

CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA SOLUÇÃO NUTRITIVA NO
CRESCIMENTO, TEORES NUTRICIONAIS E COMPOSIÇÃO DOS
ÓLEOS ESSENCIAIS EM *Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen

ALEX PAULO MARTINS DO CARMO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
FEVEREIRO – 2022

CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA SOLUÇÃO NUTRITIVA NO
CRESCIMENTO, TEORES NUTRICIONAIS E COMPOSIÇÃO DOS
ÓLEOS ESSENCIAIS EM *Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen

ALEX PAULO MARTINS DO CARMO

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

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Marta Simone Mendonça Freitas

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
FEVEREIRO – 2022

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pelo autor.

C287

Carmo, Alex Paulo Martins do.

Condutividade elétrica da solução nutritiva no crescimento, teores nutricionais e composição dos óleos essenciais em *Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen / Alex Paulo Martins do Carmo. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2022.

59 f.

Bibliografia: 46 - 59.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2022.
Orientadora: Marta Simone Mendonça Freitas.

1. Jambu. 2. Hidroponia. 3. Concentração iônica. 4. Nutrientes minerais. 5. Espilantol. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA SOLUÇÃO NUTRITIVA NO
CRESCIMENTO, TEORES NUTRICIONAIS E COMPOSIÇÃO DOS
ÓLEOS ESSENCIAIS EM *Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen

ALEX PAULO MARTINS DO CARMO


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

Aprovado em 25 de fevereiro de 2022

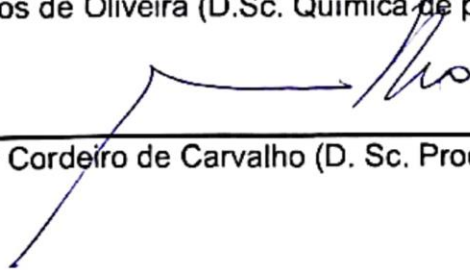
Comissão examinadora:



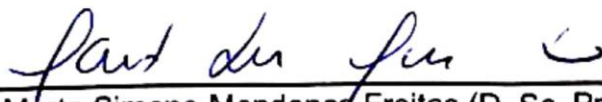
Prof. Dr. Gláucio da Cruz Genúncio (D. Sc. Agronomia) UFMT



Prof^a. Dr^a. Daniela Barros de Oliveira (D.Sc. Química de produtos naturais) UENF



Prof. Dr. Almy Júnior Cordeiro de Carvalho (D. Sc. Produção Vegetal) UENF



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

AGRADECIMENTOS

A Deus pela minha vida, e por me permitir chegar até aqui superando todos os obstáculos ao longo desta caminhada.

À minha mãe Nilma Martins, por todo amor e carinho ao longo de toda minha vida, por todos os ensinamentos que me fizeram ser uma pessoa forte e corajosa como ela. Mãe, você sempre será meu maior exemplo. AMO VOCÊ!

Ao meu pai Raimundo Nonato, por todo amor e incentivo, sempre confiando e acreditando na realização dos meus sonhos. AMO VOCÊ!

A todos meus familiares, em especial aos meus irmãos. AMO VOCÊS!

À minha namorada Vera Queiroz, por todo amor e incentivo, acreditando em mim por muitas vezes mais do que eu próprio, e também pelo apoio em todas as etapas da execução desta pesquisa. AMO VOCÊ!

À minha orientadora, Marta Freitas, por toda dedicação, paciência, confiança durante a execução deste trabalho e por sempre acreditar na minha capacidade.

À Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pela oportunidade de realizar o mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa.

Aos meus amigos do Setor de Nutrição Mineral de Plantas, Liliane Machado, Assistone Costa, Luan Silva, Detony Petri, Júlia Vimercati e Joseph Pereira, pela parceria e amizade de todos, pelo auxílio na condução, coleta do

experimento e análise dos dados, e pelos bons momentos de descontração, bem como pelas palavras de apoio e incentivo.

Aos amigos Lailson Freitas, Marlene Vieira, Henrique Oliveira, Jéssica Martins, Mariana Fernandes, e Diego Peçanha, por todos os bons momentos juntos e pela colaboração ao longo de todo o tempo do curso.

Ao Sr. José Acácio, pela boa companhia e por toda ajuda nas análises do experimento.

Ao professor Carlos Matos pelo apoio nas análises cromatográficas, e à professora Leda Mathias por me permitir usar seu espaço.

Ao professor Carlos Rezende e ao Técnico Bráulio Oliveira pelo apoio nas análises nutricionais.

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para que a realização deste trabalho fosse possível.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo Geral	3
2.2. Objetivos específicos	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1. Jambu	4
3.1.1. Classificação botânica e origem do jambu.....	4
3.1.2. Descrição botânica	5
3.1.3. Importância e usos.....	5
3.2. Cultivo hidropônico.....	7
3.3. Condutividade elétrica das soluções nutritivas.....	8
3.4. Óleos essenciais e nutrientes minerais	10
3.4.1. Macronutrientes.....	11
3.4.1.1. Nitrogênio.....	11
3.4.1.2. Fósforo.....	11
3.4.1.3. Potássio	12
3.4.1.4. Cálcio.....	13

3.4.1.5. <i>Magnésio</i>	14
3.4.1.6. <i>Enxofre</i>	14
3.4.2. Micronutrientes.....	15
4. MATERIAL E MÉTODOS	17
4.1. Localização e delineamento experimental	17
4.2. Preparo do substrato.....	17
4.3. Preparo das sementes e aplicação dos tratamentos	18
4.4. Análises biométricas e quantificação da biomassa	19
4.5. Análises nutricionais.....	20
4.6. Quantificação do rendimento de óleos essenciais	20
4.7. Compostos majoritários dos óleos essenciais.....	21
4.8. Análises estatísticas.....	21
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
5.1. Crescimento das plantas de jambu.	22
5.2. Teores de macro e micronutrientes na parte aérea.....	29
5.3. Rendimento de óleos essenciais na parte aérea	34
5.4. Composição majoritária dos óleos essenciais.....	36
6. RESUMO E CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

RESUMO

CARMO, Alex Paulo Martins do. M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; fevereiro de 2022; Condutividade elétrica da solução nutritiva no crescimento, teores nutricionais e composição dos óleos essenciais em *Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen; Orientadora: Dr^a. Marta Simone Mendonça Freitas.

O jambu é uma hortaliça folhosa cultivada em canteiros, no norte do Brasil, onde é muito apreciada em pratos típicos regionais, com alto valor cultural e econômico para a região. Dentre as substâncias que compõem os óleos essenciais, destacam-se alguns componentes como o espilantol e o fitol, por apresentarem propriedades farmacológicas. Estudos tem demonstrado a eficiência do cultivo hidropônico em relação ao cultivo em solo, dessa hortaliça, porém não existem indicações da solução nutritiva ideal para o cultivo da espécie e a influência da concentração da solução na bioprodução dos óleos essenciais. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da condutividade elétrica da solução nutritiva na produção de Jambu, cultivada em sistema hidropônico com substrato, na região Norte Fluminense. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, no período de julho a setembro de 2021. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC) e os tratamentos consistiram em seis condutividades elétricas: 0,5; 1,0; 2,0; 2,5; 3,0 e 4,0 mS cm⁻¹ da solução nutritiva proposta por Hoagland e Arnon (1950) com 6 repetições. A coleta ocorreu aos 72 dias após a semeadura, foram avaliados massa fresca e seca da parte aérea, massa fresca e seca da raiz,

volume da raiz na proveta, área foliar, número de folhas, número de inflorescências, diâmetro do caule, comprimento do ramo principal e número de ramificações, teores nutricionais na parte aérea, rendimento dos óleos essenciais na parte aérea e composição dos componentes majoritários dos óleos essenciais. Os dados foram submetidos às análises de variância e regressão a 5% de probabilidade no software R. Foi possível concluir que as plantas de jambu obtiveram maior crescimento na condutividade elétrica em torno de $3,5 \text{ mS cm}^{-1}$. Adiante, os teores nutricionais, com exceção do Mg, S, Ca e Cu, foram incrementados até a máxima condutividade elétrica, demonstrando a alta exigência nutricional dessa cultura. O rendimento e a composição majoritária dos óleos essenciais foram influenciados pela variação da condutividade elétrica da solução nutritiva. A porcentagem de área relativa do espilantol decresceu com o aumento da condutividade. Os compostos majoritários dos óleos essenciais foram fitol, espilantol e acmelonato.

ABSTRACT

CARMO, Alex Paulo Martins do. M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; 2022; February; Electrical conductivity of nutrient solution on growth, nutritional content and composition of essential oils in *Acmella oleraceae* (L.) R. K. Jansen; Advisor: D.Sc. Marta Simone Mendonça Freitas.

Jambu is a leafy vegetable grown in flower beds in northern Brazil, where it is much appreciated in typical regional dishes, with high cultural and economic value for the region. Among the substances that make up the essential oils, spilanthol stands out, because it has pharmacological properties. Studies have demonstrated the efficiency of hydroponic cultivation in relation to soil cultivation of this vegetable, but there are no indications of the ideal nutrient solution for the cultivation of the species and the influence of the concentration of the solution on the bioproduction of essential oils. In this context, the objective of this work was to evaluate the influence of the electrical conductivity of the nutrient solution on the production of Jambu, grown in a hydroponic system with substrate, in the North Fluminense region. The experiment was carried out in a greenhouse, at Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, from July to September 2021. The experimental design was in randomized blocks (CBD) and the treatments consisted of six electrical conductivities: 0.5; 1.0; 2.0; 2.5; 3.0 and 4.0 mS cm⁻¹ of the nutrient solution proposed by Hoagland and Arnon (1950) with 6 replications. The collection took place at 72 days after sowing, fresh and dry mass of the shoot, fresh and dry mass of the root, root volume in the beaker, leaf area, number of leaves, number of inflorescences, stem diameter, length of main

branch and number of branches, nutritional contents in the shoot, yield of essential oils in the shoot and composition of the major components of essential oils. The data were submitted to analysis of variance and regression at 5% probability in the R software. It was possible to conclude that the jambu plants expressed greater growth in electrical conductivity around 3.5 mS cm⁻¹. Further on, the nutritional contents, with the exception of Mg, S, Ca and Cu, were increased up to maximum electrical conductivity, demonstrating the high nutritional requirement of this crop. The yield and the majority composition of the essential oils were influenced by the variation of the electrical conductivity of the nutrient solution.

1. INTRODUÇÃO

O jambu (*Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen) é uma hortaliça folhosa da família Asteraceae amplamente cultivada e consumida na região norte do Brasil, principalmente no Pará (Gusmão e Gusmão, 2013). Compõe iguarias típicas regionais como o pato no tucupi, o tacacá e o vatapá, além de saladas e outros pratos muito consumidos no círio de Nazaré e em festas tradicionais da região. Em 2017, durante o período do círio de Nazaré, Homma (2017) estimou o consumo de 240 mil maços desta hortaliça na região.

Historicamente essa espécie tem sido utilizada na medicina popular a partir da infusão de suas folhas e capítulos florais, utilizados no tratamento contra anemia, dor de dente e garganta (Favoreto e Gilbert, 2010; Silva et al., 2020). Pesquisas têm demonstrado que o jambu, por apresentar espilantol em sua composição, têm propriedades farmacológicas como capacidade anti-inflamatória, analgésica, antioxidante, antipirética, inseticida, diurética e afrodisíaca (Prachayasittikul et al., 2013; Dubey et al., 2013; Barbosa et al., 2016).

O jambu possui em sua composição química óleos essenciais com concentrações em torno de 0,7% (Lorenzi e Matos, 2008) sendo que o espilantol é o componente de maior interesse econômico. De acordo com Gusmão e Gusmão (2013) a maior concentração desta substância está nas inflorescências, que é a matéria prima mais utilizada para extração dos óleos essenciais, também havendo concentrações em menores teores nas folhas e ramos.

Normalmente, o jambu é cultivado por pequenos produtores em canteiros, no entanto, essa forma de cultivo, muitas das vezes não proporciona um produto

com qualidade para uso além do consumo *in natura*, dessa forma o cultivo hidropônico dessa hortaliça vem se destacando como alternativa para essa problemática, proporcionando produtos de melhor qualidade e maior uniformidade, características desejáveis no mercado de plantas medicinais e aromáticas (Gusmão e Gusmão, 2013; Silva et al., 2020).

No cultivo hidropônico, especialmente quando protegido, além de apresentar maior eficiência na nutrição das plantas e na utilização da água, reduz a incidência de patógenos. Farias et al. (2010) observaram maior produção de biomassa do jambu cultivado sob sistema hidropônico quando comparado às plantas cultivadas em solo. Da mesma forma, Silva et al. (2020) obtiveram resultados semelhantes para o cultivo hidropônico do jambu em relação ao cultivo em solo, tanto no período seco quanto no período chuvoso, nas condições de Paragominas-PA.

Na produção hidropônica a condutividade elétrica (CE) está diretamente ligada ao teor de sais solúveis na solução nutritiva, fator determinante na produtividade e qualidade do produto final, assim valores inadequados podem afetar o crescimento e desenvolvimento das plantas (Kämpf e Fermino, 2002) e o rendimento de óleos essenciais (Morais, 2009; Silva et al., 2017).

Na literatura existem várias indicações de soluções nutritivas para o cultivo de plantas (Rozane et al., 2007), entretanto, inexitem estudos que apontem a solução nutritiva ideal para o cultivo hidropônico de plantas de jambu. Assim, visto a importância dessa hortaliça que pode ter uso medicinal e a expansão de sua produção sob sistema hidropônico, estudos sobre a concentração iônica ideal para o cultivo hidropônico do jambu fazem-se necessários visando melhor desempenho em sua produção.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar a influência da condutividade elétrica da solução nutritiva na produção de Jambu, cultivada em sistema hidropônico com substrato, na região Norte Fluminense.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar o efeito da condutividade elétrica da solução nutritiva sobre o crescimento de plantas de jambu;
- Determinar a composição mineral das plantas de jambu sob o efeito da condutividade elétrica;
- Quantificar o rendimento e a composição majoritária dos óleos essenciais, em plantas de jambu, em resposta a condutividade elétrica da solução nutritiva.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Jambu

3.1.1. Classificação botânica e origem do jambu.

O jambu é uma hortaliça folhosa identificado na literatura como *Acmella oleracea* (L). R. K. Jansen. Pertence à família Asteraceae (Gusmão e Gusmão, 2013), conhecido como agrião-do-Pará, agrião-do-Norte, agrião-do-Brasil, abecedária, botão-de-ouro, nhambu e erva-maluca (Favoreto e Gilbert, 2010; Homma et al., 2011; Monteiro, 2019). Provavelmente originário do norte do Brasil, é considerado um gênero presente em todas as regiões tropicais, com espécies registradas por toda América, em Madagascar e na Oceania (Silva e Santos, 2011). Encontrada também no continente asiático e na África onde é usada na culinária e na fitoterapia (Gusmão e Gusmão, 2013).

É uma planta tipicamente tropical que tem o ciclo entre 45-70 dias na região Norte e em torno de 60 dias em Campos dos Goytacazes na região Norte Fluminense sob cultivo hidropônico (Peçanha et al., 2019). Requer para altos índices de produtividade clima quente e úmido, com temperatura média anual superior a 25,9°C e umidade relativa do ar, em torno de 80% (Gusmão et al., 2005; Borges et al., 2010).

3.1.2. Descrição botânica

É uma planta herbácea anual do tipo C3, perene, com altura de 20-40 cm, semiereta ou quase rasteira, com caule cilíndrico, carnosos e de ramos decumbentes (Favoreto e Gilbert, 2010; Gusmão e Gusmão, 2013).

As folhas são compostas, opostas, membranáceas, pecioladas, alongadas, ovais ou triangulares, com dimensões médias de 9 cm de comprimento e 7 cm de largura, pecíolos de 20-60 mm de comprimento, achatados, com sulcos sobre a superfície, ligeiramente alados e pouco pilosos, a coloração varia do verde intenso ao verde pálido, podendo apresentar uma tonalidade verde arroxeadas em regiões próximas ao pecíolo (Favoreto e Gilbert, 2010; Gusmão e Gusmão, 2013).

As flores são hermafroditas, pequenas com até 3 mm de comprimento, de corola amarela sendo acompanhada de pálea e brácteas, com áreas púrpuras distintas na pálea do cálice, bem visível em capítulos imaturos, dispostas em capítulos globosos terminais que medem cerca de 1,0 cm de diâmetro (Favoreto e Gilbert, 2010; Gusmão e Gusmão, 2013).

O fruto é um aquênio pequeno, com 2,0-2,5 mm de comprimento e 0,9-1,1 mm de largura, com pericarpo cinza-escuro, quase preto, parcialmente envolvido por páleas e brácteas já secas (Favoreto e Gilbert, 2010; Gusmão e Gusmão, 2013).

A raiz é axial apresentando intenso enraizamento secundário, e haste do tipo rastejante ramificada em dicásio, podendo ocorrer em tricásio, atingindo até 20 cm de comprimento no solo e 30 cm em cultivo hidropônico (Albuquerque, 1989; Villachica et al., 1996; Gusmão e Gusmão, 2013).

3.1.3. Importância e usos

O jambu é amplamente consumido na região norte, sobretudo no estado do Pará, onde é comumente utilizado na culinária em pratos típicos da região, destacando-se com grande consumo o vatapá, tacacá e pato no tucupi. Mas recentemente com sua popularização começou a ser usado em iguarias como o arroz e a pizza paraense, quitutes como o pastel de jambu, consumo *in natura* em saladas, bebidas alcoólicas, entre outros (Homma et al., 2011).

