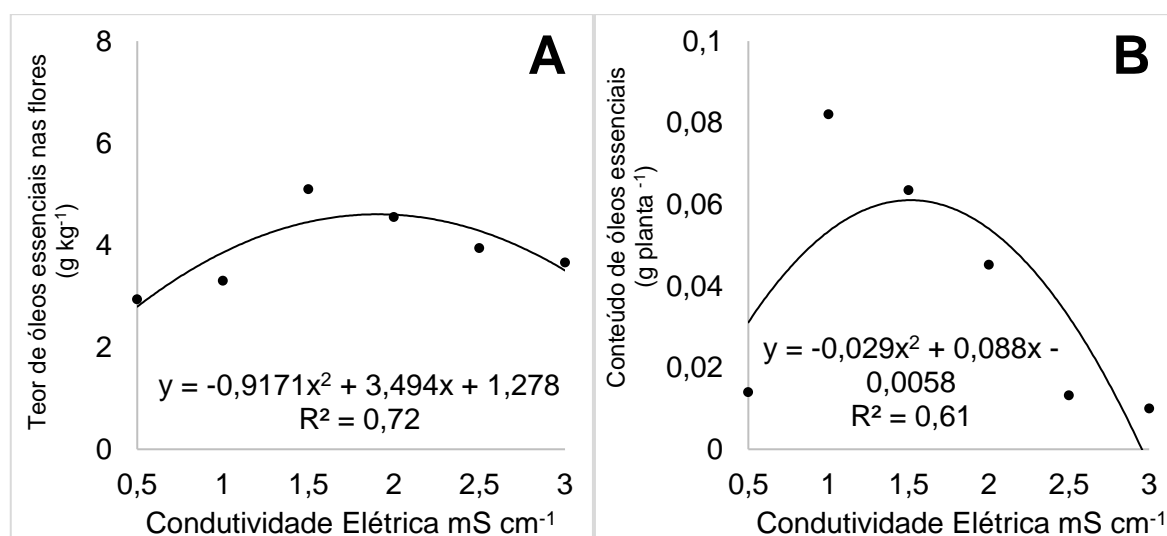


Figura 6. Teor (A) e conteúdo (B) de óleos essenciais em flores de *M. recutita* cultivada em condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva.

4. DISCUSSÃO

A produção de flores de *M. recutita* foi aumentada e em seguida reduzida pelo incremento da concentração da solução nutritiva (Figuras 1A, 1B, 1C e 1D). O mesmo foi verificado para a massa fresca de hastes e massa seca de folhas e hastes (Figuras 2A, 2B e 2C). O aumento no crescimento observado nas plantas de *M. recutita*, em decorrência da aplicação dos tratamentos, pode estar relacionado com a maior oferta de nutrientes para essas plantas durante o cultivo (Pardossi et al., 2017). Por outro lado, a redução observada pode ter ocorrido devido a um estresse osmótico causado pelo excesso de sais próximo às raízes (Parihar et al., 2015).

O estresse salino pode inibir o crescimento das plantas, seja pela redução na absorção de água pelas raízes, devido à um efeito osmótico, ou por danos às células pelo acúmulo de sais, reduzindo desta forma a fotossíntese (Dias et al., 2016). *Petroselinum crispum* cultivada sob condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva (1,2; 2,2 e 3,2 mS cm⁻¹) apresentou maiores massas fresca e seca de raízes e parte aérea na condutividade 1,2 mS cm⁻¹ (Álvaro et al., 2016). No cultivo de *Salvia splendens*, o maior crescimento dessas plantas, representado pelas massas secas de parte aérea e raízes, foi observado na condutividade 2,0 mS cm⁻¹, em comparação com as demais condutividades testadas (0,4; 0,7; 1,1; 2,0 e 3,7 mS cm⁻¹).

A maior concentração de sais na solução nutritiva pode ter levado à redução de 49 % na massa seca de raízes de *M. recutita* (Figura 2D). Iersel e Kang (2002) observaram esse mesmo efeito no cultivo de *Viola wittrockiana*. Como já mencionado anteriormente, o excesso de sais próximo às raízes dificulta a absorção de água e o alongamento celular, uma vez que o potencial hídrico da solução próxima às raízes é reduzido (Lauchli e Grattan, 2007).

O *status* nutricional das plantas está diretamente relacionado não só com seu crescimento, mas também com a produção de compostos de interesse, como os óleos essenciais (Singh et al., 2017). A maior absorção de fósforo (Figura 3A e 5A) pode ter influenciado o crescimento de *M. recutita*. Nos cultivos de *Salvia splendens* e *Trachyspermum ammi* a elevação das doses de fósforo foi responsável por aumentar o crescimento dessas plantas (Kang e Iersel, 2004; Girma e Tadesse,

2013). Esse nutriente faz parte da estrutura das moléculas ADP e ATP, que têm a importante função de armazenar e transportar energia nas células vegetais, controlando inúmeros processos no metabolismo vegetal, como a fotossíntese, respiração, síntese de proteínas, ácidos nucleicos e transporte de nutrientes através da planta (Boroomand e Grouh, 2012).

A redução do teor de enxofre nas folhas de *M. recutita* (Figura 3C) pode ter ocorrido devido ao aumento da absorção de fósforo (Figura 3A). Fósforo e enxofre são dois nutrientes absorvidos pelas plantas na forma aniônica, de modo que, podem competir pelos sítios de absorção nas raízes quando em situações de elevadas concentrações (Abdin et al., 2003).

No presente trabalho, houve aumento na absorção de potássio pelas plantas (Figura 3B), o que pode ter refletido em um maior crescimento. Nos vegetais, o potássio se caracteriza como um importante ativador enzimático, além de participar na estabilização da síntese de proteínas, neutralizar cargas negativas e atuar na manutenção do pH citoplasmático (Amtmann et al., 2004). O efeito benéfico do aumento de doses de potássio na solução nutritiva sobre crescimento de plantas já foi relatado em culturas como a *Mentha piperita* e *Salvia splendens* (Valmorbidia e Boaro, 2007; Garlet et al., 2013).

Os teores de boro e cobre nas folhas e flores foram aumentados de forma linear devido ao incremento da concentração desses nutrientes na solução nutritiva (Figuras 4A, 5B, 4B e 5C). O aumento na absorção desses nutrientes pode contribuir para o incremento no crescimento do vegetal. Esses nutrientes desempenham importantes funções nas plantas, com o boro atuando na síntese e estabilidade de paredes celulares, e o cobre, por sua vez, sendo componente de enzimas e atuando na transferência de elétrons na fase fotoquímica da fotossíntese (Dechen e Nachtigall, 2006; Shireen et al., 2018).

O aumento excessivo de sais na solução nutritiva no cultivo de *M. recutita* pode ter levado à redução nos teores de níquel nas folhas e molibdênio nas flores (Figuras 4C e 5D). Por outro lado, os teores de manganês nas folhas e flores foram aumentados e em seguida reduzidos pelos tratamentos (Figuras 4D e 5E).

A produção de óleos essenciais nas flores de *M. recutita* foi influenciada de forma significativa pelos tratamentos (Figuras 6A e 6B). Os óleos essenciais de *M. recutita* são formados, em sua maioria, por terpenoides, como os sesquiterpenos α -bisabolol e camazuleno (Gupta et al., 2010).

Os terpenoides podem ser biosintetizados a partir de duas rotas localizadas em compartimentos intracelulares distintos, a rota do metil-eritritol-4-fosfato (MEP), localizada nos plastídeos, e a rota do ácido mevalônico (MEV), localizada no citosol (Aharoni et al., 2006; Vranová et al., 2013). Os compostos presentes na rota de biosíntese dos óleos essenciais de *M. recutita* são dependentes de fósforo, sendo que, dessa forma, a maior absorção desse nutriente pode ter contribuído para o aumento da produção de óleos observado neste trabalho. O efeito de doses de fósforo na produção de óleos essenciais em *M. recutita* já foi demonstrado em alguns trabalhos (Karami et al., 2008; Jeshni et al., 2015).

A produção de óleos essenciais pode ser influenciada ainda pelo aumento da absorção de potássio pelas plantas, uma vez que esse nutriente se constitui como um importante ativador enzimático, podendo atuar na rota biosintética desses compostos (Prajapati e Modi, 2012). Nos cultivos de *Mentha piperita* e *Anthriscus cerefolium*, o aumento das doses de potássio resultou em maior produção de óleos essenciais (Garlet et al., 2013; El Gendy et al., 2015).

5. CONCLUSÕES

O aumento da condutividade elétrica no cultivo de *M. recutita* promove o crescimento dessas plantas até a condutividade estimada de $1,8 \text{ mS cm}^{-1}$, além de alterar os teores nutricionais nas folhas e flores. No cultivo de *M. recutita* recomenda-se que a condutividade elétrica da solução nutritiva seja mantida entre $1,2$ e $1,9 \text{ mS cm}^{-1}$.

REFERÊNCIAS

- Abdin, M.Z., Ahmad, A., Khan, N., Khan, I., Jamal, A., Iqbal, M. (2003) Sulphur Interaction with Other Nutrients. In: Abrol Y.P., Ahmad A. (eds) *Sulphur in Plants*. Springer, Dordrecht
- Aharoni, A., Jongsma, M.A., Kim, T.Y., Ri, M.B., Giri, A.P., Verstappen, F.W.A., Schwab, W., Bouwmeester, H.J. (2006) Metabolic engineering of terpenoid biosynthesis in plants. *Phytochemistry Reviews*, 5:49-58.
- Albuquerque, A.C.L., Pereira, M.S.V., Pereira, J.V., Costa, M.R.M., Pereira, L.F., Higino, S.J. (2010) Efeito microbiano do extrato da *Matricaria recutita* Linn, (Camomila) sobre microrganismos do biofilme dental. *Pesquisa Brasileira de Odontopediatria Integrada*, 10(3):451-455.
- Al-Dabbagh, B., Elhaty, I.A., Elhaw, M., Murali, C., Al-Mansoori, A., Awad, B., Amin, A. (2019) Antioxidand and anticancer activities of chamomile (*Matricaria recutita* L.) *BMC Research Notes*, 12(3):1-8.
- Alvaro, J.E., Lao, M.T., Urrestarazu, M., Baghour, M., Abdelmajid, A. (2016) Effect of nutrient solution salinity and ionic concentration on parsley (*Petroselinum crispum* Mill.) essential oil yield and content. *Journal of Plant Nutrition*, 39(8):1057-1062.
- Amtmann, A., Armengaud, P., Volkov, V. (2004) Potassium nutrition and salt stress. *Annual Plant Reviews*, 15:328-379.
- Anderson, J.D., Ingram, J.S.I. (1993) *Tropical soil biologya and fertility. A handbook of methods*. 2.ed. Walling Ford: CAB International.
- Baron, D., Ferreira, G., Rodrigues, J.D., Boaro, C.S.F., Macedo, A.C. (2013) Gas exchange, phisiological indexes and ionic accumulation in *Annona emarginata*

- (Schltld.) H. Rainer seedlings in nutrients solution. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35(2):361-376.
- Boroomand, N., Grouh, M.S.H. (2012) Macroelements nutrition (NPK) of medicinal plants: A review. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(12):2249-2255.
- Brock, N.L., Dickschat, J.S. (2013) Biosynthesis of terpenoids. In: Ramawat K., Mérillon JM. (eds) *Natural Products*. Springer, Berlin, Heidelberg. 642-682.
- Caleja, C., Barros, L., Antonio, A.L., Ciric, A., Barreira, J.C.M., Sokovic, M., Oliveira, M.B.P.P., Santos-Buelga, C., Ferreira, I.C.F.R. (2015b). Development of a functional dairy food: Exploring bioactive and preservation effects of chamomile (*Matricaria recutita* L.). *Journal of Functional Foods*, 16:114-124.
- Canter, P.H., Thomas, H., Ernst, E. (2005) Bringing medicinal plants into cultivation: opportunities and challenges for biotechnology. *Trends in Biotechnology*, 23(4):180-185.
- Chauhan, E.S., Jaya, A. (2017) Chamomile an ancient aromatic plant. *Journal of Ayurveda Medical Sciences*, 2(4):251-255.
- Chrysargyris, A., Panayiotou, C., Tzortzakis, N. (2016) Nitrogen and phosphorus levels affect plant growth, essential oil composition and antioxidant status of lavender plant (*Lavandula angustifolia* Mill.). *Industrial Crops and Products*, 83:577-586.
- Coelho, A.G., Scio, E., Lima, I.V.A., Nogueira, M. (2012) Atividades antimicrobiana e antioxidante da *Chamomilla recutita* L. *HU Revista*, 38(1):86-90.
- Dechen, A.R. and G.R. Nachtigall. 2006. Micronutrientes. In *Nutrição Mineral de Plantas*, ed. M.S. Fernandes, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 327-354. Viçosa.

- Dias, N.S., Blanco, F.F., Souza, E.R., Ferreira, J.F.S., Sousa Neto, O.N., Queiroz, I.S.R. (2016) Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: Gheyi, H.R., Dias, N.S., Lacerda, C.F., Gomes Filho, E. (Ed.). *Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados*. INCTSal. Fortaleza. 151-162.
- Dordas, C.A., Sioulas, C. (2009) Dry matter and nitrogen accumulation, partitioning, and retranslocation in safflower (*Carthamus tinctorius*) as affected by nitrogen fertilization. *Field Crops Research*, 110:35-43.
- El-Gendy A.G., Gohary, A.E.E., Omer, E.A., Hendawy, S.F., Hussein, M.S., Petrova, V., Stancheva, I. (2015) Effect of nitrogen and potassium fertilizer on herbage and oil yield os chervil plant (*Anthriscus cerefolium* L.) *Industrial Crops and Products*, 69:167-174.
- Frescura, V.D., Boligon, A.A., Barbosa, F.M., Souza, J.M., Lerner, M.A., Laughinghouse, H.D., Silva, C.B., Andriolo, J.L., Lopes, S.J., Tedesco, S.B. (2018). Nutrient solution concentration and collection time in phytomass production, content, yield and chemical composition of essential oil of rosemary. *Journal of Plant Nutrition*, 41(10):1293-1302.
- Garlet, T.M.B., Paulus, D., Flores, R. (2013) Production and chemical composition of *Mentha x piperita* var. *citrata* (Ehrh.) Briq. essential oil regarding to different potassium concentrations in the hydroponic solution. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, 4(3):200-206.
- Girma, A., Tadesse, M. (2013) Yield components, agronomic and essential oil yields of white cumin as affected by varying doses of nitrogen and phosphorus. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(11):3096-3102.
- Giurgiu, R.M., Morar, G.A., Dumitras, A., Boanca, P., Duda, B.M., Moldovan, C. (2014) Study regarding the suitability of cultivating medicinal plants in hydroponic systems in controlled environment. *Research Journal of Agricultural Science*, 46(2):84-92.

- Göger, G., Demirci, B., Ilgin, S., Femirci, F. (2018) Antimicrobial and toxicity profiles evaluation of the chamomile (*Matricaria recutita*) essential oil combination with standard antimicrobial agents. *Industrial Crops and Products*, 120:279-285.
- Gupta, V., Mittal, P., Bansal, P., Khokra, S., Kaushik, D. (2010) Pharmacological potential of *Matricaria recutita* – Review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Drug Research*, 2(1):12-16.
- Hartmann, K.C., Onofre, S.B. (2010) Atividade antimicrobiana de óleos essenciais da camomila (*Matricaria recutita*). *Revista Saúde e Pesquisa*, 3(3):279-284.
- Hoagland, D.R., Arnon, D.I. (1950) *The water culture method for growing plants without soils*. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 347p.
- Iersel, M.W., Kang, J.G. (2002) Nutrient solution concentration affects whole-plant CO₂ exchange and growth of subirrigated pansy. *Journal of American Society of Horticultural Science*, 127(3):423-429.
- Jackson, M. L. (1965) *Soil chemical analysis*. New Jersey: Prentice Hall.
- Jamalian A., Shams-Ghafarokhi, M., Jaimand, K., Pashootan, N., Amani, A., Razzaghi-Abyaneh, M. (2012) Chemical composition and antifungal activity of *Matricaria recutita* L. flower essential oil against medically important dermatophytes and soil-borne pathogens. *Journal de Micologie Médicale*, 22:308-315.
- Jeshni, M.G., Mousavinik, M., Khammari, I., Rahimi, M. (2017) The changes of yield and essential oil components of german chamomile (*Matricaria recutita*) under application of phosphorus and zinc fertilizers and drought stress conditions. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(1):60-65.
- Kang, J.G., Iersel, M.W. (2004) Nutrient solution concentration affects shoot:root ratio, leaf area ratio, and growth of subirrigated salvia (*Salvia splendens*). *HortScience*, 39(1):49-54.

- Karami, A., Khush-khui, M., Sefidkon, F. (2008) Effects of nitrogen, phosphorus and potassium on yield, essential oil content and composition of cultivated and wild population of *Chamomilla recutita* L. Rauschert. *Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences*, 30:1-4.
- Kazemi, M. (2015) Chemical composition and antimicrobial activity of essential oil of *Matricaria recutita*. *International Journal of Food Properties*, 18(8):1784-1792.
- Kumari, S., Pradhan, P., Yadav, R., Kumar, S. (2018) Hydroponic techniques: A soilless cultivation in agriculture. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(1):1886-1891.
- Lauchli, A. Grattan, S.R. (2007) Plant growth and development under salinity stress. In: Jenks M.A., Hasegawa P.M., Jain S.M. (eds) *Advances in Molecular Breeding Toward Drought and Salt Tolerant Crops*. Springer, Dordrecht. 32p.
- Lins, R., Vasconcelos, F.H.P., Leite, R.B., Coelho-Soares, R.S., Barbosa, D.N. (2013) Avaliação clínica de bochechos com extratos de Aroeira (*Schinus terebinthifolius*) e Camolila (*Matricaria recutita*) sobre placa bacteriana e a gengivite. 15(1):112-120.
- Lubbe, A., Verpoorte, R. (2011) Cultivation of medicinal and aromatic plants for specialty industrial materials. *Industrial Crops and Products*, 34:785-801.
- Miraj, S., Alesaeidi, S. (2016) A systematic review study of therapeutic effects of *Matricaria recutita* chamomile (chamomile). *Electronic Physician*, 8(9):3024-3031.
- Morais, T.C., Vieira, M.C., Heredia, Z., Teixeira, I.R., Ramos, M.B.M. (2006) Produção de biomassa e teor de óleos essenciais da camomila (*Chamomilla recutita* L. Rauschert) em função das adubações com fósforo e nitrogênio. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 8(4):120-125.