Além do uso na culinária, historicamente essa espécie tem sido utilizada na medicina popular a partir da infusão de suas folhas e capítulos florais, utilizados no tratamento contra anemia, dor de dente e garganta, sendo sugerido como antibiótico e anestésico (Favoreto e Gilbert, 2010; Silva et al., 2020).

Além do uso a partir do conhecimento popular, o jambu tem atraído o interesse entre pesquisadores nacionais e empresas multinacionais, pois pesquisas têm mostrado que o jambu, devido à presença do espilantol (Figura 1), classificada quimicamente como uma alquilamida cuja nomenclatura é N-isobutil-2(E),6(Z),8(E)-decatienamida, pode apresentar algumas propriedades farmacológicas, como capacidade anti-inflamatória, analgésica, antioxidante, antipirética, antibacteriana, inseticida, diurética e afrodisíaca (Prachayasittikul et al., 2013; Dubey et al., 2013; Barbosa et al., 2016; Almeida et al., 2020; Lemos et al., 2021).

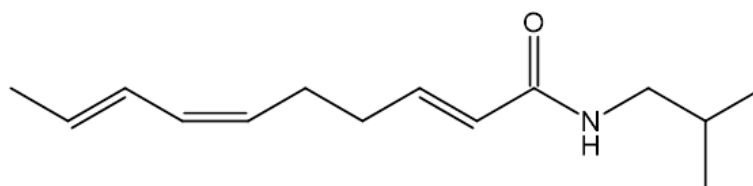


Figura 1. Estrutura química do espilantol.

Borges et al. (2015) constataram que as plantas de jambu possuem elevados teores de flavonoides e vitamina C em suas folhas. Segundo Borges (2012) por apresentarem função antioxidante tem despertado o interesse de empresas de cosméticos.

Na região norte, a maior parte da produção de jambu é realizada pela agricultura familiar, a qual é responsável pelo abastecimento do comércio local. A espécie ocupa uma pequena parcela das áreas de cultivo. A forma de cultivo caracteriza-se por ser em canteiros, podendo ser conduzido de forma orgânica, convencional ou em hidroponia (Gusmão e Gusmão, 2013).

3.2. Cultivo hidropônico

O termo hidroponia refere-se ao cultivo de plantas na água, e implicitamente ao uso de soluções nutritivas para produção de plantas sem necessidade do uso de solo, em que as raízes recebem os nutrientes essenciais ao seu desenvolvimento e crescimento de forma balanceada, podendo reduzir em até 70% o consumo de água quando comparado ao cultivo tradicional (Douglas, 1987; Santos et al., 2013), além de reduzir a incidência de pragas e doenças e consequentemente a utilização de agrotóxicos, melhorando o aproveitamento de áreas e permitindo a produção em menor espaço (Zobayed et al., 2005; Prazeres et al., 2017).

Com o cultivo hidropônico é possível reduzir a dependência das condições meteorológicas e da qualidade dos solos, possibilitando a produção durante o ano todo, o que não é possível no cultivo tradicional devido a sazonalidade das culturas (Gualberto et al., 2009; Dores, 2012).

Alguns trabalhos apontam que o cultivo sob sistema hidropônico quando comparado ao cultivo tradicional foi responsável pelo aumento das concentrações dos princípios ativos, como óleos essenciais e flavonoides, além de proporcionar um material mais uniforme (Canter et al., 2005; Paulus et al., 2007; Giurgiu et al., 2014). De acordo com Souza et al. (2007) a Hidroponia quando empregada nos estudos de nutrição de plantas medicinais, permite estabelecer com maior segurança a importância que determinado nutriente assume na produção de biomassa ou de metabólitos.

Pelas vantagens citadas acima alguns produtores que cultivam no modo tradicional estão adotando a técnica da hidroponia na produção de hortaliças e de plantas medicinais e aromáticas (Cometti et al., 2008; Yoshimatsu, 2012). De acordo com Costa e Junqueira (2000), a técnica vem se tornando uma alternativa promissora para a diversificação do agronegócio, pois gera um produto diferenciado, de boa qualidade e de grande aceitação no mercado.

Existem diversos tipos de sistemas hidropônicos, dentre eles o NFT (Nutrient Film Technique), denominada técnica do fluxo laminar de nutrientes; DFT (Deep Film Technique), denominada floating; em substrato e aeroponia, sistema em que as raízes das plantas ficam suspensas recebendo água e nutrientes por atomizadores (Furlani et al., 2009a; Potrich et al., 2012).

Na hidroponia em substrato, as plantas são cultivadas em vasos ou em outros recipientes com substrato. O substrato deve ser inerte ou pouco ativo quimicamente como areia lavada, cascalho e argila expandida para dar sustentação a planta, sendo os nutrientes fornecidos através da solução por capilaridade, gotejamento, inundação, dentre outros (Furlani et al., 2009b; Egídio e Levy, 2011; Viana et al., 2018). Alguns trabalhos com Jambu foram conduzidos em hidroponia com substrato como os de Peçanha et al. (2019) na região Norte Fluminense e o de Trindade et al. (2020) na região nordeste do estado do Pará, ambos com a solução de Hoagland e Arnon (1950).

O jambu hidropônico apresenta uma boa demanda durante todo o ano, sendo esta aumentada em períodos festivos, concorrendo diretamente com a cultura da alface hidropônica no estado do Pará, que tem o maior destaque em relação a procura (Homma et al., 2011; Silva et al., 2020).

3.3. Condutividade elétrica das soluções nutritivas

Em hidroponia, a água e os nutrientes minerais são fornecidos às plantas pela solução nutritiva, sendo a concentração dos nutrientes medida indiretamente pela condutividade elétrica da solução (Zobayed et al., 2005) onde a soma das CE estimadas de cada sal que compõe a solução nutritiva pode ser estimada com boa aproximação com a CE medida por meio de condutímetro (Cometti et al., 2018).

A condutividade elétrica é a medida que determina a quantidade total de sais dissolvidos em água, indicando a maior/menor facilidade com que a corrente elétrica atravessa uma solução, esta capacidade da solução nutritiva fornece uma ideia da concentração de nutrientes, ou seja, quanto maior a condutividade elétrica maior será a concentração de nutrientes (Carvalho Maia et al., 2022; Sousa Júnior e Silva, 2022).

A solução nutritiva deve conter todos os macros e micronutrientes essenciais dissolvidos em água, em concentração e proporção balanceada, para atender às necessidades da espécie cultivada (Bezerra Neto e Barreto, 2012). Diversas soluções nutritivas já foram propostas na literatura havendo, em alguns casos, diferenças marcantes com relação às concentrações dos nutrientes (Santos et al., 2016). As primeiras formulações foram desenvolvidas por Knop, na

Alemanha, as quais incluíam somente KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, KH_2PO_4 , MgSO_4 e um sal de ferro. Naquela época acreditava-se que tal solução continha todos os nutrientes exigidos pelas plantas (Taiz e Zeiger, 2009).

Nos dias de hoje, as formulações de solução nutritiva usam como referência a solução de Hoagland e Arnon (1950), cujo teores de macro e micronutrientes muito se assemelham as que são atualmente recomendadas. A elevada concentração de sais observada na solução de Hoagland e Arnon (1950) se perpetuou e pode ser observada na maioria das soluções em uso na atualidade, alcançando níveis de condutividades elétricas (CE) maiores do que $2,0 \text{ dS m}^{-1}$. Nas condições de alta temperatura, umidade e luminosidade elevada, como as do estado do Rio de Janeiro, as concentrações salinas elevadas das soluções podem provocar distúrbios fisiológicos das plantas (Cometti et al., 2008).

Nesse sentido, Vasconcelos et al. (2014) destacam que além de conhecer o substrato e a espécie, o conhecimento sobre a solução nutritiva e suas condições ideais, como a condutividade elétrica, são essenciais para o sucesso do cultivo hidropônico, pois o excesso da concentração salina na solução pode desequilibrar a absorção de água pela planta.

Nos sistemas hidropônicos, a absorção e o acúmulo de nutrientes pelas plantas, dependem entre outros fatores da concentração e do balanceamento da solução, cujos teores são determinados indiretamente pela condutividade elétrica (CE), assim os valores são proporcionais à concentração dos vários íons responsáveis pelo potencial osmótico da solução (Gondim et al., 2010; Vasconcelos et al., 2014).

É crescente a preocupação em reduzir a concentração das soluções nutritivas pelos motivos citados acima e também pela redução dos custos de produção por meio do aumento da eficiência do uso do nutriente. Cometti et al., (2008) avaliando o crescimento da alface (*Lactuca sativa* L.) cv "Vera" em um sistema hidropônico NFT com diferentes concentrações da solução nutritiva de Furlani (1997), no estado do Rio de Janeiro, concluíram que a produção de massa seca, parte comercial, em solução nutritiva a 50% da concentração original e condutividade elétrica em torno de $0,98 \text{ dS m}^{-1}$, foi semelhante à solução a 100% da força iônica, permitindo uma economia de pelo menos 50% no custo da solução nutritiva básica, reduzindo-se a solução inicial para $1,00 \text{ dS m}^{-1}$, sem comprometer a produtividade.

Testando valores de condutividades elétricas crescentes no cultivo do morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch), com valores entre 0,9 e 3,8 dS m⁻¹, Andriolo et al. (2009) verificaram que a diminuição da CE maximizou a produtividade de frutas e o desenvolvimento da planta, enquanto o aumento proporcionou maior acidez titulável e teor de sólidos solúveis totais. A mesma característica foi observada por Oliveira et al. (2018) avaliando a influência de condutividades crescentes na qualidade de frutos em cultivares de maxixeiro (*Cucumis anguria* L.), em que maiores condutividades proporcionaram maior razão entre sólidos solúveis totais e acidez titulável nas 4 cultivares avaliadas.

3.4. Óleos essenciais e nutrientes minerais

Os óleos essenciais (essências) são misturas complexas que se extrai de flores, folhas, cascas, rizomas e frutos, por metodologias específicas, de muitas plantas medicinais e aromáticas (Figueiredo et al., 2014). A composição dos óleos essenciais são majoritariamente terpenos ou seus derivados, principalmente mono e sesquiterpenos e fenilpropanoides, metabólitos que conferem suas características organolépticas (Bizzo et al., 2009; Felipe e Bicas, 2017).

O Brasil está dentre os quatro maiores produtores de óleos essenciais do mundo, ao lado da Índia, China e Indonésia (Silva et al., 2017). Diversos fatores bióticos e abióticos influenciam na composição e rendimento desses óleos, dentre eles, variações genéticas, fisiológicas e edafoclimáticas, sendo a nutrição mineral um importante fator, no entanto, apesar de algumas tendências serem reconhecidas, não é possível estabelecer regras sólidas e estáveis sobre a ação dos nutrientes minerais nessa biossíntese devido a grande especificidade da atuação de cada nutriente no metabolismo secundário das diferentes espécies vegetais (Dobson e Bernays, 1994; Gobbo-Neto e Lopes, 2007; El Gendy et al., 2015; Chrysargyris et al., 2017ab). De acordo com Lima et al. (2003) em situações de estresse nutricional, as plantas podem modular rotas biossintéticas que permitirão sustentar-se no ambiente adverso. Por fazer parte do metabolismo secundário, a produção de terpenos e conseqüentemente de óleos essenciais tende a se elevar nessas condições como mecanismo de defesa vegetal.

Para que um nutriente seja considerado essencial, este deve estar envolvido no metabolismo da planta, não pode ser substituído por outro e em sua

ausência a planta não completa seu ciclo (Arnon e Stout, 1939). Nesse sentido, 14 elementos químicos foram classificados como nutrientes minerais essenciais divididos em dois grupos, macronutrientes e micronutrientes, sendo essa classificação de acordo com a concentração requerida pelos vegetais (Hawkesford et al., 2012). Os macronutrientes são: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre. Os micronutrientes são: ferro, zinco, manganês, cobre, cloro, boro, molibdênio e níquel.

3.4.1. Macronutrientes

3.4.1.1. Nitrogênio

O Nitrogênio (N) é um dos nutrientes absorvidos em maior concentração pelas plantas e apresenta resposta positiva sobre a produção de biomassa (Souza et al., 2007). Absorvido preferencialmente na forma de nitrato ou amônio (Hawkesford et al., 2012), este elemento desempenha um papel vital no crescimento e desenvolvimento das plantas, como constituinte essencial de proteínas, ácidos nucleicos, clorofila e enzimas (Tripathi et al., 2017). A resposta das plantas a diferentes níveis de nitrogênio nem sempre é previsível no que diz respeito à produção de metabólitos secundários (Souza et al., 2007).

Estudos envolvendo respostas nutricionais em plantas medicinais demonstram a importância do N na produção e qualidade de óleos essenciais, como os trabalhos de Sarab et al. (2008), Vilanova et al. (2018) e Guerra et al. (2020). Esses autores verificaram incremento no teor e rendimento de óleos essenciais em função das maiores doses de N aplicadas em plantas de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.). A mesma característica foi observada por Said-Al Ahl et al. (2009) em plantas de orégano (*Origanum vulgare* L.). Skubij e Dzida, (2019) encontraram maior teor de carvacrol na menor dose de nitrogênio aplicada em plantas de satureja (*Satureja hortensis* L.).

3.4.1.2. Fósforo

O fósforo (P) é um elemento imprescindível no desenvolvimento das plantas (Souza et al., 2007) fazendo parte de estruturas químicas importantes,

como o DNA e o RNA, bem como de moléculas intermediárias do metabolismo secundário, estando também relacionado com a disponibilidade de energia química (Maia, 1998).

Cockson et al. (2020) investigaram a influência de doses de fósforo na concentração de terpenos em plantas de maconha (*Cannabis sativa* L.) e observaram aumento na concentração de Geraniol nas menores doses aplicadas, enquanto as concentrações de α -Pineno, Mirceno, Limoneno, Eucaliptol e β -cariofileno não foram influenciadas significativamente. David et al. (2006), estudando o rendimento e composição de óleos essenciais em plantas de Menta (*Mentha pulegium* L.) em função de níveis de P e 3 colheitas, verificaram até a primeira colheita, maiores teores de mentona e mentofurano nos maiores níveis do elemento (23 mg L^{-1}), e nas menores doses de P ($7,75 \text{ mg L}^{-1}$), aumento no teor de óleos essenciais e nos teores dos compostos majoritários como mentol, acetato de mentila e pulegona.

David et al. (2007) constataram maior rendimento de óleos essenciais em plantas de *Mentha piperita* L. sob cultivo hidropônico com decréscimo em 50% da concentração de P a partir da solução nº 2 de Hoagland e Arnon (1950). Ramos et al. (2005) na mesma cultura, não observaram influência de doses do elemento no teor de óleos essenciais.

Peçanha et al. (2021) verificaram efeito significativo das doses de P no rendimento de óleos essenciais em plantas de lavanda (*Lavandula* spp.) com maior valor estimado na dose de 77 mg dm^3 do nutriente.

3.4.1.3. Potássio

O potássio (K) é o nutriente mais exigido pelas culturas (Zörb et al., 2014). Esse elemento está envolvido na ativação enzimática, fotossíntese, síntese de proteínas, extensão celular, osmorregulação, produção de cloroplastos, transporte de açúcares e aminoácidos e equilíbrio de cátions e ânions (Lester, 2005).

Peçanha (2017) observou redução significativa na porcentagem relativa de espilantol, na cultura do jambu, em cultivo hidropônico sob omissão de potássio. Said-Al Ahl e Hussein (2010), avaliando regimes de umidade com água doce e salina e adubação com humato de potássio em plantas de orégano, observaram incremento no rendimento de óleos essenciais com a presença da

adubação potássica e alteração na composição química do óleo. Nesse trabalho foram identificados 20 compostos nos óleos, através de análise cromatográfica, o carvacrol foi o composto majoritário, seguido por *p*-cimeno e *y*-terpineno. Khalid (2013) observou incremento nos teores de óleos essenciais em função de doses crescentes de K em calêndula (*Calendula officinalis* L.).

Avaliando o teor de óleos essenciais em função de doses de potássio no híbrido *Mentha x gracilis* Sole, sob cultivo hidropônico, Garlet et al. (2007) verificaram maior teor de óleo na maior dose de K estudada (690 mg L⁻¹), no entanto, na mesma concentração o rendimento por planta e a concentração de linalol foram menores. Hashemabadi et al. (2015) constataram incremento no conteúdo de óleos essenciais nas flores de calêndula sob a maior dose de fertilização com sulfato de potássio.

Freitas et al. (2020), avaliando a aplicação de fontes (KCl e K₂SO₄) e doses (50, 100, 150 e 200 mg kg⁻¹) de K em plantas de coentro (*Coriandrum sativum* L.), observaram influência da aplicação de sulfato de potássio no rendimento de óleos essenciais nos frutos e na concentração de linalol. As maiores concentrações foram obtidas em 153,8 mg kg⁻¹ (0,15 g) e 131,3 mg kg⁻¹ (0,43 mg), respectivamente, enquanto a aplicação de cloreto de potássio influenciou de forma linear decrescente a concentração de linalol conforme aumento das doses.

3.4.1.4. Cálcio

O cálcio (Ca) é um nutriente que contribui no crescimento e desenvolvimento vegetal, atuando na melhoria da estrutura da parede celular, incrementando a produção de frutos, além de estimular o crescimento radicular (Karley e White, 2009; Kumar et al., 2017). Alguns trabalhos demonstram a importância do Ca na bioprodução de óleos essenciais, tanto no rendimento, quanto na modificação do perfil químico.