- Nagegowda, D.A. (2010) Plant volatile terpenoid metabolism: Biosynthetic genes, transcriptional regulation and subcellular compartmentation. *FEBS Letters*, 584:2965-2973.
- Nayak, B.S., Raju, S.S., Rao, A.V.C. (2007) Wound healing activity of *Matricaria recutita* L. extract. *Journal of Wound Care*, 16(7):298-302
- Pardossi, A., Incrossi, L., Salas, M.C., Gianquinto, G. (2017) Managing mineral nutrition in soilless culture. In: Orsini, F., Dubbeling, M., Zeeuw, H., Gianquinto, G. (eds.) *Rooftop urban agriculture*. Urban Agriculture. Springer, Cham. 147-166.
- Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V.P., Prasad, S.M. (2015) Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22:4056-4075.
- Peters, J.B. 2005. *Wisconsin Procedures for Soil Testing, Plant Analysis and Feed & Forage Analysis: Plant Analysis*. Department of Soil Science, College of Agriculture and Life Sciences, University of Wisconsin-Extension, Madison, WI. <http://uwlax.soils.wisc.edu/files/procedures/plant_icp.pdf> Acesso em: 20/02/2014
- Prajapati, K., Modi, H.A. (2012) The importance of potassium in plant growth – A review. *Indian Journal of Plant Sciences*, 1(2-3):177-186.
- Rampariya, V.L., Parmar, S.K., Sheth, N.R., Chandrashekhar, V.M. (2011) Neuroprotective activity of *Matricaria recutita* against fluoride-induced stress in rats. *Pharmaceutical Biology*, 49(7):696-701.
- Shireen, F., Nawaz, M.A., Chen, C., Zhang, Q., Zheng, Z., Sohail, H., Sun, J., Cao, H., Huang, Y., Bie, Z. (2018) Boron: Functions and approaches to enhance its availability in plants for sustainable agriculture. *International Journal of Molecular Sciences*, 19:1-20.

- Singh, M., Ali, A.A., Qureshi, M.I. (2017) Unraveling the impact of essential mineral nutrients on active constituents of selected medicinal and aromatic plants. In: Naeem, M., Ansari, A., Gill, S. (Eds) *Essential plant nutrients*. Springer, Cham. p.183-209.
- Singh, O., Khanam, Z., Misra, N., Srivastava, M.K. (2011) Chamomile (*Matricaria recutita*) : Na overview. *Pharmacognosy reviews*, 5(9):82-95.
- Srivastava, J.K., Gupta, S. (2007) Antiproliferative and apoptotic effects of Camomile extract in various human cancer cells. *Journal of Agrochemical and Food Chemistry*, 55(23):9470-9478.
- Srivastava, J.K., Shankar, E., Gupta, S. (2010) Chamomile: A herbal medicine of the past with a bright future (Review). *Molecular Medicine Reports*, 3:895-301.
- Valmorbida, J., Boaro, C.S.F., Scavroni, J., David, E.F.S. (2007) Crescimento de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes doses de potássio. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 9(4):27-31.
- Vranová, E., Coman, D., Gruişsem, W. (2013) Network analysis of the MVA and MEP pathways for isoprenoid synthesis. *The Annual Review of Plant Biology*, 64:665-700.
- Zadeh, J.B., Kor, N.M., Kor, Z.M. (2014) Chamomile (*Matricaria recutita*) as a valuable plant. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2(3):923-829.
- Zonta, E.P., A.A. Machado and P. Silveira Junior. 1984. *Sistema de análises estatísticas para microcomputadores (SANEST)*. Pelotas: UFP, 15p.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

No cultivo de plantas medicinais é indispensável que a produção de biomassa esteja relacionada com o rendimento e o teor de compostos de interesse. Levando em consideração o aumento da demanda pelas indústrias de fitoterápicos e cosméticos, a necessidade de cultivo intensivo dessas plantas cresceu nos últimos anos. Nessa perspectiva, a hidroponia se mostra como uma alternativa promissora na produção de plantas medicinais, uma vez que esta técnica permite maior controle da oferta de nutrientes e das condições de cultivo.

No cultivo hidropônico, a solução nutritiva se constitui como um fator de extrema importância, uma vez que é o meio onde os nutrientes e a água são colocados à disposição para absorção pelas plantas. A condutividade elétrica da solução nutritiva está diretamente relacionada à sua concentração de nutrientes, assim, soluções mais diluídas, com condutividades mais baixas, proporcionam economia no consumo de fertilizantes. Informações agronômicas referentes às exigências nutricionais e ao cultivo hidropônico de *Calendula officinalis*, *Foeniculum vulgare* e *Matricaria recutita* ainda são escassas na literatura. Diante disso, esta tese teve o objetivo de avaliar a produção e a qualidade de plantas medicinais cultivadas em sistema hidropônico e para isso foi dividida em três experimentos.

O objetivo do primeiro experimento foi verificar o efeito do aumento da condutividade elétrica da solução nutritiva no crescimento, na produção de flores, nos teores de nutrientes, nos fenóis totais e na rutina nas flores de *C. officinalis*. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com seis tratamentos,

constituídos por condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0 mS cm⁻¹) e cinco repetições. Assim, foi possível concluir que para o cultivo de *C. officinalis* nas condições desse trabalho, é indicada a utilização de solução nutritiva com condutividade entre 0,5 e 1,6 mS cm⁻¹.

O segundo experimento teve como objetivo verificar o efeito do aumento da condutividade elétrica da solução nutritiva no crescimento, nos teores de nutrientes e na produção de óleos essenciais em *F. vulgare*. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com quatro tratamentos, constituídos por condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva (1,5; 2,5; 3,5 e 4,5 mS cm⁻¹) e cinco repetições. Dessa forma, foi possível concluir pelas condições desse trabalho, que a melhor faixa de condutividade da solução nutritiva, para o cultivo de *F. vulgare* é de 2,3 a 3,9 mS cm⁻¹.

Por fim, o terceiro experimento teve como objetivo avaliar o efeito da condutividade elétrica da solução nutritiva no crescimento, na composição mineral e na produção de óleos essenciais nas flores de *Matricaria recutita*. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso com 6 tratamentos representados pelas condutividades elétricas da solução nutritiva (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0 mS cm⁻¹) e cinco repetições, com uma planta por vaso. Foi possível concluir que no cultivo de *M. recutita* nas condições apresentadas nesse trabalho, a maior produção dessas plantas é observada na faixa de condutividade de 1,2 a 1,9 mS cm⁻¹.

Este trabalho evidenciou os efeitos que a condutividade elétrica da solução nutritiva tem sobre a produção e a qualidade de *C. officinalis*, *F. vulgare* e *M. recutita*, contribuindo com importantes informações agrônômicas acerca da produção dessas espécies.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdelmajeed, N.A., Danial, E.N., Ayad, H.S. (2013) The effect of environmental stress on qualitative and quantitative essential oil of aromatic and medicinal plants. *Archives des Sciences*, 66(4):100-120.
- Abdin, M.Z., Ahmad, A., Khan, N., Khan, I., Jamal, A., Iqbal, M. (2003) Sulphur Interaction with Other Nutrients. In: Abrol Y.P., Ahmad A. (eds) *Sulphur in Plants*. Springer, Dordrecht
- Acosta-Motos, J.R., Ortuno, M.F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M.J., Hernandez, J.A. (2017) Plant response to salt stress: adaptative mechanisms. *Agronomy*, 7(1):1-38.
- Aharoni, A., Jongsma, M.A., Kim, T.Y., Ri, M.B., Giri, A.P., Verstappen, F.W.A, Schwab, W., Bouwmeester, H.J. (2006) Metabolic engineering of terpenoid biosynthesis in plants. *Phytochemistry Reviews*, 5:49-58.
- Ahmad, I., N., Jabeen, K., Ziaf, J.M., Dole, M.A.S., Khan, Bakhtavar, M.A. (2017) Macronutrient application affects morphological, physiological, and seed yield attributes of *Calendula officinalis* L. *Canadian Journal of Plant Science*, 97(5):906-916.

- Akhbari, M., Kord, R., Nodooshan, S.J., Hamed, S. (2018) Analysis and evaluation of the antimicrobial and anticancer activities of the essential oil isolated from *Foeniculum vulgare* from Hamedan, Iran. *Natural Product Research*, 7:1-4.
- Albuquerque, A.C.L., Pereira, M.S.V., Pereira, J.V., Costa, M.R.M., Pereira, L.F., Higino, J.S. (2010) Efeito antimicrobiano do extrato da *Matricaria recutita* Linn. (Camomila) sobre microrganismos do biofilme dental. *Pesquisa Brasileira Odontopediatria e Clínica Integrada*, 10(3):451-455.
- Al-Dabbagh, B., Elhaty, I.A., Elhaw, M., Murali, C., Al-Mansoori, A., Awad, B., Amin, A. (2019) Antioxidant and anticancer activities of chamomile (*Matricaria recutita* L.) *BMC Research Notes*, 12(3):1-8.
- Alexandre, J.T.M., Souza, L.H.T., Lisboa, M.R.P., Furlaneto, F.A.C., do Val, D.R., Marques, M., Vasconcelos, H.Q., Melo, I.M., Leitão, R., Brito, G.A.C., Goes, P. (2017) Anti-inflammatory and antiresorptive effects of *Calendula officinalis* on inflammatory bone loss in rats. *Clinical Oral Investigation*, 22(6):2175-2185.
- Ali, E.M., El-Moaty, H.A. (2017) Antiungal activity of *Achillea santolina* L. and *Calendula officinalis* L. essential oils and their constituents against fungal infection of liver as complication of cyclophosphamide therapy. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 20(4):1030-1043.
- Al-Snafi, A.E. (2018) The chemical constituents and pharmacological effects of *Foeniculum vulgare* – A review. *Journal of Pharmacy*, 8(5):81-96.
- Alvarenga, I.C.A., Boldrin, P.F., Pacheco, F.V., Silva, S.T., Bertoluci, S.K.V., Pinto, J.E.B.P. (2015) Effects on growth, essential oil content and composition of the volatile fraction of *Achillea millefolium* L. cultivated in hydroponic systems deficient in macro- and microelements. *Scientia Horticulturae*, 197:329-338.
- Alvaro, J.E., Lao, M.T., Urrestarazu, M., Baghour, M., Abdelmajid, A. (2016) Effect of nutrient solution salinity and ionic concentration on parsley (*Petroselinum*

crispum Mill.) essential oil yield and content. *Journal of Plant Nutrition*, 39(8):1057-1062.

Amalfitano, C., Del Vacchio, L., Somma, S., Cuciniello, A., Caruso, G. (2017) Effects of cultural cycle and nutrient solution electrical conductivity on plant growth, yield and fruit quality of “Friariello” pepper grown in hydroponics. *Hort Science*, 44:91-98.

Amsterdam, J.D., Shultz, J., Soeller, I., Mao, J.J., Rockwell, K., Newberg, A.D. (2012) Chamomile (*Matricaria recutita*) may have antidepressant activity in anxious depressed humans – An exploratory study. *Alternative therapies in health and medicine*, 18(5):44-49.

Amtmann, A., Armengaud, P., Volkov, V. (2004) Potassium nutrition and salt stress. *Annual Plant Reviews*, 15:328-379.

Anderson, J.D., Ingram, J.S.I. (1993) Tropical soil biology and fertility. A handbook of methods. 2.ed. Walling Ford: CAB International.

Anwar, F., Hussain, A.I., Sherazi, S.T.H., Bhangar, M.I. (2009) Changes in composition and antioxidant and antimicrobial activities of essential oil of fennel (*Foeniculum vulgare*) fruit at different stages of maturity. *Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants* 15:187-202.

Araújo, A.P.A., Machado, C.T.T. (2006) Fósforo. In *Nutrição Mineral de Plantas*, ed. M.S. Fernandes, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 253-280. Viçosa.

Ashwlayan, V.D., Kumar, A., Verma, M., Garg, V.K., Gupta, S.K. (2018) Therapeutic potential of *Calendula officinalis*. *Pharmacy and Pharmacology International Journal*, 6(2):149-155.

Badgujar, A.B., Patel, V.V., Bandivdekar, A.H. (2014) *Foeniculum vulgare* Mill. A review of its botany, phytochemistry, pharmacology, contemporary application and toxicology. *Biomed Research International*, 2014:1-34.

- Baker, A., Ceasar, S.A., Palmer, A.J., Paterson, J.B., Qi, W., Muench, S.P., Baldwin, S.A. (2015) Replace, reuse, recycle: improving the sustainable use of phosphorus by plants. *Journal of Experimental Botany*, 66(12):3523-3540.
- Baron, D., Amaro, A.C.E., Campos, F.G., Boaro, C.S.F., Ferreira, G. (2018) Plant physiological responses to nutrient solution: an overview. In: Ahmad, P., Ahanger, M.A., Singh, V.P., Tripathi, D.K., Alam, P., Alyemeni, M.N. (Eds.) *Plant metabolites and regulation under environmental stress*. Academic Press, 20p.
- Baron, D., Ferreira, G., Rodrigues, J.D., Boaro, C.S.F., Macedo, A.C. (2013) Gas exchange, physiological indexes and ionic accumulation in *Annona emarginata* (Schltdl.) H. Rainer seedlings in nutrients solution. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35(2):361-376.
- Barros, L., Carvalho, A.M., Ferreira, I.C.F.R. (2010) The nutritional composition of fennel (*Foeniculum vulgare*): Shoots, leaves, stems and inflorescences. *Food Science and Technology*, 43:814-818.
- Bernárth, J., Németh, E., Kattaa, A., Héthelyi, E. (1996) Morphological and chemical evaluation of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) populations of different origin. *Journal of Essential Oil Research*, 8(3):247-253.
- Bhardwaj, R.L. (2016) Response of transplanted fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) to potassium fertilization. *Journal of Spices and Aromatic Crops*, 25(2):149-158.
- Bhardwaj, R.L., Kumar, D. (2016) Effect of varying levels of nitrogen on growth, yield, quality and profitability of transplanted fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Journal of Spices and Aromatic Crops*, 25(2):141-148.
- Borges, R., Peixoto, A.L. (2009) Conhecimento e uso de plantas em uma comunidade caiçara do litoral sul do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 23(3):769-779.

- Boroomand, N., Grouh, M.S.H. (2012) Macroelements nutrition (NPK) of medicinal plants: A review. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(12):2249-2255.
- Boscolo, O.H., Senna-Valle, L. (2008) Plantas de uso medicinal em Quissamã, Rio de Janeiro, Brasil. *Iheringia*, 63(2):263-277.
- Brasil (1996) *Ministério da Saúde. Farmacopéia Brasileira*, 4ª edição. Parte II. São Paulo. 1563p.
- Brasil (2009) Ministério da Saúde. Portal da Saúde: *Programa Nacional de Plantas Mediciniais e Fitoterápicos*. Disponível em: <<http://portalsaude.saude.gov.br/images/pdf/2015/janeiro/05/programa-nacional-plantas-mediciniais-fitoter--picos-pnpmf.pdf>>. Acesso em: 15/02/2015.
- Brito, M.R., Senna-Valle, S. (2011) Plantas medicinais utilizadas na comunidade caiçara da Praia do Sono, Paraty, Rio de Janeiro, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 25(2):363-372.
- Brock, N.L., Dickschat, J.S. (2013) Biosynthesis of terpenoids. In: Ramawat K., Mérillon JM. (eds) *Natural Products*. Springer, Berlin, Heidelberg. 642-682.
- Caleja, C., Barros, L., Antonio, A.L., Ciric, A., Sokovic, M., Oliveira, M.B.P.P., Santos-Buelga, C., Ferreira, I.C.F.R. (2015a) *Foeniculum vulgare* Mill. As natural conservation enhancer and health promoter by incorporation in cottage cheese. *Journal of Functional Foods*, 12:428-438.
- Caleja, C., Barros, L., Antonio, A.L., Ciric, A., Barreira, J.C.M., Sokovic, M., Oliveira, M.B.P.P., Santos-Buelga, C., Ferreira, I.C.F.R. (2015b). Development of a functional dairy food: Exploring bioactive and preservation effects of chamomile (*Matricaria recutita* L.). *Journal of Functional Foods*, 16:114-124.

- Canter, P.H., Thomas, H., Ernst, E. (2005) Bringing medicinal plants into cultivation: opportunities and challenges for biotechnology. *Trends in Biotechnology*, 23(4):180-185.
- Chakraborty, G.S. (2009) Antioxidant activity of successive extracts of *Calendula officinalis* leaves. *Asian Journal of Chemistry*, 21(6):4957-4959.
- Chauhan, E.S., Jaya, A. (2017) Chamomile an ancient aromatic plant. *Journal of Ayurveda Medical Sciences*, 2(4):251-255.
- Choi, E.M., Hwang, J.K. (2004) Antiinflammatory, analgesic and antioxidant activities of the fruit of *Foeniculum vulgare*. *Fitoterapia*, 75:557-565.
- Christo, A.G., Guedes-Bruni, R.R., Fonseca-Kruel, V.S. (2006) Uso de recursos vegetais em comunidades rurais limítrofes à Reserva Biológica de Poço das Antas, Silva Jardim, Rio de Janeiro: Estudo de caso da gleba Aldeia Velha. *Rodriguesia*, 57(3):519-542.
- Chrysargyris, A., Panayiotou, C., Tzortzakis, N. (2016) Nitrogen and phosphorus levels affect plant growth, essential oil composition and antioxidant status of lavender plant (*Lavandula angustifolia* Mill.). *Industrial Crops and Products*, 83:577-586.
- Citadini-Zanette, V., Negrelle, R.R.B., Borba, E.T. (2012) *Calendula officinalis* L. (Asteraceae): Aspectos botânicos, ecológicos e usos. *Visão Acadêmica*, 13(1):6-23.
- Coelho, A.G., Scio, E., Lima, I.V.A., Nogueira, M. (2012) Atividades antimicrobiana e antioxidante da *Chamomilla recutita* L. *HU Revista*, 38(1):86-90.
- Corrêa Junior, C., Scheffer, M.C. (2014) As plantas medicinais aromáticas e condimentares na agricultura familiar. *Horticultura Brasileira*, 32(3):1-1.

- Das, M., Jain, V., Malhotra, S.K. (2016) Impact of climate change on medicinal and aromatic plant: Review. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 86(11):1375-82.
- Dechen, A.R., Nachtigall, G.R. (2006) Micronutrientes. In *Nutrição Mineral de Plantas*, ed. M.S. Fernandes, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 327-354. Viçosa.
- Dias, N.S., Blanco, F.F., Souza, E.R., Ferreira, J.F.S., Souza Neto, O.N. Quairoz, I.S.R., (2016) Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: Gheyi, H.R., Dias, N.S., Lacerda, C.F., Gomes Filho, E. (Ed.). *Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados*. INCTSal. Fortaleza. 151-162.
- Dixit, D., Srivastava, N.K., Sharma, S. (2009) Boron deficiency induced changes in translocation of $^{14}\text{CO}_2$ -photosynthate into primary metabolites in relation to essential oil and curcumin accumulation in turmeric (*Curcuma longa* L.). *Photosynthetica*, 40(1):109-113.
- Dodd, A.N., Kudla, J., Sanders, D. (2010) The language of calcium signalling. *Annual Review of Plant Biology*, 61:593-620.
- Dordas, C.A., Sioulas, C. (2009) Dry matter and nitrogen accumulation, partitioning, and retranslocation in safflower (*Carthamus tinctorius*) as affected by nitrogen fertilization. *Field Crops Research*, 110:35-43.
- Dorwal, D. (2012) Anthelmintic activity of methanolic and ethanolic leaf extract of *Calendula officinalis*. *International Journal of Research in Pharmaceutical and Biomedical Sciences*, 3(2):831-833.
- Economakis, C. (2005) Effect of solution conductivity on the volatile constituents of *Origanum dictamnus* L. in nutrient film technique. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(5):1656-1660.