Fazio (2007), avaliando o rendimento de óleos essenciais em função de níveis de Cálcio a partir da solução nº 2 descrita por Hoagland e Arnon (1950) em *Mentha piperita* L., observou maiores valores na dose padrão da solução completa, e nas menores doses de Ca, diminuição no rendimento de óleos essenciais. Na mesma cultura, Fazio (2011) observou que a variação de cálcio na

solução nutritiva também influenciou no rendimento e composição química dos óleos essenciais.

Parreiras (2017) observou modificação no perfil químico dos óleos essenciais sob pulverização com cloreto de cálcio em diferentes concentrações em plantas de Atemoia (*Annona x atemoya*), onde das 25 substâncias encontradas, 14 diferiram em função da concentração de CaCl_2 . Danh et al. (2011) não observaram influência de doses de Ca aplicado na forma de CaCO_3 no rendimento e composição química dos óleos essenciais em plantas de vetiver (*Chrysopogon zizanioides* L.).

3.4.1.5. Magnésio

O Magnésio (Mg) é um dos macronutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento vegetal (Cakmak e Yazici, 2010; Gransee e Fühns, 2013) desempenhando várias funções fisiológicas nas células vegetais (Chaudhry et al., 2021). Participa de forma direta do processo de fotossíntese como componente da molécula de clorofila, além de atuar na estabilidade da membrana (Marschner, 2012; Ceylan et al., 2016). Além disso, o Mg tem várias outras funções, atuando também como cofator e modulador alostérico para mais de 300 enzimas, incluindo carboxilases, fosfatases, proteínas quinases, RNA polimerases e ATPases (Hawkesford et al., 2012).

Fávaro et al. (2011) observaram influência do teor de magnésio no rendimento de óleos essenciais em mudas de eucalipto-limão (*Corymbia citriodora* (Hook.) K. D. Hill e L.A.S. Johnson). Szöke et al. (2004) verificaram correlação positiva entre o aumento da concentração de Mg na solução nutritiva e os teores de óleos essenciais em plantas de camomila (*Matricaria recutita* L.).

3.4.1.6. Enxofre

O enxofre (S) faz parte de 0,1% a 0,5% da massa seca das plantas, atuando como constituinte dos aminoácidos cisteína e metionina e, portanto, de proteínas, sendo ambos aminoácidos precursores de outros compostos contendo S, como coenzimas e produtos vegetais secundários, estando também envolvido no acúmulo de óleos (Sfredo e Lantmann, 2007; Hawkesford et al., 2012).

Peçanha (2017) observou maior porcentagem relativa de espilantol nos óleos essenciais de jambu sob omissão de enxofre em relação a solução nutritiva completa. Walia e Kumar (2020) verificaram incremento no rendimento de óleos essenciais em função da fertilização com enxofre em plantas de calêndula selvagem (*Tagetes minuta* L.).

Zahedifar e Najafian (2015) em plantas de satureja observaram variação dos constituintes dos óleos essenciais em função de doses de enxofre, onde as maiores doses incrementaram os teores de carvacrol, enquanto as doses intermediárias foram mais adequadas para os conteúdos de α -tujeno, α -Pineno, mirceno e α -terpineno, com incremento de 43%, 21%, 13% e 27%, respectivamente em relação ao controle. Seo et al. (2009) verificaram que a produção de lactonas sesquiterpênicas, na cultura da alface, foi influenciada significativamente pelo fornecimento de S.

3.4.2. Micronutrientes

Existem poucas informações disponíveis sobre o impacto de micronutrientes na produção de metabólitos secundários em plantas. Apesar disso, alguns trabalhos mostram a interação destes elementos com a produção e composição de óleos essenciais em espécies vegetais.

Em rizomas de açafrão-da-terra (*Curcuma longa* L.) foi observada redução significativa na produção de óleos essenciais sob deficiência de boro (Dixit et al., 2002). Já em plantas de milefólio (*Achillea millefolium* L.), Alvarenga et al. (2015), sob as mesmas condições, não constataram diferença em relação ao tratamento completo. Fávaro et al. (2011) observaram que os teores de B influenciaram no rendimento de óleos essenciais de eucalipto-limão.

Avaliando o efeito da toxicidade de B em hortelã e capim-limão (*Cymbopogon flexuosus* L.), Choudhary et al. (2020) constataram que um leve estresse de B ($2,5 \text{ mg kg}^{-1}$) aumentou a produção de óleos essenciais em ambas as espécies. Os maiores conteúdos de óleos essenciais ocorreram na menor dose de aplicada, e conforme aumento das doses ocorreu diminuição no conteúdo dos óleos. Em duas espécies de arnica (*Arnica montana* L. e *Arnica chamissonis* Less.), Sugier et al. (2017) verificaram relação das doses de B aplicadas com o conteúdo e qualidade dos óleos essenciais.

Avaliando o efeito da aplicação foliar de Boro, Zinco e Molibdênio em plantas de alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.), Hanafy et al. (2009) verificaram influência das concentrações destes elementos no rendimento de óleos essenciais.

Farzadfar et al. (2017), avaliando os efeitos da interação entre magnésio e manganês sobre óleos essenciais em plantas de tanaceto (*Tanacetum parthenium* L.), observaram aumento de monoterpenos em função da deficiência de Mg e baixa concentração de Mn. Altos teores de Mg e baixo suprimento de Mn levou a uma mudança acentuada na produção de monoterpenos para sesquiterpenos.

Zahedifar e Najafian (2015) observaram modificação do perfil químico dos óleos essenciais em plantas de satureja em função de doses de Fe. Rajab et al. (2008) observaram que o excesso de ferro diminuiu o rendimento e influenciou na qualidade dos óleos essenciais em plantas de manjeriço.

Zheljazkov et al. (2006) observaram diminuição no teor de óleos essenciais em plantas de endro (*Anethum graveolens* L.) em função da maior dose aplicada de cobre (150 mg L^{-1}) em relação ao controle. Nabi et al. (2020), avaliando concentrações de níquel em hortelã, verificaram modificação no perfil químico dos óleos essenciais com elevação nos teores de mentona e acetato de mentila na menor dose aplicada.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Localização e delineamento experimental

O experimento foi realizado em casa de vegetação na Unidade de Apoio à Pesquisa, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, na cidade de Campos dos Goytacazes (21°45'S e 41°17'W, 11 metros de altitude), no período de 29 junho a 10 de setembro de 2021. Nesse intervalo de tempo, as temperaturas variaram entre 11°C e 35°C no interior da casa vegetação (HOBO® pro v2 Data Logger).

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC), com seis tratamentos constituídos por condutividades elétricas crescentes da solução nutritiva (0,5; 1,0; 2,0; 2,5; 3,0 e 4,0 mS cm⁻¹) com seis repetições. A unidade experimental foi composta por dois vasos de plástico, contendo 6 dm³ de substrato e duas plantas por vaso.

4.2. Preparo do substrato

O substrato utilizado foi areia, previamente lavada com água corrente e posteriormente com água deionizada. Ao final da lavagem, o substrato apresentou as seguintes características químicas: pH: 6,9; P_(Mehlich-1): 7 mg dm⁻³; K: 0,3 mmol_c dm⁻³; Ca: 4 mmol_c dm⁻³; Mg: 2,6 mmol_c dm⁻³; Al: 0,0 mmol_c dm⁻³; H+Al: 6,9 mmol_c dm⁻³; Na: 0,4 mmol_c dm⁻³; C: 2,3 g dm⁻³; MO: 3,97 g dm⁻³; Fe: 138,09 mg dm⁻³; Cu: 0,1 mg dm⁻³; Zn: 2,86 mg dm⁻³; Mn: 37,31 mg dm⁻³; S-SO₄: 5 mg dm⁻³ e B: 0,16 mg dm⁻³.

4.3. Preparo das sementes e aplicação dos tratamentos

As sementes de Jambu da variedade Jamburana, oriundas do estado do Pará, cedidas por um produtor, foram previamente reproduzidas em condições ideais de nutrição em areia com utilização da solução nutritiva proposta por Hoagland e Arnon (1950) até o fim do ciclo reprodutivo, onde posteriormente as sementes oriundas dessa reprodução foram utilizadas no experimento.

As sementes foram germinadas em espuma fenólica contendo aproximadamente 5 sementes por célula, onde ao 13^o dia após a semeadura (DAS), quando as plantas apresentaram as primeiras folhas verdadeiras, estas receberam solução nutritiva com 0,5 mS cm⁻¹ de condutividade até o 20^o DAS. Nesse momento foi realizado o transplântio definitivo para os vasos em que foi iniciada a aplicação dos tratamentos. A condutividade elétrica nos tratamentos foi aumentada de forma gradual a cada 4 dias até o momento em que todas passaram a receber a condutividade estabelecida para cada tratamento ao 36^o DAS.

Os vasos com areia foram mantidos em casa de vegetação, e foram irrigados diariamente com solução nutritiva com formulações e concentrações conforme os tratamentos (Tabela 1), de modo a manter o substrato úmido, durante o período de condução do experimento.

Os sais utilizados para o preparo das soluções estoques foram: nitrato de potássio (2 mol L⁻¹), nitrato de cálcio (2 mol L⁻¹), fosfato de amônio (1 mol L⁻¹), sulfato de magnésio (1 mol L⁻¹), sulfato de amônio (1 mol L⁻¹), ferro EDTA (25 g L⁻¹), sulfato de zinco (578 mg L⁻¹), sulfato de cobre (250 mg L⁻¹), sulfato de manganês (845 mg L⁻¹), cloreto de potássio (3728 mg L⁻¹), molibdato de amônio (88 mg L⁻¹) e ácido bórico (25 mM L⁻¹).

Tabela 1. Composição das soluções nutritivas dos tratamentos a partir da solução proposta por Hoagland e Arnon (1950)

Nutrientes	TRATAMENTOS					
	0,5 mS cm ⁻¹	1,0 mS cm ⁻¹	2,0 mS cm ⁻¹	2,5 mS cm ⁻¹	3,0 mS cm ⁻¹	4,0 mS cm ⁻¹
K ⁺ (mM)	1,25	2,5	5	6,25	7,5	10
NH ₄ ⁺ (mM)	0,5	1	2	2,5	3	4
Ca ²⁺ (mM)	1	2	4	5	6	8
Mg ²⁺ (mM)	0,5	1	2	2,5	3	4
NO ₃ ⁻ (mM)	3,5	7	14	17,5	21	28
P (mM)	0,25	0,5	1	1,25	1,5	2
SO ₄ ²⁻ (mM)	0,625	1,25	2,5	3,125	3,75	5
Fe (μM)	1	2	4	5	6	8
Mn (μM)	1,25	2,5	5	6,25	7,5	10
Cu (μM)	0,25	0,5	1	1,25	1,5	2
Zn (μM)	0,5	1	2	2,5	3	4
B (μM)	6,25	12,5	25	31,25	37,5	50
Mo (μM)	0,125	0,25	0,5	0,625	0,75	1

4.4. Análises biométricas e quantificação da biomassa

No 72° DAS, iniciou-se a coleta, no momento em que as plantas atingiram o tamanho comercial, ou seja, quando todas as plantas estavam na fase reprodutiva (Gusmão e Gusmão, 2013). A coleta foi realizada entre 07:00h e 09:00h da manhã, as plantas foram separadas em parte aérea e raízes para a realização das análises.

Após a coleta, foram realizadas as seguintes análises biométricas: Comprimento do Ramo Principal (CRP), Diâmetro do Caule (DC), Número de Ramificações (NR), Número de Inflorescências (NI), Número de Folhas (NF) e Área Foliar (AF). A área foliar foi medida por meio do medidor de bancada LI-3100 (LICOR, Lincoln, NE, USA), obtendo o resultado em cm² e o diâmetro do caule foi aferido com uso de paquímetro digital com resultados expressos em mm. Para as raízes foi determinado o volume na proveta, utilizando proveta graduada em mL com volume de 2 L.

Foi determinada a massa da Matéria Fresca da Parte Aérea (MFPA) e Raiz (MFR) de cada planta com uso de balança analítica (precisão – 0,001 g). Na sequência, foram acondicionadas individualmente em sacos de papel, identificadas, e submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar à

40°C (Borges et al., 2014a) até atingirem peso constante. Após secagem, foram novamente pesados para a obtenção da massa da matéria seca da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR).

Na sequência os materiais da parte aérea de cada unidade experimental foram misturados de forma homogênea, triturados em moinho de facas do tipo Wiley e armazenados em frascos hermeticamente fechados para posterior análise do teor dos nutrientes minerais, dos óleos essenciais e da composição dos óleos.

4.5. Análises nutricionais

Para a quantificação dos teores de nitrogênio amoniacal (N), as amostras foram submetidas à digestão sulfúrica e no extrato foram determinados os teores de N pelo método de Nessler (Jackson, 1965). Os demais nutrientes, Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Enxofre (S), Boro (B), Ferro (Fe), Zinco (Zn), Manganês (Mn), Cobre (Cu) e Níquel (Ni), foram submetidos à digestão com HNO₃ concentrado e H₂O₂ em sistema de digestão aberta e quantificados em plasma (ICPE-9000) da marca Shimadzu® (Peters, 2005).

4.6. Quantificação do rendimento de óleos essenciais

Os óleos essenciais da parte aérea (folhas, inflorescência e os ramos), seca e moída, foram extraídos por meio de hidrodestilação utilizando o aparelho de Clevenger, por duas horas. Foi utilizada 10 g do material, adicionado ao balão de 2 L do aparelho, contendo 1 L de água deionizada. O tempo de extração foi de 90 minutos contados a partir da condensação da primeira gota. Para a purificação do óleo essencial, o hidrolato foi separado da fase aquosa por partição líquido-líquido em funil de separação, realizando a lavagem com 10 mL de diclorometano. Em seguida o hidrolato e o solvente foram coletados em frascos de vidros de penicilina devidamente pesados e identificados, e deixados em temperatura ambiente até a total evaporação do solvente, sob a capela de exaustão de gases. Sequencialmente, os frascos de vidro com os óleos foram pesados em balança analítica e pela diferença foi calculada a massa dos óleos e, posteriormente, mantidos sob refrigeração até o momento da análise química. A partir da massa dos óleos foi determinado o Rendimento de Óleos Essenciais da parte aérea

(ROE), expresso em massa/ massa (mg de óleos por kg de massa da matéria seca da parte aérea).

4.7. Compostos majoritários dos óleos essenciais

Para a determinação dos compostos majoritários dos óleos essenciais da parte aérea, 4 repetições do material foram analisadas por meio de Cromatografia em Fase Gasosa acoplada ao Espectrômetro de Massa (CG-EM). As amostras foram diluídas em diclorometano e injetado 1 μ L. As configurações utilizadas foram: coluna HP-5 ms de 30 m de comprimento e 0,25 mm de diâmetro, a temperatura de injeção foi de 220°C, a temperatura de interface foi de 230°C. A temperatura inicial foi de 80°C por minuto, acrescida de 3°C até 280°C e mantido por 30 minutos. O gás carreador utilizado foi o gás hélio, com um fluxo na coluna de 0,8 mL min⁻¹, a razão split em 2:1. A identificação foi feita por meio da biblioteca NIST® (National Institute of Standards and Technology) versão 2.0g, do próprio aparelho e por meio da literatura. Os resultados foram expressos em porcentagem da área relativa do pico frente aos outros picos analisados.

4.8. Análises estatísticas

Os pressupostos de normalidade dos dados e homogeneidade de variâncias foram avaliados a 5% de significância por meio do teste de Shapiro-Wilk (1965) e O'Neill e Mathews (2002), respectivamente. Após atendido os pressupostos, o comparativo dos efeitos das concentrações sobre as variáveis respostas avaliadas foram analisadas através do estudo da ANOVA por meio de modelos de regressão. Para análise dos dados foi utilizado o software R 4.1.1, com auxílio do pacote ExpDes.pt. A elaboração dos gráficos foi realizada com uso do software SigmaPlot 14.5.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Crescimento das plantas de jambu.

Nas figuras 2A, 2B e 2C são ilustradas imagens das plantas de jambu, cultivadas em condutividade elétrica crescentes na solução nutritiva, em cultivo hidropônico com substrato.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 2, houve efeito significativo entre as condutividades elétricas aplicadas e as variáveis de crescimento, exceto para o número de ramificações. Independente da condutividade elétrica da solução aplicada, as plantas desenvolveram em média 11 ramificações no período avaliado. Esta exceção demonstra que a diferenciação das gemas laterais não foi afetada pelos tratamentos.

Com exceção do número de ramificações, todas as variáveis de crescimento foram significativas, se ajustando a modelos quadráticos de regressão, onde o aumento da condutividade resultou num aumento das variáveis fitotécnicas até um limite específico, seguido do decréscimo após o ponto de máxima.