- Efstratiou, E., Hussain, A.I., Nigam, P.S., Moore, J.E., Ayub, M., Rao, J.R. (2012) Antimicrobial activities of *Calendula officinalis* petal extracts against fungi, as well as gram-negative and gram-positive clinical pathogens. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 18:173-176.
- Ehsanipour, A., Razmjoo, J., Zeinali, H (2012) Effect of nitrogen rates on yield and quality of fennel *Foeniculum vulgare* Mill.) accessions. *Industrial Crops and Products*, 35:121-125.
- El-Gendy A.G., Gohary, A.E.E., Omer, E.A., Hendawy, S.F., Hussein, M.S., Petrova, V., Stancheva, I. (2015) Effect of nitrogen and potassium fertilizer on herbage and oil yield of chervil plant (*Anthriscus cerefolium* L.) *Industrial Crops and Products*, 69:167-174.
- Epstein, E., Bloom, A.J. (2004) Nutrição mineral de plantas – princípios e perspectivas. 2 ed. Editora Planta: Londrina.
- Fernandes, M.S., Souza, S.R. (2006) Absorção de nutrientes. In *Nutrição Mineral de Plantas*, ed. M.S. Fernandes, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 115-152. Viçosa.
- Figueredo, C.A., Gurgel, I.G.D., Gurgel Junior, G.D. (2014) A política nacional de plantas medicinais e fitoterápicos: construção, perspectivas e desafios. *Revista de Saúde Coletiva*, 24(2): 381-400.
- Foroughi, A., Pournaghi, P., Zhaleh, M., Zangeleh, A., Zangeleh, M., Moradi, R. (2016) Antibacterial activity and phytochemical screening of essential oil of *Foeniculum vulgare*. *International Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 8(11):1505-1509.
- Freitas, M.S.M., Monnerat, P.H., Vieira, I.J.C., Carvalho, A.J.C. (2007) Flavonoids and mineral composition the leaf in yellow passion fruit in function of leaves at positions in the branch. *Ciência Rural*, 37(6):1634-1639.

- Frescura, V.D., Boligon, A.A., Barbosa, F.M., Souza, J.M., Lerner, M.A., Laughinghouse, H.D., Silva, C.B., Andriolo, J.L., Lopes, S.J., Tedesco, S.B. (2018). Nutrient solution concentration and collection time in phytomass production, content, yield and chemical composition of essential oil of rosemary. *Journal of Plant Nutrition*, 41(10):1293-1302.
- Furtado, G.F., Cavalcante, A.R., Chaves, L.H.G., Santos Júnior, J.A., Gheyi, H.R. (2017) Growth and production of hydroponic pepper under salt stress and plant density. *American Journal of Plant Sciences*, 8:2255-2267.
- Garlet, T.M.B., Paulus, D., Flores, R. (2013) Production and chemical composition of *Mentha x piperita* var. *citrata* (Ehrh.) Briq. essential oil regarding to different potassium concentrations in the hydroponic solution. *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, 4(3):200-206.
- Gazim, Z.C., Rezende, C.M., Fraga, S.R., Svidizinski, T.I.E., Cortez, D.A.G. (2008) Antifungal activity of essential oil from *Calendula officinalis* L. (Asteraceae) growing in Brazil. *Brazilian Journal of Microbiology*, 39:61-63.
- Ghaima, K.K., Rasheed, S.F., Ahmed, E.F. (2013) Antibiofilm, antibacterial and antioxidant activities of water extract of *Calendula officinalis* flowers. *International Journal of Biological and Pharmaceutical Research*, 4(7):465-470.
- Giurgiu, R.M., Morar, G.A., Dumitras, A., Boanca, P., Duda, B.M., Moldovan, C. (2014) Study regarding the suitability of cultivating medicinal plants in hydroponic systems in controlled environment. *Research Journal of Agricultural Science*, 46(2):84-92.
- Girma, A., Tadesse, M. (2013) Yield components, agronomic and essential oil yields of white cumin as affected by varying doses of nitrogen and phosphorus. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(11):3096-3102.

- Göger, G., Demirci, B., Ilgin, S., Demirci, F. (2018) Antimicrobial and toxicity profiles evaluation of the Chamomile (*Matricaria recutita* L.) essential oil combination with standard antimicrobial drugs. *Industrial Crops and Products*, 120:279-285.
- Guillen, M.D., Manzanos, M.J. (1996) A study of several parts of the plant *Foeniculum vulgare* as a source of compounds with industrial interest. *Food Research International*, 29(1):85-88.
- Gulfraz, M., Mehmood, S., Minhas, N., Jabeen, N., Kausar, R., Jabeen, K., Arshad, G. (2008) Composition and antimicrobial properties of essential oil of *Foeniculum vulgare*. *African Journal of Biotechnology*, 7(24):4367-4368.
- Gupta, V., Mittal, P., Bansal, P., Khokra, S.L., Kaushik, D. (2010) Pharmacological potential of *Matricaria recutita* – A Review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Drug Research*, 2(1):12-16.
- Gurib-Fakim, A. (2006) Medicinal plants: Traditions of yesterday and drugs of tomorrow. *Molecular Aspects of Medicine*, 27:1-93.
- Haber, L.L., Luz, J.M.Q., Doro, L.F.A., Santos, J.E. (2005) Diferentes concentrações de solução nutritiva para o cultivo de *Mentha piperita* e *Melissa officinalis*. *Horticultura Brasileira*, 23(4):1006-1009.
- Hani, M.M., Hussein, S.A.H.A., Mursy, M.H., Ngezimana, W., Mudau, F.N. (2015) Yield and essential oil response in Coriander to water stress and phosphorus fertilizer application. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 18(1):82-92.
- Hartmann, K.C., Onofre, S.B. (2010) Atividade antimicrobiana de óleos essenciais da camomila (*Matricaria chamomila* L.). *Revista Saúde e Pesquisa*, 3(3):279-284.
- He, J., Yang, B., Dong, M., Wang, Y. (2018) Crossing the roof of the world: Trade in medicinal plants from Nepal to China. *Journal of Ethnopharmacology*, 224:100-110.

- He, W., Huang, B. (2011) A review of chemistry and bioactivities of a medicinal spice: *Foeniculum vulgare*. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(16):3595-3600.
- Heidari, S., Soltani, F., Azizi, M., Hadian, J. (2014) Foliar application of Ca and K improves growth, yield, essential oil yield and nutrient uptake of tarragon (*Artemisia draculuns* L.) grown in Iran. *International Journal of Biosciences*, 4(12):323-338.
- Hoagland, D.R., Arnon, D.I. (1950) *The water culture method for growing plants without soils*. Berkeley: California Agricultural Experimental Station, 347p.
- Ibrahim, R.K. (2001) Phenylpropanoid metabolism. In: Encyclopedia of life sciences. 10p.
- Ibrahim, M.H., H.Z.E. Jaafar, A. Rahmat and Z.A. Rahman. 2012. Involvement of nitrogen on flavonoids, glutathione, anthocyanin, ascorbic acid and antioxidante activities of Malaysian medicinal plant *Labisia pumila* Blume (Kacip Fatimah). *International Journal of Molecular Science*, 13:393-408.
- Iersel, M.W., Kang, J.G. (2002) Nutrient solution concentration affects whole-plant CO₂ exchange and growth of subirrigated pansy. *Journal of American Society of Horticultural Science*, 127(3):423-429.
- Jackson, M. L. (1965) *Soil chemical analysis*. New Jersey: Prentice Hall.
- Jamalian A., Shams-Ghafarokhi, M., Jaimand, K., Pashootan, N., Amani, A., Razzaghi-Abyaneh, M. (2012) Chemical composition and antifungal activity of *Matricaria recutita* L. flower essential oil against medically important dermatophytes and soil-borne pathogens. *Journal de Micologie Médicale*, 22:308-315.

- Jan, N., Andrabi, K.I., Jhon, R. (2017) *Calendula officinalis* – An important plant with potential biological properties. *Proceedings of the Indian National Science Academy*, 83(4): 769-787.
- Jeshni, M.G., Mousavinik, M., Khammari, I., Rahimi, M. (2017) The changes of yield and essential oil components of german chamomile (*Matricaria recutita*) under application of phosphorus and zinc fertilizers and drought stress conditions. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(1):60-65.
- Jia, H., Wang, J., Yang, Y., Liu, G., Bao, Y. Bao, Chui, H. (2014) Changes in flavonol content and transcript levels of genes in the flavonoid pathway in tobacco under phosphorus deficiency. *Plant Growth Regulations*, 76(2):225-231.
- Kang, J.G., Iersel, M.W. (2004) Nutrient solution concentration affects shoot:root ratio, leaf area ratio, and growth of subirrigated salvia (*Salvia splendens*). *HortScience*, 39(1):49-54.
- Karami, A., Khush-khui, M., Sefidkon, F. (2008) Effects of nitrogen, phosphorus and potassium on yield, essential oil content and composition of cultivated and wild population of *Chamomilla recutita* L. Rauschert. *Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences*, 30:1-4.
- Karioti, A., Skaltsa, H., Demetzos, C., Perdetzoglou, D. (2003) Effect of nitrogen concentration of the nutrient solution on the volatile constituents of leaves of *Salvia fruticose* Mill. in solution culture. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(22):6505-6508.
- Kazemi, M. (2015) Chemical composition and antimicrobial activity of essential oil of *Matricaria recutita*, *International Journal of Food Properties*, 18(5):1784-1792.
- Keskin, I., Gunal, Y., Ayla, S., Kolbasi, B., Sakul, A., Kilic, U., Gok, O., Koroglu, K., Ozbek, H. (2017) Effects of *Foeniculum vulgare* essential oil compounds,

fenchone and limonene, on experimental wound healing. *Biotechnic and Histochemistry*, 92(4):274-282.

Khalid, A.K. (2013) Effect of potassium uptake on the composition of essential oil content in *Calendula officinalis* L. flowers. *Plant Science*, 25(3):189-195.

Khalid, K.A., Silva, J.A.T. (2012) Biology of *Calendula officinalis* Lin.: Focus on pharmacology, biological activities and agronomic practices. *Medicinal and Aromatic Plant Science and Biotechnology*, 6(1):12-27.

Khan, M.M., Azam, Z.M., Samiullah (1999) Changes in the essential oil constituents of fennel (*Foeniculum vulgare*) as influenced by soil and foliar levels of N and P. *Canadian Journal of Plant Science*, 79(4):587-591.

Kiferle, C., Maggini, R., Pardossi, A. (2013) Influence of nitrogen nutrition on growth and accumulation of rosmarinic acid in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) grown in hydroponic culture. *Australian Journal of Crop Science*, 7(3):321-327.

Kopriva, S. (2015) Plant sulfur nutrition: From Sachs to big data. *Plant Signaling and Behavior*, 9(10):1559-2324.

Król, B. (2011) The effect of different nitrogen fertilization rates on yield and quality of marigold (*Calendula officinalis* L. "Tokaj") raw material. *Acta Agrobotanica*, 64(3):29-34.

Kumar, V., Pandey, S.K., Singh, V.K., Verty, P., Samoon, S.A. Samoon (2015) Response of nitrogen and phosphorus levels on calendula (*Calendula officinalis* L.). *Research in Environment and Life Sciences*, 8(4):557-560.

Kumari, S., Pradhan, P., Yadav, R., Kumar, S. (2018) Hydroponic techniques: A soilless cultivation in agriculture. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(1):1886-1891.

- Kurkin, V.A., Sharova, O.V. (2007) Flavonoids from *Calendula officinalis* flowers. *Chemistry of Natural Compounds*, 43(2):216-217.
- Larcher, W. (2000) *Ecofisiologia vegetal*. Rima. 531p.
- Lauchli, A. Grattan, S.R. (2007) Plant growth and development under salinity stress. In: Jenks M.A., Hasegawa P.M., Jain S.M. (eds) *Advances in Molecular Breeding Toward Drought and Salt Tolerant Crops*. Springer, Dordrecht. 32p.
- Lawlor, D.W. (2002) Carbon and nitrogen in relation to yield: mechanisms are the key to understanding production systems. *Journal of experimental botany*, 53(370):773-787.
- Lea, P.J., Miflin, B.J. (2011) Nitrogen assimilation and its relevance to crop improvement. *Annual Plant Review*, 42:1-40.
- Leitão, F., Fonseca-Kruel, V.S., Silva, I.M., Reinert, F. (2009) Urban ethnobotany in Petrópolis and Nova Friburgo (Rio de Janeiro, Brasil). *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 19(1B):333-342.
- Letchamo, W., Xu, H.L., Desroches, B., Gosselin, A. (1993) Effect of nutrient solution concentration on photosynthesis, growth, and content of the active substances of passionfruit. *Journal of Plant Nutrition*, (16)12:2521-2537.
- Lima-Saraiva, S.R.G., Saraiva, H.C.C., Oliveira-Junior, R.G., Silva, J.C., Damasceno, C.M.D., Almeida, J.R.G.S., Amorim, E.L.C. (2015) A implantação do programa de plantas medicinais e fitoterápicos no sistema público de saúde no Brasil: uma revisão de literatura. *Revista Interdisciplinar de Pesquisa e Inovação*, 1(1): 1-11.
- Lins, R., Vasconcelos, F.H.P., Coelho-Soares, R.S., Barbosa, D.N. (2013) Avaliação clínica de bochechos com extratos de Aroeira (*Schinus terebinthifolius*) e Camomila (*Matricaria recutita*) sobre placa bacteriana e gengivite. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 15(1):112-120.

- Lillo, C., Lea, U., Ruoff, P. (2008) Nutrient depletion as a key factor for manipulating gene expression and product formation in different branches of the flavonoid pathway. *Plant, Cell and Environment*, 31:587-601.
- Liu, W., Zhu, D., Liu, D., Zhou, W., Yang, T., Geng, M. (2011) Influence of potassium deficiency on flower yield and flavonoid metabolism in leaves of *Chrysanthemum morifolium* Ramat. *Journal of Plant Nutrition*, 34:1905-1918.
- Lopes, A.P., Santos, R.F., Lucca, P.S.R., Eckert, R.G (2010) Manejos orgânico e convencional da camomila visando à produção de óleo essencial. *Revista Varia Scientia Agraria*, 1(1):45-54.
- Lorenzi, H., Matos, F.J.A. (2008) *Plantas medicinais do Brasil: nativas e exóticas cultivadas*. 2.ed. São Paulo: Instituto Plantarum.
- Lu, N., Takagaki, M., Yamori, W., Kagawa, N. (2018) Flavonoid productivity optimized for green and red forms of *Perilla frutescens* via environmental control technologies in plant factory. *Journal of Food Quality*, 2018:1-9.
- Lubbe, A., Verpoorte, R. (2011) Cultivation of medicinal and aromatic plants for specialty industrial materials. *Industrial Crops and Products*, 34:785-801.
- Luz, J.M.Q., Andrade, L.V., Dias, F.F., Silva, M.A.D., Haber, L.L., Oliveira, R.C. (2012) Produção hidropônica de coentro e salsa crespa sob concentrações de solução nutritiva e posições das plantas nos perfis hidropônicos. *Bioscience Journal*, 28(4):589-597.
- Maia-Almeida, C.I., Ming, L.C., Marques, M.O.M., Magalhães, P.M., Queiroz, S.C.N., Scramim, S., Mischon, M.M., Montanari Jr, I., Pereira, B., Ferreira, M.I. (2011) Densidade de plantio e idade de colheita de quebra-pedra [*Phyllanthus amarus* (Schumacher & Thonning) genótipo Unicamp-CPQBA 14] na produtividade de filantina. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 13:633-641.

- Majeed, M. (2017) Evidence-based medicinal plant products for the health care of world population. *Annals of Phytomedicine* 6(1):1-4.
- Maleki, A., Feizolahi, A., Daneshian, J., Naseri, R., Rashnavadi, R. (2014) Effect of different sources of nitrogen and zinc sulfate on grain yield and its associated traits in marigold (*Calendula officinalis* L.). *International Journal of Biosciences*, 4(6):45-52.
- Mann, J. (2001) *Secondary Metabolism*. 2ed. United States- Oxford University Press. 374p.
- Marchese, J.A., Broetto, F., Ming, L.C., Goto, R., Stefanini, M.B., Galina, A., Tedesco, A.C., Conte, C., Miniuk, C.M., Schurt, D.A., Sangaletti, E., Silva, G.O., Gomes, G., Bertagnolli, J.A., Francheschi, L., Cossa, M.L., Moraes, M.R.D., Lima, P.M., Lira, R., Costa, S. (2004) Perfil dos consumidores de plantas medicinais e condimentares do município de Pato Branco (PR). *Horticultura Brasileira*, 22(2):32-335.
- Margna, U., Margna, E., Vainjarv, T. (1989) Influence of nitrogen nutrition on the utilization of L-phenylalanine for building flavonoids in buckwheat seedling tissues. *Journal of Plant Physiology*, 134:697-702.
- Marschner, H. (1995) *Mineral Nutrition of Higher plants*. 2 ed. Londres: Academic Press.
- Martinazzo, A.P., Carlos Filho, L., Rosa, D.A., Teodoro, C.E.S., Tomazelli, K.K. (2013) Perfil de utilização de fitoterápicos nos municípios de Volta Redonda e Barra Mansa /RJ. *Revista Fitos*, 8(2):73-160.
- Martínez, D.L.V., Ureña, L.J.B., Aiz, F.D.M., Martínez, A.L. (2016) *Greenhouse agriculture in Almería. A comprehensive techno-economic analysis*. Espanha:Cajamar, 408p.

- Mattos, A.A., Morais, R.B., Sampaio, J.B., Lacerda, G.A., Ramos, D.M.B., Carreiro, D.L. (2015) Levantamento de plantas medicinais comercializadas por raizeiros do mercado municipal central de Montes Claros, MG. *Revista Brasileira de Pesquisa em Ciências e Saúde*, 2(1):11-17.
- McKay, D.L., Blumberg, J.B. (2006) A review of bioactivity and potential health benefits of chamomile tea (*Matricaria recutita* L.). *Phytotherapy Research*, 20:519-530.
- Mehta, D., Rastogi, P., Kumar, A., Chaudhary, A.K. (2012) Review on pharmacological update: *Calendula officinalis* Linn. *Planta Activa*, 2012(4):195-202.
- Meurer, E.J. (2006) Potássio. In *Nutrição Mineral de Plantas*, ed. M.S. Fernandes, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 281-298. Viçosa.
- Mierziak, J., Kostyn, K., Kulma, A. (2014) Flavonoids as important molecules of plant interactions with environment. *Molecules*, 19:16240-16265.
- Miguel, M.G., Cruz, C., Faleiro, E., Simões, M.T.F., Figueiredo, A.C., Barroso, J.G., Pedro, L.G. (2010) *Foeniculum vulgare* essential oils: chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities. *Natural Products Communications*, 5(2):319-328.
- Mimica-Dukic, N., Kujundzic, S., Sokovic, M., Couladis, M. (2003) Essential oil composition and antifungal activity of *Foeniculum vulgare* Mill. obtained by different distillation conditions. *Phytotherapy Research*, 17:368-371.
- Miraj, S. (2016) The role of medicinal plants in treatment diseases: a systematic review of *Calendula officinalis*. *Der Pharmacia Lettre*, 8(14):92-95.
- Miraj, S., Alesaeidi, S. (2016) A systematic review study of therapeutic effects of *Matricaria recutita* chamomile, *Electronic Physician*, 8(9):3024-3031.