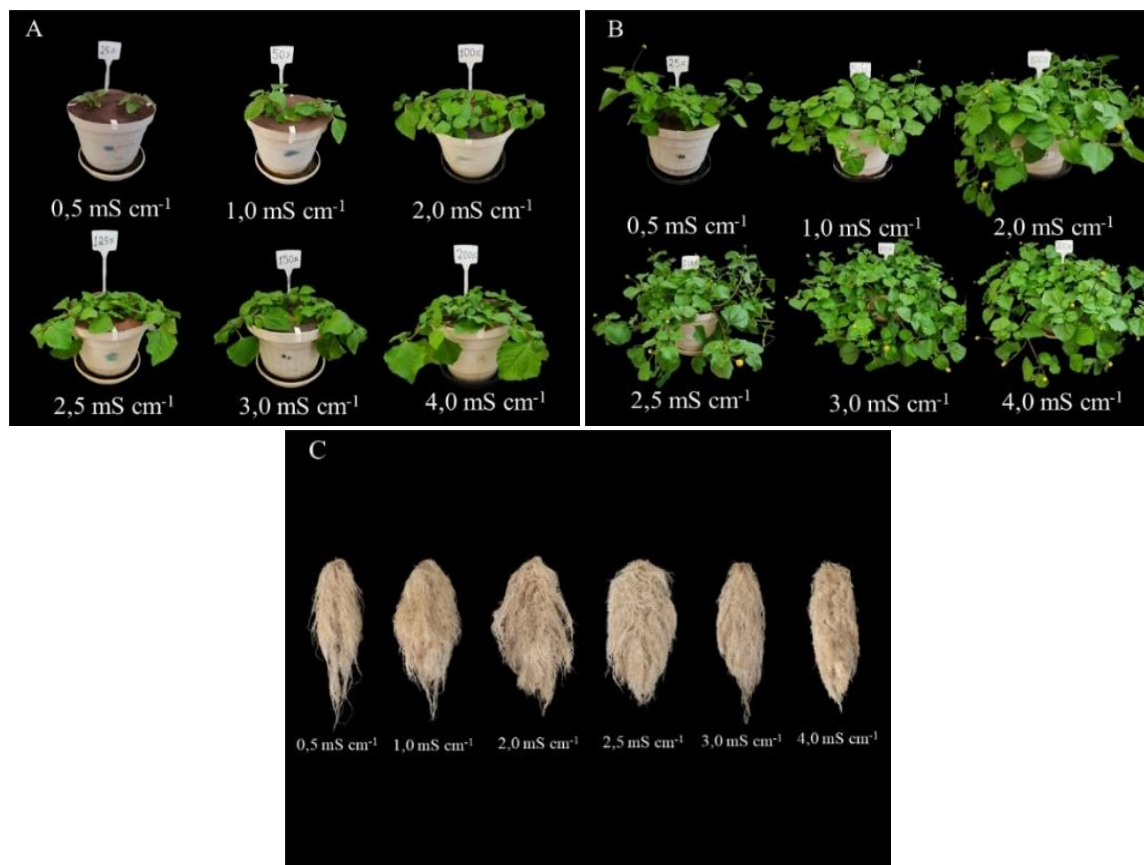


Figura 2. Plantas de jambu aos 50 dias após a sementeira (A), 72 dias após a sementeira (B) e raízes aos 72 dias após a sementeira (C) em função da condutividade elétrica sob cultivo hidropônico em substrato em Campos dos Goytacazes. Fonte: Autoria própria (2021).

Os maiores valores de massa fresca da parte aérea e massa seca da parte aérea, 209,39 g planta⁻¹ e 19,11 g planta⁻¹, respectivamente, foram observados nas condutividades elétricas de 3,45 e 3,54 (Figura 3 A). De forma semelhante, Schmitt et al. (2016) constataram efeito quadrático para matéria seca da parte aérea em plantas de morangueiro cultivadas sob condutividades elétricas crescentes (0,4 dS m⁻¹; 0,8 dS m⁻¹; 1,2 dS m⁻¹; 1,6 dS m⁻¹ e 2,0 dS m⁻¹) a partir da solução nutritiva de Hennion e Veschambre (1997) modificada, o que demonstra a diferença na exigência nutricional entre essas plantas, de tal forma que mesmo em uma solução mais diluída, o morangueiro foi influenciado de forma quadrática, atingindo um ponto de máxima para essa variável, enquanto o jambu em uma solução mais concentrada atingiu o ponto máximo em uma maior condutividade sob uma solução mais concentrada. Ianckiewicz et al. (2013) verificaram efeito

linear crescente para massa seca da parte aérea em plantas de Camapu (*Physalis* L.), cultivadas sob diferentes níveis de condutividade elétrica (0,5 dS m⁻¹; 1,0 dS m⁻¹; 2,0 dS m⁻¹ e 3,0 dS m⁻¹) da solução de Hoagland e Arnon (1950). Resultados contrários foram observados por Beckmann-Cavalcante et al. (2010), esses autores não observaram efeito significativo das condutividades elétricas na massa seca da parte aérea de plantas de crisântemo (*Chrysanthemum x morifolium*) aos 70 dias de cultivo após o enraizamento, utilizando as condutividades elétricas (2,1 dS m⁻¹; 2,8 dS m⁻¹; 3,5 dS m⁻¹; 4,2 dS m⁻¹ e 4,9 dS m⁻¹) da solução nutritiva proposta por Furlani et al. (1999). Este fato pode ser explicado novamente pela diferença na exigência nutricional entre as culturas, onde foi utilizado no referido trabalho uma solução mais diluída do que a solução usada na presente pesquisa. Além disso, a fase da cultura é um fator determinante quanto a exigência nutricional, podendo o período de cultivo ter influenciado diretamente na absorção dos nutrientes.

Tabela 2. Análise de regressão da Massa Fresca da Parte Aérea (MFPA), Massa Seca da Parte Aérea (MSPA), Massa Fresca da Raiz (MFR), Massa Seca da Raiz (MSR), Volume da Raiz na Proveta (VRP) Área Foliar (AF), Número de Folhas (NF), Número de Inflorescências (NI), Diâmetro do Caule (DC), Comprimento do Ramo Principal (CRP), Número de Ramificações (NR) e Rendimento de Óleos Essenciais (ROE) de plantas de jambu em função da condutividade elétrica sob cultivo hidropônico em substrato

Variável	Equação	R ²	Pr>F	CV (%)
MFPA	$y = -39,9339 + 144,4505x - 20,9224x^{2***}$	0,99	0,00000	9,56
MSPA	$y = -3,1889 + 12,6049x - 1,7814x^{2***}$	0,99	0,00000	6,03
MFR	$y = 5,3842 + 29,999x - 5,9441x^{2***}$	0,95	0,00000	12,44
MSR	$y = 0,375 + 1,1479x - 0,2271x^{2***}$	0,84	0,00000	16,74
VRP	$y = 7,9608 + 29,9853x - 5,9272x^{2***}$	0,94	0,00000	11,24
AF	$y = -319,7025 + 1693,921x - 227,0759x^{2***}$	0,99	0,00000	13,44
NF	$y = 54,9184 + 117,9091x - 16,3983x^{2***}$	0,97	0,00001	10,37
NI	$y = -8,4179 + 35,9171x - 5,4075x^{2***}$	0,99	0,00000	12,94
DC	$y = 3,7857 + 2,635x - 0,4442x^{2***}$	0,99	0,00000	5,09
CRP	$y = 15,5997 + 21,9702x - 3,8698x^{2***}$	0,99	0,00000	9,75
NR	$y = 11^{ns}$	-	-	6,78
ROE	$y = 379 + 100,333 x^{***}$	0,88	0,00000	15,47

*** Significativo ao nível de 0,1% de probabilidade ($p < 0,001$); ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($0,001 \leq p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$) pelo teste F; ^{ns} não significativo.

No presente estudo, a relação entre massa seca e fresca praticamente manteve-se constante entre os tratamentos, cerca de 10,86 gramas de massa fresca por grama de massa seca, ou seja, a concentração dos nutrientes na solução não interferiu na capacidade de retenção de água por unidade de massa do tecido vegetal da parte aérea. Além disso, mesmo na menor condutividade da solução não foram observados sintomas de deficiência nutricional. A mesma característica foi observada em plantas de jambu por Sampaio et al. (2021). Esses resultados demonstram que havia nutrientes para que as plantas crescessem, porém, seu desenvolvimento foi prejudicado, resultando em menor massa fresca da parte aérea, comprometendo a comercialização *in natura*.

A massa fresca da raiz e massa seca da raiz foram influenciadas pela variação na condutividade elétrica da solução nutritiva (Figura 3B), com valores estimadas em 43,23 g planta⁻¹ e 1,83 g planta⁻¹, respectivamente, nas condutividade de 2,5 mS cm⁻¹ para ambas as variáveis. Schmitt et al. (2016) também verificaram efeito quadrático para massa seca das raízes em plantas de morangueiro cultivadas sob níveis de condutividade elétrica.

Quanto ao volume das raízes foi observada variações com efeito quadrático em função da condutividade elétrica (Figura 3C). O maior volume de 45,88 cm³ planta⁻¹ de raízes foi observado na condutividade de 2,5 mS cm⁻¹.

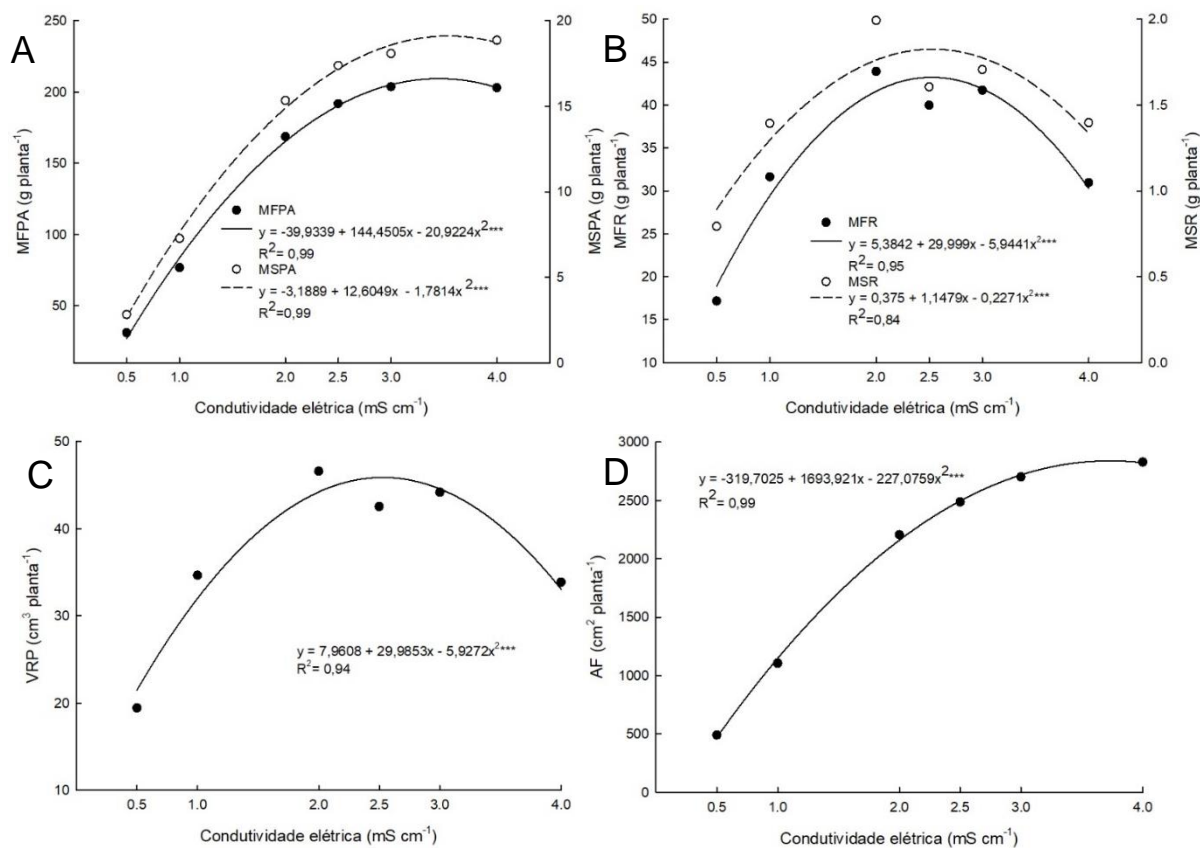


Figura 3. Massa fresca da parte aérea (MFWA) e massa seca da parte aérea (MSPA) (A), massa fresca da raiz (MFR) e massa seca da raiz (MSR) (B), volume da raiz na proveta (VRP) (C) e área foliar (AF) (D), de plantas de jambu em função da condutividade elétrica sob cultivo hidropônico em substrato em Campos dos Goytacazes.

Em relação à área foliar, observou-se incremento desta variável com o aumento da condutividade até a dose de 3,73 mS cm⁻¹ (Figura 3D). Nas condutividades superiores, houve decréscimo na área foliar, o que de acordo com McCauley et al. (2009) poderia estar sendo causado pela toxicidade, pelo excesso de um ou mais nutrientes. Além disso, 3,73 mS cm⁻¹ foi o maior ponto de máxima entre todas as variáveis fitotécnicas estudadas, porém, os pontos de máxima destas variáveis, que foram em sua maioria em torno de 3,5 mS cm⁻¹ não devem ser interpretados como toxicidade, apenas que o incremento da concentração a partir deste ponto priorizou o crescimento das folhas em última instância. Beckmann-Cavalcante et al. (2010) relataram característica oposta em plantas de crisântemo, observando maiores valores de área foliar nas menores condutividades e diminuição desta variável conforme aumento da concentração

de nutrientes. Em trabalhos realizados por Andrade (2019) e Silva et al. (2019) foram observadas respostas lineares positivas para esta variável em função do aumento da concentração de nutrientes na cultura da alface. Ambos com soluções nutritivas mais diluídas que a utilizada no presente estudo.

O aumento da área foliar é um indicativo salutar do desenvolvimento das plantas, uma vez que pode proporcionar ganho de pigmentos fotossintéticos, conseqüentemente, aumentando a capacidade de fazer fotossíntese, processo crucial para transformação de energia solar em energia química (Taiz et al., 2017). Tal efeito pode ser potencializado nas condições ideais de cultivo que a hidroponia fornece, a exemplo da disponibilidade hídrica, que capacita o pleno funcionamento do aparato fotossintético, contanto que a nutrição da planta esteja condizente, conforme demonstrado na pesquisa.

Como esperado, a área foliar teve crescimento proporcional ao aumento número de folhas mediante a elevação da condutividade elétrica (Figura 4A). Na condutividade estimada de $3,60 \text{ mS cm}^{-1}$, para o maior número de folhas de jambu observou-se 267 folhas, 154 folhas a mais que na menor condutividade estudada ($0,5 \text{ mS cm}^{-1}$).

Os resultados do presente estudo confirmam a influência da disponibilidade de nutrientes para o aumento da floração do jambu. As plantas obtiveram maior número de inflorescências com o aumento da condutividade até o ponto de $3,3 \text{ mS cm}^{-1}$, estimado para 51 inflorescências (Figura 4B). Sampaio et al. (2021) verificaram resposta linear positiva, com maior valor, 37,8 inflorescências, na máxima concentração de nutrientes (125%) a partir da solução de Hoagland.

O diâmetro do caule seguiu a tendência quadrática das demais variáveis fitotécnicas, apresentando o maior diâmetro com valor de $7,69 \text{ mm planta}^{-1}$ na condutividade estimada em $2,97 \text{ mS cm}^{-1}$ (Figura 4C). Resultados semelhantes foram encontrados por Beckmann-Cavalcante et al. (2010) no cultivo do crisântemo sob condutividade elétrica crescente da solução nutritiva de Furlani et al. (1999). Sampaio et al. (2021), avaliando a produção de jambu cultivado em casa de vegetação em Belém-PA em função da concentração da solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950), não observaram diferença significativa para essa variável, encontrando valor médio de 5,2 mm. Estes autores encontraram efeitos lineares positivos para a maioria das variáveis biométricas do jambu, no entanto a

dosagem máxima estudada foi de 125%, enquanto a presente pesquisa ampliou a concentração obtendo pontos de máxima em torno de $3,5 \text{ mS cm}^{-1}$, equivalente a 175% de concentração. Cunha-Chiamolera et al. (2017) não observaram diferença significativa entre condutividades elétricas crescentes na cultura da alface para o diâmetro do caule.