- Moradi, R., Moghaddam, P.R., Mahallati, M.N., Nezhadali, A. (2011) Effects of organic and biological fertilizers on fruit yield and essential oil of sweet fennel (*Foeniculum vulgare* var. dulce). *Spanish Journal of Agricultural Research* 9(2):546-553.
- Morais, L.A.S. (2009) Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. *Horticultura Brasileira*, 24(2):4050-4063.
- Morais, T.C., Vieira, M.C., Heredia, Z., Teixeira, I.R., Ramos, M.B.M. (2006) Produção de biomassa e teor de óleos essenciais da da camomila (*Chamomilla recutita* L. Rauschert) em função das adubações com fósforo e nitrogênio. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 8(4):120-125.
- Morano, G., Amalfitano, C., Sellito, M., Cuciniello, A., Maiello, R., Caruso, G. (2017) Effects of nutritive solution electrical conductivity and plant density n growth, yield and quality of sweet basil grown in gullies by subirrigation. *Advances in Horticultural Sciences*, 31(1):25-30.
- Moreira, P.A., Marchetti, M.E., Vieira, M.C., Novelino, J.O., Gonçalves, M.C., Robaina, A. (2005) Desenvolvimento vegetativo e teor foliar de macronutrientes da calêndula (*Calendula officinalis* L.) adubada com nitrogênio e fósforo. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 8(1):18-23.
- Mota, P.R.D., Boas, L.R.V., Ludwig, F., Fernandes, D.M. (2016) Development and mineral nutrition of gerbera plants as a function of electrical conductivity. *Ornamental Horticulture*, 22(1):37-42.
- Muley, B.P., Khadabadi, S.S., Banarase, N.B. (2009) Phytochemical constituents and pharmacological activities of *Calendula officinalis* Linn (Asteraceae): A review. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 8(5):455-465.
- Nagegowda, D.A. (2010) Plant volatile terpenoid metabolism: Biosynthetic genes, transcriptional regulation and subcellular compartmentation. *FEBS Letters*, 584:2965-2973.

- Nayak, B.S., Raju, S.S., Rao, A.V.C. (2007) Wound healing activity of *Matricaria recutita* L. extract. *Journal of Wound Care*, 16(7):298-302.
- Nelofer, J., Andrabi, K.I., John, R. (2017) *Calendula officinalis* – An important medicinal plant with potential biological properties. *Proceedings of the Indian National Science Academy*, 83(4):769-787.
- Oliveira, A.P., Martins, F.A.C.B. (2018) Desenvolvimento e arranjo produtivo local de plantas medicinais e fitoterápicos em Volta Redonda/RJ. *Revista Ciências da Saúde*, 30(1):159-167.
- Ozbek, H., Ugras, S., Dulger, H., Bayram, I., Tuncer, I., Ozturk, G., Ozturk, A. (2003) Hepatoprotective effect of *Foeniculum vulgare* essential oil. *Fitoterapia*, 74:317-319.
- Ozcan, M.M., Chalchat, J.C., Arslan, D., Ates, A., Unver, A. (2006) Comparative essential oil composition and antifungal effect of bitter fennel (*Foeniculum vulgare* spp. *piperitum*) fruits oil obtained during different vegetation. *Journal of Medicinal Food*, 9(4):552-561.
- Pardossi, A., Incrocci, L., Salas, M.C., Gianquinto, G. (2017) Managing mineral nutrition in soilless culture. In: Orsini, F., Dubbeling, M., Zeeuw, H., Gianquinto, G. *Rooftop urban agriculture. Urban agriculture*. Springer, 394p.
- Parente, L.M.L., Silva, M.S.B., Brito, L.A.B., Lino-Junior, R.S., Paula, J.R., Trevenzol, L.M.F., Zatta, D.T., Paulo, N.M. (2009) Efeito cicatrizante e atividade antibacteriana da *Calendula officinalis* L. cultivada no Brasil. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 11(4):383-391.
- Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V.P., Prasad, S.M. (2015) Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22:4056-4075.

- Paulus, D., Medeiros, S.L.P., Santos, O.S., Manfron, P.A., Paulus, E., Fabrin, E. (2007) Teor e qualidade do óleo essencial de menta (*Mentha arvensis* L.) produzida sob cultivo hidropônico e em solo. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 9(2):80-87.
- Pavela, R. (2018) Essential oils from *Foeniculum vulgare* Miller as a safe environmental insecticide against the aphid *Myzus persicae* Sulzer. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(11):10904-10910.
- Pavela, R., Zakba, M., Bednar, J., Triska, J., Vrchotová, N. (2016) New knowledge for yield, composition and insecticidal activity of essential oils obtained from aerial parts or seeds of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Industrial Crops and Products*, 83:275-282.
- Peters, J.B. (2005) *Wisconsin Procedures for Soil Testing, Plant Analysis and Feed & Forage Analysis: Plant Analysis*. Department of Soil Science, College of Agriculture and Life Sciences, University of Wisconsin-Extension, Madison, WI. <http://uwlabs.soils.wisc.edu/files/procedures/plant_icp.pdf> Acesso em: 20/02/2014
- Pilbeam, D.J. (2011) The utilization of nitrogen by plants: A whole plant perspective. *Annual Plant Reviews*, 42:305-351.
- Prajapati, K., Modi, H.A. (2012) The importance of potassium in plant growth – A review. *Indian Journal of Plant Sciences*, 1(2-3):177-186.
- Prazeres, A.R., Albuquerque, A., Luz, S., Jerónimo, E., Carvalho, F. (2017) Hydroponic system: A promising biotechnology for food production and wastewater treatment. In: Grumezescu, A.M., Holban, A.M. *Food Biosynthesis*, Volume 1. Academic Press, 463p.
- Preethi, K.C., Kuttan, G., Kuttan, R. (2009) Anti-inflammatory activity of flower extract of *Calendula officinalis* Linn. And its possible mechanism of action. *Indian Journal of Experimental Biology*, 47:113-120.

- Putra, A.P., Yuliando, H. (2015) Soilless culture system to support water use efficiency and product quality: A review. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 3:283-288.
- Radulovic, N.S., Blagojevic, P.D. (2010) A note on the volatile secondary metabolites of *Foeniculum vulgare* Mill. (Apiaceae). *Facta Universitatis*, 8(1):25-37.
- Rahmani, N., Taherkhani, T., Zandi, P., Aghdam, A.M. (2012) Effect of regulated deficit irrigation and nitrogen levels on flavonoid content and extract performance of marigold (*Calendula officinalis* L.). *Annals of Biological Research*, 3(6):2624-2630.
- Rao, B.R.R., Rajput, D.K., Patel, R.P. (2015) Improving yield and quality of palmarosa [*Cymbopogon martini* (Roxb.) Wats. Var. Motia Burk.] with sulfur fertilization. *Journal of Plant Nutrition*, 38(3):386-396.
- Rao, B.R., Syamasundar, K.V., Rajput, D.K., Nagaraju, G., Adinayrana, G. (2012) Biodiversity, conservation and cultivation of medicinal plants. *Journal of Pharmacognosy*, 3(2):59-62.
- Ramakrishna, A., Ravishankar, G.A. (2011) Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant Signaling & Behavior*, 6(11):1720-1731.
- Rampariya, V.L., Parmar, S.K., Sheth, N.R., Chandrashekhar, V.M. (2011) Neuroprotective activity of *Matricaria recutita* against fluoride-induced stress in rats. *Pharmaceutical Biology*, 49(7):696-701.
- Rashmi, M., Goyal, M. (2011) Antimicrobial and phytochemical estimation of *Calendula officinalis* against human pathogenic microorganisms. *International Journal of Innovations in Bio-Sciences*, 1:1-10.

- Rather, M.A., Dar, B.A., Sofi, S.N., Bhat, B.A., Qurishi, M.A. (2016) *Foeniculum vulgare*: A comprehensive review of its traditional use, phytochemistry, pharmacology and safety. *Arabian Journal of Chemistry*, 1(1):1-10.
- Robles, J.G. (2013) Antropología e producción hidropónica: Plantas medicinales en el Valle de Chagüitillo. *Revista Universidad y Ciencia*, 7(11):1-5.
- Rocha, D.K., Matos, O., Novo, M.T., Figueiredo, A.C., Delgado, M., Moiteiro, C. (2015) Larvicidal activity against *Aedes aegypti* of *Foeniculum vulgare* essential oils from Portugal and Cape Verde. *Natural Product Communications*, 10(4):677-682.
- Rocha, G.M., Rocha, M.E.N. (2006) Uso popular de plantas medicinais. *Saúde & Ambiente em Revista*, 1(2):76-85.
- Rock, C.D. (2017) Phenylpropanoid metabolism. In: *Encyclopedia of life sciences*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester. 18p.
- Rodrigues, W. (2016) Competitividade e mudança institucional na cadeia produtiva de plantas medicinais no Brasil. *Interações*, 17(2):167-277.
- Rodrigues, P.O., Gonçalves, T.C., Silva, W.B. (2004) Influência de diferentes sistemas de solventes no processo de extração de *Calendula officinalis* L. (Asteraceae). *Acta Farmacobotanica Bonaerense*, 23(1):27-31.
- Roopashree, T.S., Dang, R., Shobha Rani, R.H., Narendra, C. (2008) Antibacterial activity of antipsoriatic herbs: *Cassia tora*, *Momordica charantia* and *Calendula officinalis*. *International Journal of Applied Research in Natural Products* 1(3):20-28.
- Ross, I.A. (2003) Volume 1: Chemical constituents, tradicional and modern medicinal uses. In: *Medicinal Plants of the World*. Human Press, 2 ed, 491p.