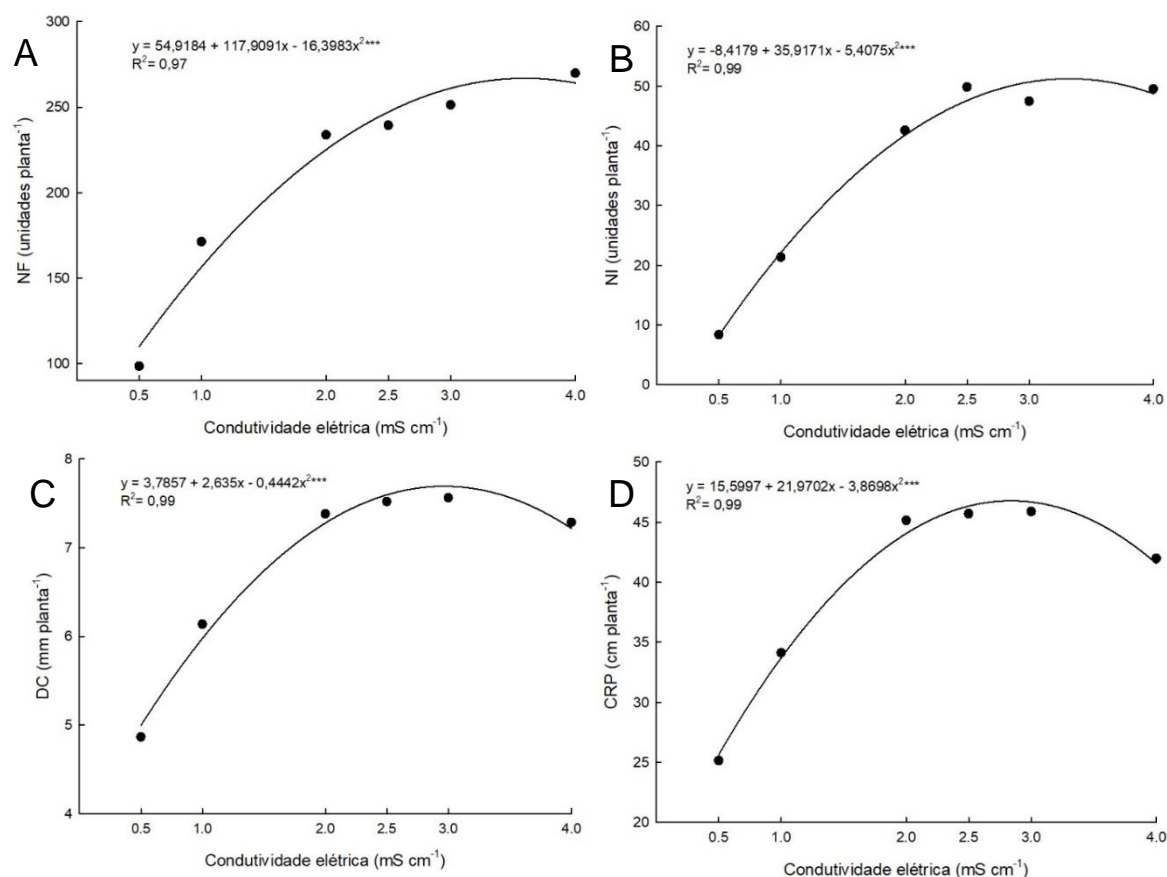


Figura 4. Número de folhas (NF) (A), número de inflorescências (NI) (B), diâmetro do caule (DC) (C) e comprimento do ramo principal (CRP) (D), de plantas de jambu em função da condutividade elétrica sob cultivo hidropônico em substrato em Campos dos Goytacazes.

Adiante, o menor ponto de máxima para as variáveis avaliadas na parte aérea ($2,84 \text{ mS cm}^{-1}$) foi obtido no comprimento do ramo principal em $46,78 \text{ cm planta}^{-1}$. Este resultado foi 82,7% superior ao ponto de máxima encontrado por Sampaio et al. (2021) com valor de 26,7 cm estimado em 90,2% da concentração da solução (Figura 4D). O oposto foi constatado por Diniz et al. (2015)

investigando concentrações de nutrientes a partir da solução de Furlani et al. (1999) em plantas de pepino, observando plantas mais altas nos tratamentos mais diluídos e diminuição na altura conforme aumento da concentração nutricional. Da mesma forma, Beckmann-Cavalcante et al. (2010) constataram efeito decrescente conforme aumento da condutividade da solução nutritiva em crisântemo. De acordo com Fontes (2016) o excesso de nutrientes pode causar desequilíbrio nas plantas, promovendo alterações a nível celular e bioquímico, resultando em alterações na partição dos fotoassimilados em diferentes órgãos vegetais.

5.2. Teores de macro e micronutrientes na parte aérea

Os teores nutricionais foram influenciados significativamente pela variação da condutividade elétrica (Tabela 3), exceto para os micronutrientes Fe e Ni. Independente da condutividade aplicada, os teores destes elementos foram em média 248,39 mg kg⁻¹ e 2,21 mg kg⁻¹, respectivamente. A maioria dos nutrientes se ajustaram ao modelo linear, com exceção do Mg e Cu que obtiveram melhor ajuste para modelos quadráticos.

Tabela 3. Análise de regressão dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), níquel (Ni), zinco (Zn), manganês (Mn) e ferro (Fe) na parte aérea de plantas de jambu em função da condutividade elétrica da solução de Hoagland e Arnon (1995) sob cultivo hidropônico em substrato

Variável	Equação	R ²	Pr>F	CV (%)
N	$y = 40,7299 + 1,9293x^{***}$	0,92	0,00000	1,94
P	$y = 3,4408 + 0,716x^{***}$	0,95	0,00000	7,31
K	$y = 49,1518 + 2,4030x^{***}$	0,93	0,00000	3,62
Ca	$y = 20,6526 - 1,1239x^{***}$	0,65	0,00000	4,3
Mg	$y = 7,3167 + 0,5925x - 0,1427x^{2***}$	0,26	0,00350	4,38
S	$y = 6,43 - 0,5569x^{***}$	0,89	0,00000	9,75
B	$y = 104,505 + 10,5233x^{***}$	0,89	0,00000	6,67
Cu	$y = 1,1737 + 6,3227x - 1,0293x^{2***}$	0,96	0,00000	8,1
Zn	$y = 18,1883 + 8,5067x^{***}$	0,93	0,00000	5,91
Mn	$y = 125,2883 + 10,29x^{***}$	0,69	0,00025	11,38
Fe	$y = 248,39^{ns}$	-	-	19,65
Ni	$y = 2,21^{ns}$	-	-	51,89

*** Significativo ao nível de 0,1% de probabilidade ($p < 0,001$); ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($0,001 \leq p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$) pelo teste F; ^{ns} não significativo.

A elevação da condutividade elétrica da solução nutritiva proporcionou efeito linear crescente na absorção de N, P e K pelas plantas. Os teores de N, P e K na parte aérea foram 14,59%, 66,18% e 14,17%, respectivamente, superiores na maior condutividade ($4,0 \text{ mS cm}^{-1}$) em relação à menor ($0,5 \text{ mS cm}^{-1}$) (Figura 5A, 5B e 5C).

Entre os nutrientes, o nitrogênio é o mais requerido e mais abundante na parte aérea do jambu, principalmente no tecido foliar (Borges et al., 2013). Sampaio et al. (2019) testando a omissão dos macronutrientes N, P e K, observaram que a omissão de N foi a que mais limitou o crescimento e desenvolvimento do jambu, restringindo a fase reprodutiva da planta, com teores de N nas folhas deficientes de $17,54 \text{ g kg}^{-1}$ e no tratamento completo $26,87 \text{ g kg}^{-1}$. Dessa forma, a deficiência de N para o jambu é um fator negativo, pois a inflorescência é um dos principais atrativos para consumidores. Os autores relataram ainda que para as plantas cultivadas sob omissão de P não foram observados sintomas de deficiência, em que o teor foliar sob ausência do elemento foi de $2,14 \text{ g kg}^{-1}$ sendo estatisticamente igual ao tratamento controle

(3,29 g kg⁻¹). As plantas com deficiência de potássio apresentaram sintomas de deficiência, com teores foliares de 3,7g kg⁻¹ de K no tratamento deficiente e 25,25 g kg⁻¹ no tratamento completo. Mota et al. (2016) ratificando os resultados do presente estudo, observaram efeito linear crescente nos teores de N e P conforme aumento da condutividade elétrica da solução nutritiva em plantas de gérbera (*Gerbera jamesonii* L.).

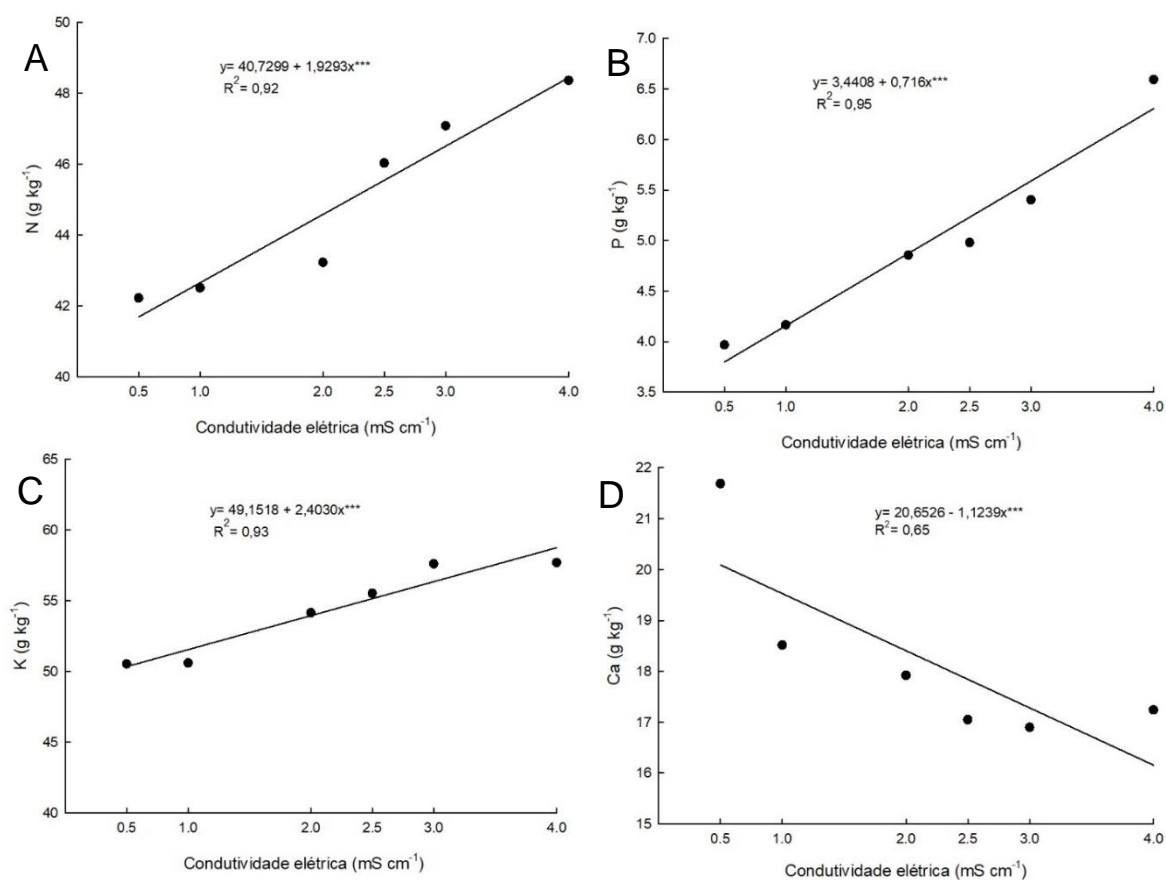


Figura 5. Teores de Nitrogênio (A), Fósforo (B), Potássio (C) e Cálcio (D) na parte aérea de plantas de jambu em função da condutividade elétrica sob cultivo hidropônico em substrato em Campos dos Goytacazes.

Para os teores de Ca, foi observada tendência linear decrescente conforme o incremento na condutividade da solução (Figura 5D). Comparando a menor com a maior condutividade aplicada, houve redução de 20,51% no teor deste elemento, enquanto teores de Mg foram incrementados, ajustando-se a um

modelo quadrático, com condutividade estimada de 2,08 mS cm⁻¹ para o maior teor do elemento (7,93 g kg⁻¹) (Figura 6A). Este efeito pode ser explicado pela alta concentração de potássio na solução, podendo ter causado efeito antagônico na absorção de cálcio por serem elementos com a mesma carga, mesmo o Ca estando em concentração suficiente na solução nutritiva (Rhodes, et al., 2018; Lange et al., 2021). Investigando o efeito da concentração nutritiva nos teores de macronutrientes em alcachofra (*Cynara scolymus* L.) e cardo (*Silybum marianum* L.) com solução nutritiva mais diluída que a usada no presente estudo, Rouphael et al. (2012) verificaram incremento de forma linear nos teores de N, K, Ca e Mg conforme aumento da concentração de nutrientes. Os teores de P não foram influenciados significativamente.

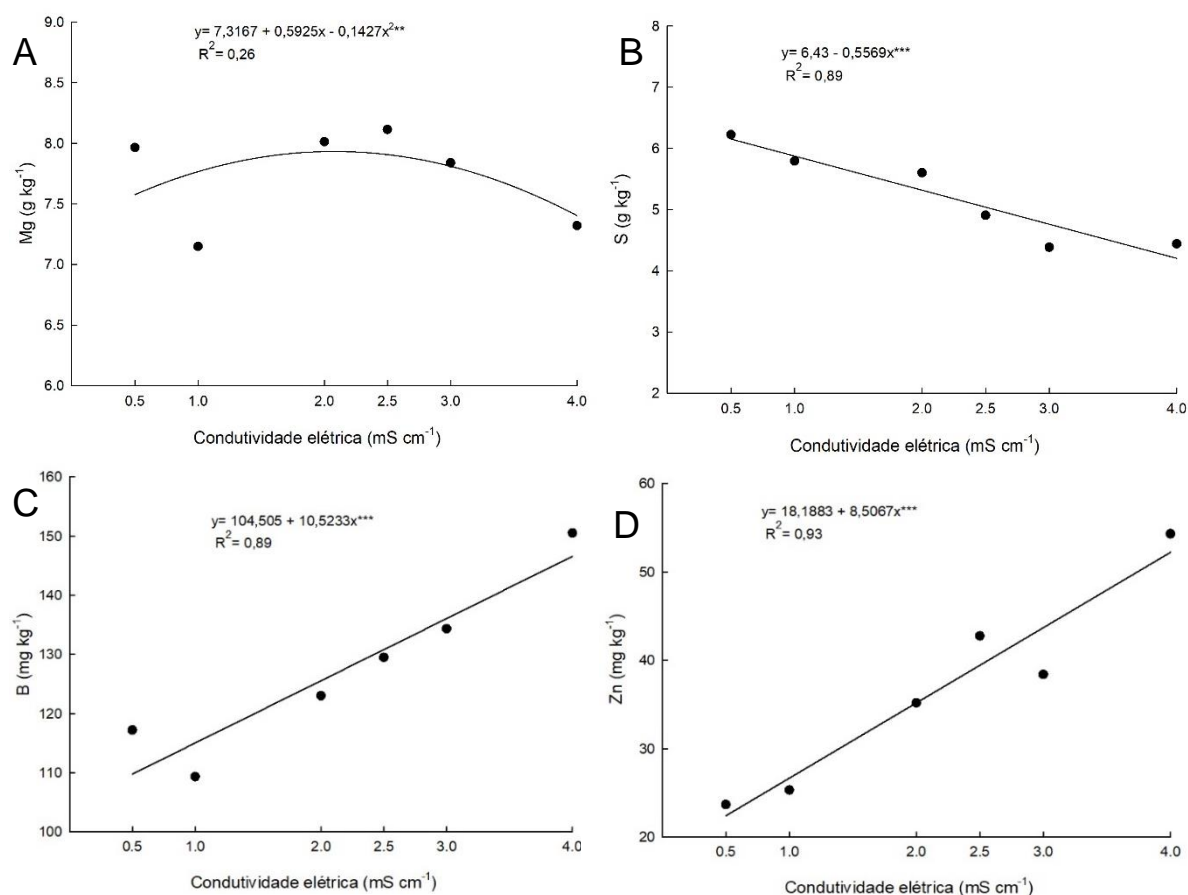


Figura 6. Teores de Magnésio (A), Enxofre (B), Boro (C) e Zinco (D) na parte aérea de plantas de jambu em função da condutividade elétrica sob cultivo hidropônico em substrato em Campos dos Goytacazes.

Em relação aos teores de enxofre (Figura 6B), o melhor ajuste foi para um modelo linear decrescente, diminuindo 28,72% na maior condutividade em comparação com a menor. Mota et al. (2013) verificaram a seguinte ordem decrescente de absorção dos macronutrientes em plantas de crisântemo em função da CE: $K > N > Ca > P > Mg > S$ (1425, 892, 184, 150, 110 e 59 mg planta⁻¹). A mesma ordem de absorção foi observada em plantas de gérbera sob condutividade elétrica crescentes por Mota et al. (2016).

Os teores dos micronutrientes boro e zinco (Figura 6C e 6D) foram incrementados de forma linear com o aumento da condutividade até o último ponto em 28,41% e 129,34%, respectivamente. Estes resultados corroboram com os obtidos por Mota et al. (2013) em plantas de crisântemo, no qual observaram resposta linear no teor de boro e zinco em função de níveis de condutividade elétrica a partir da solução adaptada de López (1998).

O teor de cobre foi influenciado pelo aumento da condutividade, elevando seu valor até a condutividade estimada de 3,07 mS cm⁻¹, com teor estimado de 10,88 mg kg⁻¹ (Figura 7A). Já o manganês apresentou crescimento em seu teor de forma linear com o aumento da condutividade, com incremento de 20,94% entre a menor e maior condutividade (Figura 7B). Mota et al. (2013) observaram a seguinte ordem decrescente de absorção de micronutrientes em plantas de crisântemo submetidas a níveis de CE: $Fe > Zn > B > Mn > Cu$ (2254, 2219, 1725, 1287 e 210 µg planta⁻¹). Roupheal et al. (2012) constataram aumento nos teores de Fe, Mn, Cu e B conforme elevação da concentração de nutrientes na solução nutritiva em plantas de alcachofra e cardo e o teor de Zn não foi influenciado significativamente nesse estudo.

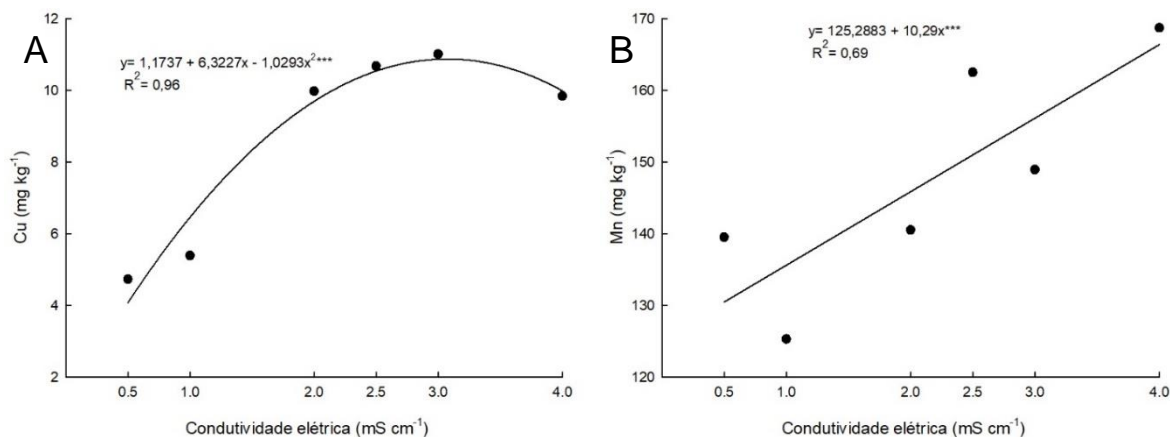


Figura 7. Teores de Cobre (A) e Manganês (B) na parte aérea de plantas de jambu em função da condutividade elétrica sob cultivo hidropônico em substrato em Campos dos Goytacazes.

5.3. Rendimento de óleos essenciais na parte aérea

Foi observado incremento no rendimento de óleos essenciais na parte aérea com o aumento da condutividade elétrica da solução nutritiva de forma linear. Os incrementos foram de 66,5% entre as condutividades de 0,5 mS cm⁻¹ e 4,0 mS cm⁻¹ (Figura 8).

Peçanha (2017) avaliando o rendimento de óleos essenciais em plantas de jambu utilizando a solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) observou na solução completa, equivalente a condutividade elétrica de 2,0 mS cm⁻¹, valor médio de 860 mg kg⁻¹, superior ao rendimento médio encontrado na mesma condutividade na presente pesquisa (520 mg kg⁻¹). Provavelmente o tempo de cultivo da pesquisa, com coleta aos 101 dias após o semeio, superior a coleta do presente estudo pode ter influenciado no maior incremento dos óleos essenciais.

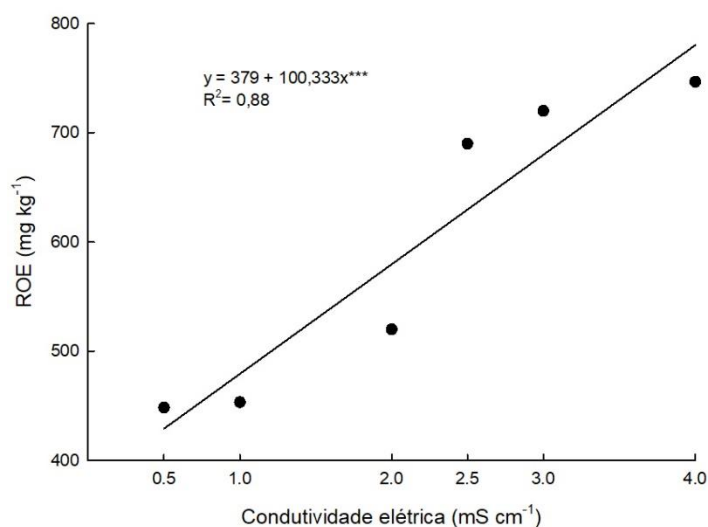


Figura 8. Rendimento de óleos essenciais na parte aérea de plantas de jambu em função da condutividade elétrica sob cultivo hidropônico em substrato em Campos dos Goytacazes.

Álvaro et al. (2016) encontraram maiores conteúdos de óleos essenciais em plantas de salsa (*Petroselinum sativum* Hoffm.) cultivadas sob níveis de condutividade elétrica entre 1,2 e 2,2 dS m⁻¹. Em folhas de alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.), Frescura et al. (2018) observaram efeito quadrático no conteúdo de óleos essenciais em função de concentrações crescentes da solução nutritiva (1, 2, 3, 4 e 5 dS m⁻¹), com valor máximo (0,87 g planta⁻¹) estimado na condutividade de 1,86 dS m⁻¹.

Sabe-se que a composição e o rendimento dos óleos essenciais podem ser afetados por variações genéticas, fisiológicas e edafoclimáticas, sendo a nutrição mineral um fator importante (El Gendy et al., 2015; Chrysargyris et al., 2017ab). Observa-se na Figura 5A, 5B e 5C incrementos nos teores de N, P e K na parte aérea do Jambu que provavelmente proporcionaram maiores rendimentos dos óleos essenciais. Alguns trabalhos relataram incremento no teor de óleos essenciais em função das maiores doses de N aplicadas, como os de Sarab et al. (2008), Vilanova et al. (2018) e Guerra et al. (2020) em plantas de

manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) e Said-Al Ahl et al. (2009) em orégano (*Origanum vulgare* L.).

De acordo com Mann (2001), os óleos essenciais derivam da rota biossintética do acetato que requer fósforo inorgânico (Pi), o fósforo compõe o Isopentenil Difosfato (IPP) e o Metileritritol Fosfato (MEP), que são as unidades básicas de formação dos óleos essenciais. David et al. (2006), estudando o rendimento e composição de óleos essenciais em plantas de *Mentha piperita* L. em função de doses de P, verificaram maiores teores de mentona e mentofurano nas maiores doses do elemento e aumento no teor de óleos essenciais e nos teores dos compostos majoritários mentol, acetato de mentila e pulegona nos menores níveis. Peçanha et al. (2021) verificaram efeito significativo de níveis de P no rendimento de óleos essenciais em plantas de lavanda (*Lavandula* spp.) com maior valor estimado na dose de 77 mg dm⁻³ do nutriente.

Said-Al Ahl e Hussein (2010), avaliando regimes de umidade com água doce e salina e adubação com humato de potássio em plantas de orégano, observaram incremento no rendimento de óleos essenciais com a presença da adubação potássica e influência do potássio na composição química do óleo. Nesse trabalho foram identificados 20 compostos através de análise cromatográfica, em que o carvacrol foi o composto majoritário, seguido por p-cimeno e γ -terpineno. Khalid (2013) observou incremento nos teores de óleos essenciais em função de doses crescentes de K em calêndula (*Calendula officinalis* L.). Freitas et al. (2020) avaliando a aplicação de fontes (KCl e K₂SO₄) e doses (50, 100, 150 e 200 mg kg⁻¹) de K em plantas de coentro (*Coriandrum sativum* L.) observaram influência da aplicação de sulfato de potássio no rendimento de óleos essenciais nos frutos e na concentração de linanol. As maiores concentrações foram obtidas em 153,8 e 131,3 mg kg⁻¹, respectivamente. Esses artigos demonstram a importância dos nutrientes na quantidade e qualidade dos óleos essenciais.

5.4. Composição majoritária dos óleos essenciais

Foram observados 23 compostos nos óleos essenciais da parte aérea do jambu. Dentre os quais, cinco compostos não foram identificados pela biblioteca do aparelho, sendo denominados no presente estudo como não identificado 1, 2,

3, 4 e 5 (Tabela 4) e o composto Acmelonato foi identificado como mencionado por Ley et al. (2006). Os constituintes majoritários foram fitol, espilantol e acmelonato, sendo o espilantol o composto de maior interesse.

A composição dos óleos essenciais podem ser diferentes dependendo da parte da planta analisada, como pode ser observado nos trabalhos com jambu de Borges et al. (2014b) e Borges et al. (2021). Avaliando a composição química dos óleos essenciais extraídos de folhas do jambu cv. Jamburana, Borges et al. (2014b) encontraram 66 substâncias, sendo os compostos majoritários: β -Mirceno, Dictamnol, Germacreno D e β -Pineno. Entretanto, Borges et al. (2021), avaliando a composição química de óleos essenciais de folhas e inflorescências de duas cultivares de jambu, Jamburana e Nazaré, sob cultivo orgânico e tradicional, constataram em ambas cultivares a presença de 27 compostos, sendo os majoritários Cis- β -guaieno, Carotol, β -acarenol, Dictamnole, Flavenosa, Drima-7,9(11)-dieno e Leptospermone. Estes resultados diferem dos encontrados na presente pesquisa, mas vale salientar que os óleos essenciais do presente estudo foram extraídos da parte aérea. Além disso, as condições cromatográficas como as configurações de coluna podem influenciar a composição majoritária dos óleos essenciais.

Tabela 4. Média e desvio-padrão dos constituintes dos óleos essenciais na parte aérea de plantas de jambu em função da condutividade elétrica da solução de Hoagland e Arnon (1950) sob cultivo hidropônico em substrato

Composto	Porcentagem de área relativa (%)					
	Condutividade elétrica (mS cm ⁻¹)					
	0,5	1,0	2,0	2,5	3,0	4,0
Espilantol	20,01±4,41	29,46±1,58	25,74±4,45	15,88±4,51	14,41±2,86	14,39±2,17
Isômero 1 do espilantol	0,79±0,12	1,49±0,60	1,23±0,34	1,34±0,71	2,36±1,18	2,24±1,26
Isômero 2 do espilantol	0,08±0,10	0,59±0,28	0,39±0,13	0,23±0,33	0,47±0,38	0,45±0,43
Pentacosano	1,81±0,15	1,76±0,22	2,65±0,49	1,94±0,36	1,68±0,15	1,71±0,16
Cariofileno	0,96±0,67	0,93±0,42	0,70±1,15	3,77±3,25	6,18±3,25	6,78±1,71
(6Z)-pentadec-6-en-1-ol	0,99±0,63	0,72±0,18	0,69±0,83	2,48±1,34	3,31±1,00	3,29±0,35
Trans-beta-ionona	0,24±0,14	0,52±0,20	0,39±0,19	0,56±0,08	0,56±0,32	0,65±0,05
Pentadec-1-eno	3,60±2,35	2,86±0,72	2,82±3,67	10,25±4,51	12,20±2,61	11,52±1,29
Kessane	1,71±0,77	1,76±0,48	1,33±1,34	2,84±1,11	3,91±1,22	4,00±0,48
Óxido de cariofileno	2,68±0,85	3,44±0,58	2,30±1,31	3,78±1,33	4,77±1,08	4,99±0,70
(Z,Z)-Heptadeca-1,8,11-trieno	1,55±0,49	1,40±0,24	1,37±0,65	2,20±0,23	2,29±0,35	2,11±0,21
Fitol	25,62±5,59	21,05±3,97	27,06±4,78	21,53±6,06	16,13±2,05	15,26±5,32
(Z,E)-α-Farnesene	0,41±0,19	0,32±0,08	0,21±0,19	0,41±0,09	0,52±0,09	0,56±0,06
(-)-Espatulenol	1,24±0,15	1,56±0,23	1,18±0,22	1,13±0,16	1,19±0,19	1,21±0,21
Germacreno D	2,12±1,40	1,58±0,44	0,83±1,20	2,15±0,66	3,10±1,77	2,47±0,70
γ-Eudesmol	0,90±0,20	1,08±0,12	0,91±0,34	0,90±0,18	0,97±0,16	1,05±0,05
Hexaidrofarnesil acetona	0,99±0,35	1,32±0,42	1,33±0,09	1,12±0,16	1,11±0,14	1,06±0,22
Acmelonato	15,86±1,49	13,92±3,75	14,11±1,18	13,40±2,31	12,24±3,14	13,04±1,30
Não identificado 1	1,44±0,22	1,36±0,33	1,79±0,19	1,96±0,38	1,84±0,16	2,26±0,12
Não identificado 2	8,38±0,41	6,60±0,93	6,92±0,90	5,29±0,92	4,82±0,44	4,28±0,60
Não identificado 3	3,88±1,13	2,08±0,79	1,54±0,57	2,69±1,10	2,20±1,47	2,69±0,35
Não identificado 4	1,97±0,45	1,72±0,28	1,70±0,10	1,59±0,40	1,45±0,26	1,62±0,42
Não identificado 5	2,75±0,31	2,47±0,55	2,83±0,2	2,46±0,37	2,28±0,18	2,39±0,21
Total	100,00	100,00	100,00	99,91	100,00	100,00

A composição química dos óleos essenciais foi influenciada significativamente pelos níveis de condutividade elétrica (Tabela 5). Dos 23 compostos observados, 10 não sofreram alteração significativa quanto à porcentagem de área relativa independente da condutividade aplicada. As porcentagens para estes compostos foram em média: (Z,E)- α -Farnesene (0,41%), (-)-Espatuleno (1,25%), Germacreno D (2,04%), γ -Eudesmol (0,97%), Hexaidrofarnesil acetona (1,06%), Isômero 2 do espilantol (0,37%), Acmelonato (13,76%), Não identificado 3 (2,51%), Não identificado 4 (1,67%) e Não identificado 5 (2,53%).

A maioria dos constituintes se ajustou a modelos lineares, com exceção do pentacosano, que mostrou melhor ajuste para um modelo quadrático (Tabela 5).

Tabela 5. Análise de regressão dos componentes majoritários dos óleos essenciais de plantas de jambu em função da condutividade elétrica sob cultivo hidropônico em substrato

Variável	Equação	R ²	Pr>F	CV (%)
Espilantol	$y = 27,3474 - 3,4001x^{***}$	0,48	0,00011	18,85
Isômero 1 do espilantol	$y = 0,7277 + 0,3914x^{**}$	0,69	0,00227	39,06
Isômero 2 do espilantol	$y = 0,37^{ns}$	-	-	60,08
Pentacosano	$y = 1,5234 + 0,5821x - 0,1412x^2^*$	0,31	0,01207	16,05
Cariofileno	$y = -0,9501 + 1,9243x^{***}$	0,80	0,00001	54,64
(6Z)-pentadec-6-en-1-ol	$y = 0,0910 + 0,8408x^{***}$	0,74	0,00001	38,83
Trans-beta-ionona	$y = 0,2870 + 0,0922x^{**}$	0,66	0,00198	29,26
Pentadec-1-eno	$y = 0,7372 + 2,9872x^{***}$	0,72	0,00003	40,75
Kessane	$y = 0,9214 + 0,7699x^{***}$	0,72	0,00009	32,28
Óxido de cariofileno	$y = 2,2216 + 0,6634x^{**}$	0,62	0,00173	27,52
(Z,Z)-Heptadeca-1,8,11-trieno	$y = 1,2865 + 0,2459x^{**}$	0,56	0,00256	21,60
Fitol	$y = 27,1361 - 2,7821x^{***}$	0,56	0,00059	17,56
(Z,E)- α -Farnesene	$y = 0,41^{ns}$	-	-	29,35
(-)-Espatuleno	$y = 1,25^{ns}$	-	-	13,08
Germacreno D	$y = 2,04^{ns}$	-	-	54,83
γ -Eudesmol	$y = 0,97^{ns}$	-	-	17,78
Hexaidrofarnesil acetona	$y = 1,06^{ns}$	-	-	21,99
Acmelonato	$y = 13,76^{ns}$	-	-	17,46
Não identificado 1	$y = 1,2404 + 0,2462x^{***}$	0,90	0,00010	15,32
Não identificado 2	$y = 8,4392 - 1,1030x^{***}$	0,87	0,00000	11,65
Não identificado 3	$y = 2,51^{ns}$	-	-	33,89
Não identificado 4	$y = 1,67^{ns}$	-	-	20,81
Não identificado 5	$y = 2,53^{ns}$	-	-	14,48

*** Significativo ao nível de 0,1% de probabilidade ($p < 0,001$); ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($0,001 \leq p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$) pelo teste F; ^{ns} não significativo.

O espilantol (Figura 9A) foi influenciado significativamente pelos níveis de condutividade, mostrando melhor ajuste para um modelo linear decrescente, havendo decréscimo de 28,12% entre a menor e a maior condutividade elétrica, enquanto seu isômero 1, foi influenciado significativamente de forma linear crescente com o aumento da condutividade, com incremento de 183,16% entre a menor e maior condutividade aplicada (Figura 9B).

No presente estudo as análises de composição de óleos essenciais foram realizadas na parte aérea, com valor máximo de 25,65% de porcentagem de área relativa de espilantol na menor condutividade. Vulpi et al. (2007) verificaram valores de 0,1%; 1,46% e 15,16% de porcentagem de área relativa de espilantol em caules, folhas e flores, respectivamente.

Peçanha (2017), trabalhando com solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) com plantas de jambu, encontrou porcentagem relativa de espilantol de 13,46%, sendo inferior ao do presente estudo na mesma condutividade (2,0 mS cm⁻¹) no qual o valor médio foi de 25,74%, no entanto, vale salientar que na pesquisa do referido autor, o tempo de cultivo foi superior, a coleta ocorreu aos 101 dias após o semeio, enquanto na presente pesquisa o tempo foi de 72 dias.

Alguns trabalhos desenvolvidos em Campos dos Goytacazes com jambu evidenciam a importância do P, K e S na produção de espilantol. Vieira et al. (2021) avaliaram a influência da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e doses de P na concentração de espilantol em plantas de jambu e observaram que a dose 60 mg kg⁻¹ de P aumenta a concentração de espilantol nas plantas de jambu, quando inoculadas com *C. etunicatum*. Peçanha (2017) observou redução significativa na porcentagem relativa de espilantol em cultivo de jambu sob omissão de potássio e incrementos da porcentagem relativa de espilantol nos óleos de jambu sob omissão de enxofre em relação à solução nutritiva completa. No presente trabalho foi observado que os teores de P e K na parte aérea (Figuras 5 B e C) foram maiores e os teores de S (Figura 6 B) foram menores na maior condutividade estudada (4,0 mS cm⁻¹).