- Rouphael, Y., Cardarelli, M., Bassal, A., Leonardi, C., Giuffrida, F., Colla, G. (2012) Vegetable quality as affected by genetic, agronomic and environmental factors. *Journal of food agriculture and environment*, 10(3-4):680-688.
- Rouphael, Y., Cardarelli, M., Lucini, L., Rea, E., Colla, G. (2012a) Nutrient solution concentration affects growth, mineral composition, phenolic acids and flavonoids in leaves of artichoke and cardoon. *HortScience*, 47(10):1424-1429.
- Rout, G.R., Sahoo, S. (2015) Role of iron in plant growth and metabolism. *Reviews in Agricultural Science*, 3:1-4.
- Santos, J.E., Luz, J.M.Q., Furlani, P.R., Martins, S.T., Haber, L.L., Lema, R.M.Q. (2005) Cultivo da alfavaca em sistema hidropônico sob diferentes concentrações de solução nutritiva. *Bioscience Journal*, 21(2):21-24.
- Sartori, L.R., Ferreira, M.S., Perazzo, F.F., Mandalho Lima, L., Carvalho, J.C.T. (2003) Atividade antiinflamatória do granulado de *Calendula officinalis* L e *Matricaria recutita* L. *Revista Brasileira deFramacognosia*, 13:17-19.
- Saxena, S.N., Agarwal, D., John, S., Dubey, P.N., Lal, G. (2018) Analysis of fennel (*Foeniculum vulgare*) essential oil extracted from green leaves, seeds and dry straw. *International Journal of Seed Spices*, 8(1):60-64.
- Serra. A.P., Marchetti, M.E., Vieira, M.C., Robaina, A.D. Robaina, Veronesi, C.O., Nascimento, J.M., Matos, F., Conrad, V.A., Morais, H.S., Guimarães, F.C.N. (2013) Eficiência nutricional do nitrogênio e produção de biomassa em *Calendula officinalis* L. (Asteraceae) em condições de casa de vegetação. *Revista Brasileira de Plantas Medicinai*s, 15(1):78-85.
- Schippmann, U., Leaman, D., Cunningham, A.B. (2006) A comparison of cultivation and wild collection of medicinal and aromatic plants under sustainability aspects. In: Bogers, R.J., Craker, L.E., Lange, D. (Eds.) *Medicinal and aromatic plants*. 1. Netherlands: Springer, 21p.

- Schmidt, S.B., Jensen, P.E., Husted, S. (2016) Manganese deficiency in plants: The impact on photosystem II. *Trends in Plant Science*, 21(7):622-632.
- Shireen, F., Nawaz, M.A., Chen, C., Zhang, Q., Zheng, Z., Sohail, H., Sun, J., Cao, H., Huang, Y., Bie, Z. (2018) Boron: Functions and approaches to enhance its availability in plants for sustainable agriculture. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(7):1-20.
- Silva, T.G.F., Zolnier, S., Grossi, J.S.S., Barbosa, J.G., Moura, C.R.W., Muniz, M.A. (2009) Crescimento do girassol ornamental cultivado em ambiente protegido sob diferentes níveis de condutividade elétrica de fertirrigação. *Revista Ceres*, 56(5):602-610.
- Simões, C.M.O., Schenkel, E.P. (2002) A pesquisa e a produção brasileira de medicamentos a partir de plantas medicinais: a necessária interação da indústria com a academia. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 12(1):35-40.
- Singh, M., Ali, A.A., Qureshi, M.I. (2017) Unraveling the impact of essential mineral nutrients on active constituents of selected medicinal and aromatic plants. In: Naeem, M., Ansari, A., Gill, S. (Eds) *Essential plant nutrients*. Springer, Cham. p.183-209.
- Singh, O., Khanam, Z., Misra, N., Srivastava, M.K. (2011) Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.): An overview. *Pharmacognosy Reviews*, 5(9):82-95.
- Sonneveld, C., Straver, N. (1994) Nutrient Solutions for Vegetables and Flowers Grown in Water or Substrates, 10. ed. Netherlands:Voedingsoplossingen Glastuinbouw. 39 pp.
- Souza, M.A.A., Araujo, O.J.L., Ferreira, M.A., Stark, E.M.L.M., Fernandes, M.S., Sousa, S.R. (2007) Produção de biomassa e óleo essencial de hortelã em hidroponia em função de nitrogênio e fósforo. *Horticultura Brasileira*, 25:41-48.

- Sousa, S.R., Fernandes, M.S. (2006) Nitrogênio. In *Nutrição Mineral de Plantas*, ed. M.S. Fernandes, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 215-252. Viçosa.
- Souza, M.A.A., Araújo, O.J.L., Brito, D.M.C., Fernandes, M.S., Castro, R.N., Souza, S.R. (2014) Chemical composition of the essential oil and nitrogen metabolism of menthol mint under different phosphorus levels. *American Journal of Plant Sciences*, 5:2312-2322.
- Srivastava, J.K., Gupta, S. (2007) Antiproliferative and apoptotic effects of Camomile extract in various human cancer cells. *Journal of Agrochemical and Food Chemistry*, 55(23):9470-9478.
- Srivastava, J.K., Shankar, E., Gupta, S. (2010) Chamomile: A herbal medicine of the past with a bright future (Review). *Molecular Medicine Reports*, 3:895-901.
- Sun, Y., Niu, G., Perez, C., Pemberton, H.B., Altland, J. (2018) Responses of marigold cultivars to saline water irrigation. *Horttechnology*, 28(2):166-171.
- Supanjani, A.R.M.T., Yang, M.S., Han, H., Lee, K.D. (2005) Calcium effects on yield, mineral uptake and terpene components of hydroponic *Chrysanthemum coronarium* L. *Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 1(2):146-151.
- Szakiel, A., Ruszkowski, D., Grudniak, A., Kurek, A., Wolska, k., Doligalska, M., Janiszowska, W. (2008) Antibacterial and antiparasitic activity of oleanolic acid and its glycosides isolated from marigold (*Calendula officinalis*). *Plant Med*, 74:1709-1715.
- Tabatabaie, S.J., Nazari, J. (2007) Influence of nutrient concentrations and NaCl salinity on the growth, photosynthesis and essential oil content of peppermint and lemon verbena. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31:245-353.
- Taiz, L. , Zeiger, E. (2006) *Fisiologia Vegetal*, 3 ed. Artmed.

- Tavarini, S., Pagano, I., Guidi, L., Angelini, L.G. (2015) Impact of nitrogen supply on growth, steviol glycosides and photosynthesis in *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Plant Biosystems*, 150(5): 953-962.
- Treftz, C., Omaye, S.T. (2016) Hydroponics: potential for food augmenting sustainable food production in non-arable regions. *Nutrition and Food Science*, 46(5):672-684.
- Tripathi, H., Suresh, R., Kumar, S., Khan, F. (2017) International trade in medicinal and aromatic plants: A case study of past 18 years. *Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences*, 39(1):1-17.
- Ukiya, M., Akihisa, T., Yasukawa, K., Tokuda, H., Suzuki, T., Kimura, Y. (2006) Anti-inflammatory, anti-tumor promoting, and cytotoxic activities of constituents of marigold (*Calendula officinalis*) flowers. *Journal of Natural Products*, 69(12):1692-1696.
- Urrestarazu, M., Gallegos-Cedillo, V., Ferrón-Carrillo, F., Guil-Guerrero, J.L., Lao, M.T., Álvaro, J.E. (2019) Effects of the electrical conductivity of a soilless culture system on gamma linoleic acid levels in borage seed oil. *PLoS One*, 14(2):1-9.
- Valmorbida, J., Boaro, C.S.F., Scavroni, J., David, E.F.S. (2007) Crescimento de *Mentha piperita* L. cultivada em solução nutritiva com diferentes doses de potássio. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 9(4):27-31.
- Verma, P.K., Raina, R., Agarwal, S., Kour, H. (2018) Phytochemical ingredients and pharmacological potential of *Calendula officinalis* Linn. *Pharmaceutical and Biomedical Research*, 4(2):1-17.
- Verma, P.K., Raina, R., Sultana, M., Singh, M. (2016) Modulatory effect of *Calendula officinalis* on altered antioxidant status and renal parameters in diabetic rats. *Pharmaceutical and Biomedical Research*, 2(4):52-64.

- Verma, P.K., Raina, R., Singh, M., Wazir, V.S., Kumar, P. Kumar (2017) Attenuating potential of *Calendula officinalis* on biochemical and antioxidant parameters in hepatotoxic rats. *Indian Journal of Physiology and Pharmacology*, 61(4):398-410.
- Viegas, I.J.M., Thomaz, M.A.A., Silva, J.F., Conceição, H.E.O., Naiff, A.P.M. (2004) Efeito da omissão de macronutrientes e boro no crescimento, nos sintomas de deficiências nutricionais e na composição mineral de plantas de camucamuzeiro. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26(2):315-319.
- Vranová, E., Coman, D., Gruissem, W. (2013) Network analysis of the MVA and MEP pathways for isoprenoid synthesis. *The Annual Review of Plant Biology*, 64:665-700.
- Yadegari, M. (2016) Phyto-chemical and morphological characters of *Calendula officinalis* as affected by micronutrients. *Journal of Ornamental Plants*, 6(4):271-278.
- Yoshimatsu, K. (2012) Innovative cultivation: Hydroponics of medicinal plants in the closed-type cultivation facilities. *Journal of Tradicional Medicine*, 29:30-34.
- Zadeh, J.B., Kor, N.M., Kor, Z.M. (2014) Chamomile (*Matricaria recutita*) as a valuable medicinal plant. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2(3):823-829.
- Zheljazkov, V.D., Horgan, T., Astatkie, T., Schlegel, V. (2013) Distillation time modifies essential oil yield, composition and antioxidant capacity of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill). *Journal of Oleo Science*, 62(9):665-672.
- Zhu, Q., Zhang, M., Ma, Q. (2012) Copper-based foliar fertilizer and controlled release urea improved soil chemical properties, plant growth and yield of tomato. *Scientia Horticulturae*, 143:109-114.

Zobayed, S.M.A., Afreen, F., Kozai, T. (2005) Necessity and production of medicinal plants under controlled environments. *Environmental Control Biology*, 43(4):243-252.

Zonta, E.P., Machado, A.A., Silveira Junior, P. (1984) Sistema de análises estatísticas para microcomputadores (SANEST). Pelotas: UFP, 151p.

Zuanazzi, J.A.S., Mayorga, P. (2010) Fitoprodutos e desenvolvimento econômico. *Química Nova*, 33(60):1421-1428.