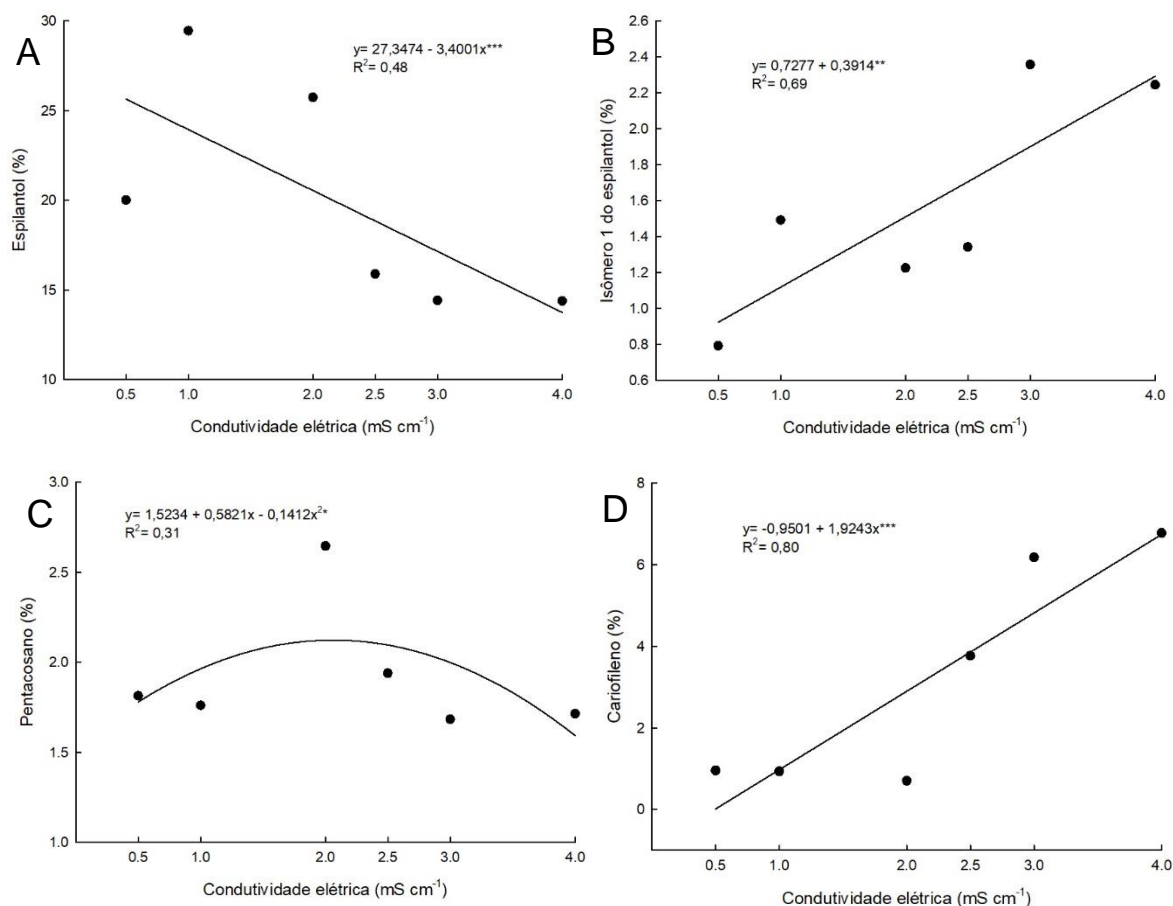


Figura 9. Porcentagem de área relativa de Espilantol (A), Isômero 1 do espilantol (B), Pentacosano (C) e Cariofileno (D) nos óleos essenciais da parte aérea de plantas de jambu em função da condutividade elétrica sob cultivo hidropônico em substrato em Campos dos Goytacazes.

A maior porcentagem relativa de pentacosano (Figura 9C), 2,12%, foi estimada na condutividade de 2,06 mS cm⁻¹. O cariofileno (Figura 9D) com ajuste a um modelo linear de forma crescente, incrementou 609,74% sua porcentagem de área relativa na maior condutividade estudada. Este composto é um sesquiterpenoide de ocorrência comum em muitos óleos essenciais, seja na sua forma natural ou de seus isômeros, cuja algumas destas substâncias apresentam atividades biológicas (Leite et al., 2013; Coutinho et al., 2015).

As porcentagens de área relativa dos compostos (6Z)-pentadec-6-en-1-ol, Trans-beta-ionona, Pentadec-1-eno e Kessane foram influenciadas de forma crescente pela variação da condutividade, com incremento na maior

condutividade de 231,13%, 170,59%, 220,11% e 134,16%, respectivamente em relação a menor condutividade avaliada (Figuras 10A, 10B, 10C e 10D).

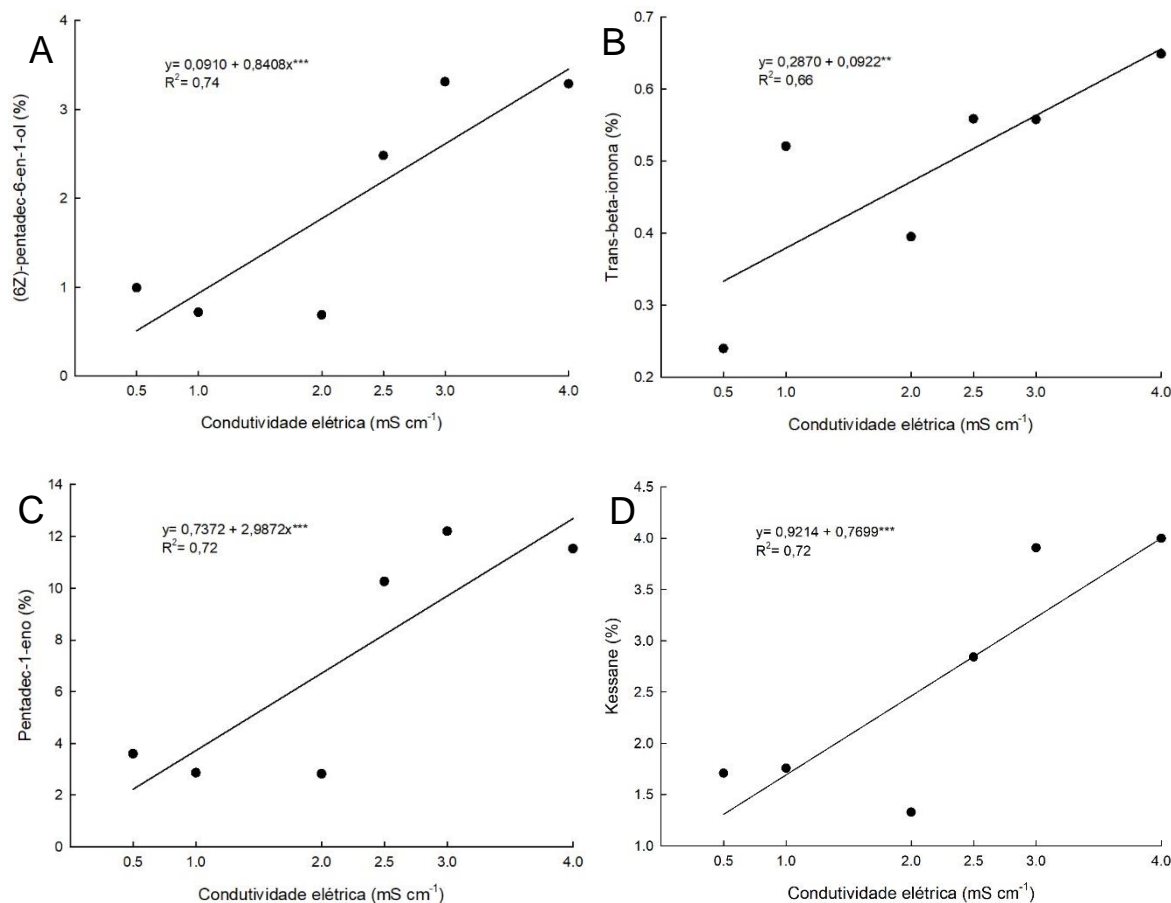


Figura 10. Porcentagem de área relativa de (6Z)-pentadec-6-en-1-ol (A), Trans-beta-ionona (B), Pentadec-1-eno (C) e Kessane (D) nos óleos essenciais da parte aérea de plantas de jambu em função da condutividade elétrica sob cultivo hidropônico em substrato em Campos dos Goytacazes.

Da mesma forma, os valores de óxido de cariofileno (Figura 11A) e (Z,Z)-Heptadeca-1,8,11-trieno (Figura 11B) também cresceram de forma linear, com incrementos de 86,47% e 35,60%, respectivamente. O óxido de cariofileno também foi encontrado como constituinte majoritário na composição química de talos finos e frutos de plantas de pimenta-de-macaco (*Piper tuberculatum* Jacq.)

por Facundo et al. (2008) em ambas partes do vegetal, com valores de 32,1% e 26,6%, respectivamente.

O valor do fitol (Figura 11C) decresceu linearmente, com redução de 40,46% até a máxima condutividade. Este constituinte é um composto encontrado em abundância da natureza como produto do catabolismo das clorofilas nas plantas, sendo classificado como um diterpeno alcóólico de cadeia longa, presente em folhas de diversas plantas medicinais (Costa et al., 2012; Islam et al., 2018) muito utilizado como constituinte de fragrâncias e com propriedades biológicas significativas que chamaram recentemente a atenção para uma possível aplicação nos campos farmacêutico e biotecnológico (Islam et al., 2018).

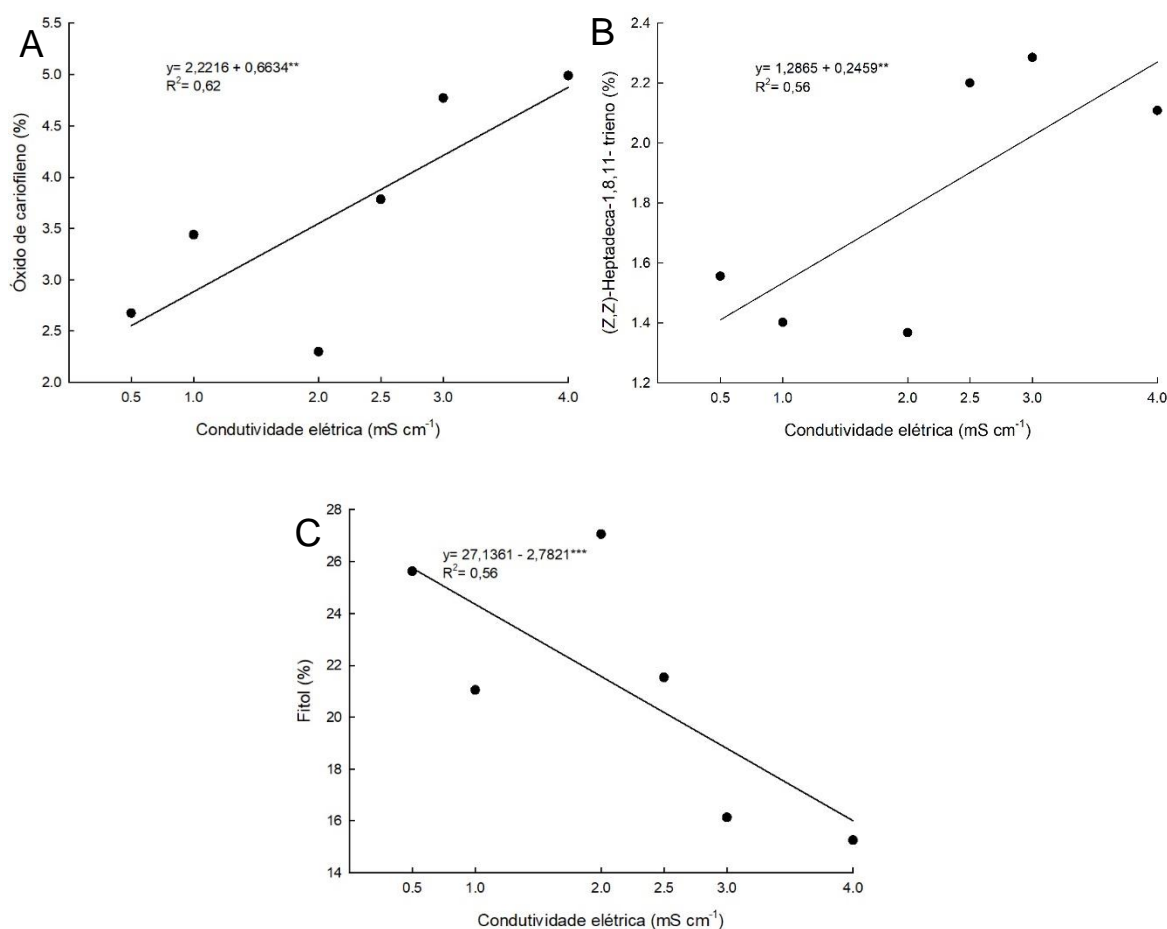


Figura 11. Porcentagem de área relativa de Óxido de cariofileno (A), (Z,Z)-Heptadeca-1,8,11-trieno (B) e Fitol (C) nos óleos essenciais da parte aérea de plantas de jambu em função da condutividade elétrica sob cultivo hidropônico em substrato em Campos dos Goytacazes.

Os compostos Não identificado 1 (Figura 12A) e Não identificado 2 (Figura 12B) mostraram melhor ajuste para modelos lineares, com incremento e redução de 48,95% e 57,13%, respectivamente.

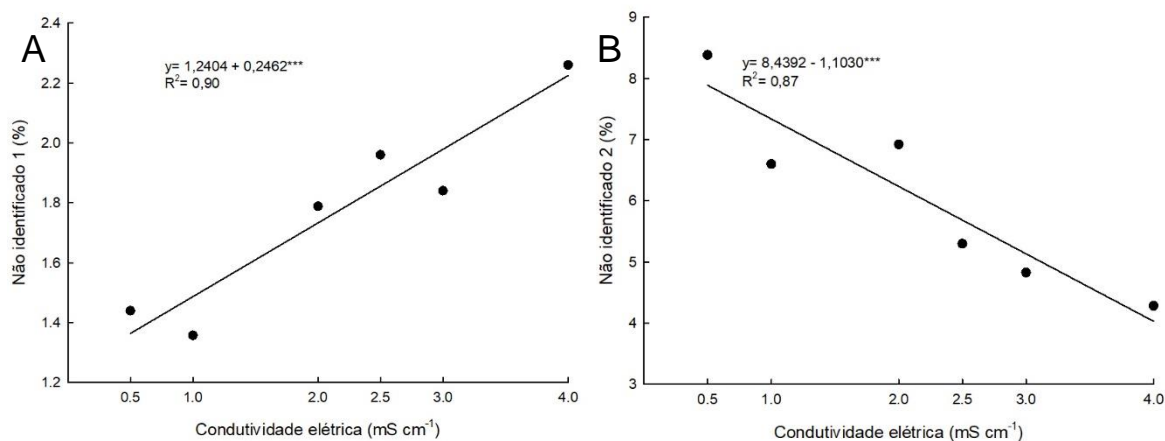


Figura 12. Porcentagem de área relativa dos compostos Não identificado 1 (A) e Não identificado 2 (B) nos óleos essenciais da parte aérea de plantas de jambu em função da condutividade elétrica sob cultivo hidropônico em substrato em Campos dos Goytacazes.

6. RESUMO E CONCLUSÕES

O jambu é uma hortaliça folhosa cultivada em canteiros, no norte do Brasil, em que é muito apreciada em pratos típicos regionais, com alto valor cultural e econômico para a região. Dentre as substâncias que compõem os óleos essenciais, destacam-se alguns componentes como o espilantol e o fitol, por apresentarem propriedades farmacológicas. Estudos tem demonstrado a eficiência do cultivo hidropônico em relação ao cultivo em solo, dessa hortaliça, porém não existem indicações da solução nutritiva ideal para o cultivo da espécie e a influência da concentração da solução na bioprodução dos óleos essenciais. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da condutividade elétrica da solução nutritiva na produção de Jambu, cultivada em sistema hidropônico com substrato, na região Norte Fluminense. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, no período de julho a setembro de 2021. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC) e os tratamentos consistiram em seis condutividades elétricas: 0,5; 1,0; 2,0; 2,5; 3,0 e 4,0 mS cm⁻¹ da solução nutritiva proposta por Hoagland e Arnon (1950), com 6 repetições. A coleta ocorreu aos 72 dias após a semeadura e foram avaliados: massa fresca e seca da parte aérea, massa fresca e seca da raiz, volume da raiz na proveta, área foliar, número de folhas, número de inflorescências, diâmetro do caule, comprimento do ramo principal e número de ramificações, teores nutricionais na parte aérea, rendimento dos óleos essenciais na parte aérea e composição

química dos óleos essenciais. Os dados foram submetidos às análises de variância e regressão a 5% de probabilidade no software R.

As principais conclusões foram:

- As plantas de jambu obtiveram maior crescimento na condutividade elétrica em torno de $3,5 \text{ mS cm}^{-1}$;
- Os teores nutricionais, com exceção do Mg, S, Ca e Cu, foram incrementados até a máxima condutividade elétrica;
- O Jambu na condição avaliada demonstrou alta exigência nutricional;
- O rendimento e a composição majoritária dos óleos essenciais foram influenciados pela variação da condutividade elétrica da solução nutritiva.
- O rendimento de óleos essenciais na maior condutividade foi em média $746,7 \text{ mg kg}^{-1}$;
- A porcentagem de área relativa do espilantol decresceu conforme aumento da condutividade elétrica;
- Os compostos majoritários dos óleos essenciais na parte aérea do jambu nas condições avaliadas foram: fitol, espilantol e acmelonato.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abeyesiri, G.R.P.I., Dharmadasa, R.M., Abeysinghe, D.C., Samarasinghe, K. (2013) Screening of phytochemical, physico-chemical and bioactivity of different parts of *Acmella oleraceae* Murr. (Asteraceae), a natural remedy for toothache. *Industrial crops and products*, 50:852-856.
- Albuquerque, J.D. (1989) Plantas medicinais de uso popular. Brasília: ABEAS/MEC.
- Almeida, S.P., Souza, J.M., Amorim, A.M., de Gusmão, S.A., Souza, R. O., Santos, A.S. (2020) *In vitro* culture of jambu with different growth regulators. *Horticultura Brasileira*, 38 (2):134-138.
- Alvarenga, I.C.A., Boldrin, P.F., Pacheco, F.V., Silva, S.T., Bertolucci, 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.
- Álvaro, J.E., Lao, M.T., Urrestarazu, M., Baghour, M., Abdelmajid, M. (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.
- Andrade, R.R. (2019) *Efeito da concentração da solução nutritiva em cultivares de alface em sistema hidropônico tipo NFT, em clima semiárido*. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Fortaleza – CE, Universidade Federal do Ceará – UFC, 93 p.
- Andriolo, J.L., Jänisch, D.I., Schmitt, O.J., Vaz, M.A.B., Cardoso, F.L., Erpen, L. (2009) Concentração da solução nutritiva no crescimento da planta, na produtividade e na qualidade de frutas do morangueiro. *Ciência Rural*, 39(3): 684-690.

- Arnon, D.I., Stout, P.R. (1939) The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant physiology*, 14 (2):371-375.
- Barbosa, A.F., Carvalho, M.G., Smith, R.E., Sabaa-Srur, A.U. (2016) Spilanthol: occurrence, extraction, chemistry and biological activities. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 26 (1):128-133.
- Beckmann-Cavalcante, M.Z., Pivetta, K.F.L., Cavalcante, Í.H.L., Cavalcante, L.F., Bellingieri, P.A., Campos, M.C.C. (2010) Condutividade elétrica da solução nutritiva para o cultivo do crisântemo em vaso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:747-756.
- Bezerra Neto, E., Barreto, L. (2012) As técnicas de hidroponia. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica*, v.8, p.107-137.
- Bizzo, H.R., Hovell, A.M.C., Rezende, C.M. (2009) Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. *Química nova*, 32:588-594.
- Borges, L., Goto, R., Nunes, K., Vianello, F., Lima, G. (2015) Concentração das atividades antioxidantes em plantas de jambu, cultivadas sob adubação orgânica e mineral. *Enciclopédia Biosfera*, 11 (22):787-800.
- Borges, L., Guerrero, A.C., Goto, R., Lima, G.P.P. (2010) Teor de macronutrientes em plantas de jambu, com adubação orgânica e mineral. *Anais do Congresso Brasileiro de Horticultura*, 50, Guarapari – ES. Sesc: *Horticultura Brasileira*, v.28, p.3838-3844.
- Borges, L., Nunes, K.D.N.M., Jacques, R.A., Lima, G.P.P. (2014b) Perfil cromatográfico do óleo essencial de jambu identificados por cromatógrafo a gás acoplado a espectrômetro de massas. *Revista Cultivando o Saber*, 7 (3):29-40.
- Borges, L.D.S. (2012) *Potencial antioxidante, óleo essencial e atividade antifúngica de plantas de jambu (spilanthus oleracea), cultivadas sob adubação orgânica e convencional e processamento mínimo de nectarina (prunus persica var. nectarina): conservação de suas qualidades e propriedades bioativas*. Tese (Doutorado em Agronomia - Horticultura) - Botucatu – SP, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”– UNESP, 184p.
- Borges, L.D.S., Goto, R., Lima, G.P.P. (2014a) Índices morfo-fisiológicos e produtividade de cultivares de jambu influenciadas pela adubação orgânica e mineral. *Bioscience Journal*, 30 (6):1768-1778.
- Borges, L.S., Delgado, C.H.O., Casais, L.K.N., Nunes, K.D.N.M., Jacques, R.A., Lima, G. P. P. (2021) Composição química e potencial antifúngico do óleo essencial de jambu sob adubação orgânica e convencional. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 12 (1):461-470.

- Borges, L.S., Goto, R., Lima, G.P.P. (2013) Exportação de nutrientes em plantas de jambu, sob diferentes adubações. *Semina: Ciências Agrárias*, 34 (1):107-116.
- Cakmak, I., Yazici, A.M. (2010) Magnesium: a forgotten element in crop production. *Better crops*, 94 (2):23-25.
- 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.
- Carvalho Maia, H. M., Martins, V. C. R., Brasil, T. B., Martins, R. J., Araújo, K. S., de Souza, F. G., Silva, J. A. (2022) Cultivo de rúcula (*Eruca sativa* L.) em ambiente protegido sob diferentes concentrações de solução nutritiva. *Revista Agrária Acadêmica*, 5(1):29-37.
- Ceylan, Y., Kutman, U.B., Mengutay, M., Cakmak, I. (2016) Magnesium applications to growth medium and foliage affect the starch distribution, increase the grain size and improve the seed germination in wheat. *Plant and soil*, 406 (1):145-156.
- Chaudhry, A.H., Nayab, S., Hussain, S.B., Ali, M., Pan, Z. (2021) Current Understandings on Magnesium Deficiency and Future Outlooks for Sustainable Agriculture. *International Journal of Molecular Sciences*, 22 (4):1819.
- Choudhary, S., Zehra, A., Naeem, M., Khan, M.M.A., Aftab, T. (2020) Effects of boron toxicity on growth, oxidative damage, antioxidant enzymes and essential oil fingerprinting in *Mentha arvensis* and *Cymbopogon flexuosus*. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 7 (1):1-11.
- Chrysargyris, A., Drouza, C., Tzortzakis, N. (2017b) Optimization of potassium fertilization/nutrition for growth, physiological development, essential oil composition and antioxidant activity of *Lavandula angustifolia* Mill. *Journal of soil science and plant nutrition*, 17(2):291-306.
- Chrysargyris, A., Xylia, P., Botsaris, G., Tzortzakis, N. (2017a) Antioxidant and antibacterial activities, mineral and essential oil composition of spearmint (*Mentha spicata* L.) affected by the potassium levels. *Industrial Crops and Products*, 103:202-212.
- Cockson, P., Schroeder-Moreno, M., Veazie, P., Barajas, G., Logan, D., Davis, M., Whipker, B.E. (2020) Impact of Phosphorus on *Cannabis sativa* Reproduction, Cannabinoids, and Terpenes. *Applied Sciences*, 10 (21):7875.
- Cometti, N.N., Furlani, P.R., Genuncio, G.C. (2018) Soluções nutritivas: composição, formulação, usos e atributos. In: Fernandes, M.S., Souza, S.R., Santos, L.A. (Orgs.) *Nutrição Mineral de Plantas*. 2ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.p9-46.

- Cometti, N.N., Matias, G.C.S., Zonta, E., Mary, W., Fernandes, M.S. (2008) Efeito da concentração da solução nutritiva no crescimento da alface em cultivo hidropônico-sistema NFT. *Horticultura Brasileira*, 26 (2):262-267.
- Costa, J.P., Lourenço, N.V., Santos, C.C.M.P., Tomé, A.R., Sousa, G.F., de Sousa, D.P., Freitas, R.M. (2012) Avaliação da toxicidade aguda e das alterações histopatológicas em camundongos tratados com fitol. *Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada*, 33 (3):421-428.
- Costa, J.S., Junqueira, A M.R. (2000) Diagnóstico do cultivo hidropônico de hortaliças na região do Distrito Federal. *Horticultura brasileira*, 18 (1):49-52.
- Coutinho, H.D.M., Freitas, M.A., Gondim, C.N.F.L., Albuquerque, R.S., Alencar Ferreira, J. V., Andrade, J.C. (2015) Actividad antimicrobiana de Geraniol e Cariofileno contra *Staphylococcus aureus*. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 20 (1):98-105.
- Cunha-Chiamolera, T.P.L., Urrestarazu, M., Cecílio Filho, A.B., Morales, I. (2017) Agronomic and economic feasibility of tomato and lettuce intercropping in a soilless system as a function of the electrical conductivity of the nutrient solution. *HortScience*, 52 (9):1195-1200.
- Danh, L.T., Truong, P., Mammucari, R., Foster, N. (2011) Effect of calcium on growth performance and essential oil of vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides*) grown on lead contaminated soils. *International journal of phytoremediation*, 13 (1):154-165.
- David, E.D.F.S., Mischán, M.M., Boaro, C.S.F. (2007) Desenvolvimento e rendimento de óleo essencial de menta (*Mentha x piperita* L.) cultivada em solução nutritiva com diferentes níveis de fósforo. *Biotemas*, 20 (2):15-26.
- David, E.F.S., Boaro, C.S.F., Marques, M.O.M. (2006) Rendimento e composição do óleo essencial de *Mentha piperita* L., cultivada em solução nutritiva com diferentes níveis de fósforo. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 8 (4):183-188.
- Diniz, A.A., Silva Dias, N., Souza, F.I., Souza, A.C.M., Oliveira Mesquita, F., Souza, F. I. (2015) Efeito da solução nutritiva sob o crescimento e composição mineral em pepino cultivado em substrato de fibra de coco. *Semina: Ciências Agrárias*, 36 (5):3043-3053.
- Dixit, D., Srivastava, N.K., Sharma, S. (2002) Boron deficiency induced changes in translocation of ¹⁴CO₂-photosynthate into primary metabolites in relation to essential oil and curcumin accumulation in turmeric (*Curcuma longa* L.). *Photosynthetica*, 40 (1):109-113.
- Dobson, H.E.M., Bernays, E. (1994) Insect-plant interactions. *Floral Volatiles in Insect Biology*, 5:47-81.

- Dores, P.A.P.D. (2012) *Frescosbio: agricultura urbana*. Tese (Mestrado em Marketing Management) – Lisboa, Instituto Universitário de Lisboa – ISCTE, 135p.
- Douglas, J.S. (1987) *Hidroponia: cultura sem-terra*. 5. ed. São Paulo: Nobel, 58p.
- Dubey, S., Maity, S., Singh, M., Saraf, S.A., Saha, S. (2013) Phytochemistry, pharmacology and toxicology of *Spilanthes acmella*: a review. *Advances in pharmacological sciences*, 2013:1-9.
- Egídio, N.B., Levy, B.P. (2011) As técnicas de hidroponia. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica*: Recife, v.8, p107-137.
- El Gendy, A.G., El Gohary, A 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.
- Facundo, V.A., Polli, A.R., Rodrigues, R.V., Militão, J.S.T., Stabelli, R.G., Cardoso, C.T. (2008) Constituintes químicos fixos e voláteis dos talos e frutos de *Piper tuberculatum* Jacq. e das raízes de *P. hispidum* HBK. *Acta Amazonica*, 38 (4):743-748.
- Farias, V., Moreira, S., Gomes, R., Silva, J., Souza, G., Gusmão, S. (2010) Rendimento de variedades de jambu (*Acmella oleracea*) conduzidas em solo e hidroponia NFT. *Horticultura brasileira*, 28:260-267.
- Farzadfar, S., Zarinkamar, F., Hojati, M. (2017) Magnesium and manganese affect photosynthesis, essential oil composition and phenolic compounds of *Tanacetum parthenium*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 112:207-217.
- Fávaro, É.A., Vitorino, A.C.T., Daniel, O., Novelino, J.O. (2011) Boro e magnésio na produção de óleo essencial de *Corymbia citriodora* e teor de clorofila. *Floresta*, 41 (1):39-46.
- Favoreto, R., Gilbert, B. (2010) *Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen (Asteraceae) – Jambu. *Revista Fitos*, 5 (1):83–91.
- Fazio, J.L. (2007) *Cálcio e ethephon no desenvolvimento e produção de óleo essencial de menta (Mentha Piperita L.), cultivada em solução nutritiva*. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas (Botânica)) - Botucatu – SP, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, 101p.
- Fazio, J.L. (2011) *Mentha piperita* cultivada com variação de cálcio. Trocas gasosas e óleo essencial. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas (Botânica)) Botucatu – SP, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP, 101p.
- Felipe, L.O., Bicas, J.L. (2017) Terpenos, aromas e a química dos compostos naturais. *Química Nova na Escola*, 39 (2):120-130.

- Figueiredo, A.C., Pedro, L.G., Barroso, J.G. (2014) Plantas aromáticas e medicinais-óleos essenciais e voláteis. *Revista da APH*, 114:29-33.
- Fontes, P.D. (2016) Nutrição mineral de plantas: anamnese e diagnóstico. Viçosa, Editora UFV. 315p.
- Freitas, M.S.M., Gonçalves, Y.D.S., Lima, T.C., Santos, P.C.D., Peçanha, D.A., Vieira, M.E., Vieira, I.J.C. (2020) Potassium sources and doses in coriander fruit production and essential oil content. *Horticultura Brasileira*, 38:268-273.
- Frescura, V.D.S., Boligon, A.A., Barbosa, F.M., Souza, J.M., Lerner, M.A., Laughinghouse IV, H.D., 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.
- Furlani PR. (1997) Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia-NFT. Campinas: Instituto Agrônomo. 30p. (Boletim técnico, 168).
- Furlani, P.R., Silveira, L.C.P., Bolonhezi, D., Faquin, V. (1999) Cultivo hidropônico de plantas. Campinas: Instituto Agrônomo. 52p. (Boletim técnico, 180).
- Furlani, P.R., Silveira, L.C.P., Bolonhezi, D., Faquin, V. (2009a) Cultivo Hidropônico de Plantas: Parte 1 - Conjunto hidráulico. Artigo em Hypertexto: http://www.infobibos.com/Artigos/2009_1/Hidroponiap1/Index.htm em 25/08/2020.
- Furlani, P.R., Silveira, L.C.P., Bolonhezi, D., Faquin, V. (2009b) Cultivo hidropônico de plantas: parte 2 - Solução Nutritiva. Artigo em Hypertexto: http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/Hidroponiap2/Index.htm em 10/01/2022.
- Garlet, T.M.B., Santos, O.S.D., Medeiros, S.L.P., Manfron, P.A., Garcia, D.C., Borcioni, E., Fleig, V. (2007) Produção e qualidade do óleo essencial de menta em hidroponia com doses de potássio. *Ciência Rural*, 37:956-962.
- 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.
- Gobbo-Neto, L., Lopes, N.P. (2007) Plantas Medicinais: Fatores De Influência No Conteúdo De Metabólitos Secundários. *Química Nova*, Vol.30, No.2, p374-381.
- Gondim, A.R.O., Pereira-Flores, M.E., Martinez, H.E.P., Fontes, P.C.R., Pereira, P.R.G. (2010) Condutividade elétrica na produção e nutrição de alface em sistema de cultivo hidropônico NFT. *Bioscience Journal*, 26 (6):894-904.

- Gransee, A., Führs, H. (2013) Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. *Plant and Soil*, 368 (1):5-21.
- Gualberto, R., Oliveira, P.S.R., Guimarães, A.D.M. (2009) Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de cultivares de alface do grupo crespa em cultivo hidropônico. *Horticultura Brasileira*, 27 (1):7-11.
- Guerra, A.M.N.M., Evangelista, R.S., Silva, M.G.M., Santos, D.S. (2020) Nitrogênio influencia o acúmulo de biomassa e o rendimento de óleo essencial de manjerição. *Brazilian Journal of Development*, 6 (5):24739-24756.
- Gusmão, M.T.A., Gusmão, S.A.L. (Eds.) (2013) Jambu da Amazônia: *Acmella oleracea* (L.) RK Jansen: características gerais, cultivo convencional, orgânico e hidropônico. UFRA, Universidade Federal Rural da Amazônia. 134p.
- Gusmão, S.A.L., Gusmão, M.T.A., Velasco, W., Silvestre, D., Lopes, P.R.A. (2005) Caracterização do cultivo de jambu nas áreas produtoras que abastecem a grande Belém. *Anais do congresso brasileiro de horticultura*, Fortaleza, v.23, n.2.
- Hanafy, M., EL-Zehewy, A.E.F., Mohamed, A. (2009) Effect of foliar spray with zinc, boron and molybdenum on the growth, yield, essential oil productivity and chemical composition of rosemary (*Rosmarinus officinalis*, L.) *Plant. Journal of Productivity and Development*, 14 (1):63-86.
- Hashemabadi, D., Mostofipour, A.A., Berimavandi, A.R., Kaviani, B., Zarchini, M. (2015) Improvement of the yield and essential oils quantitative in calendula (*Calendula officinalis* L.) by using different planting arrangement and potassium fertilizer. *Journal of Ornamental Plants*, 2 (3):147-154.
- Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Skrumsager Møller, I., White, P. (2012) Functions of macronutrients. In: Marschner P (ed) *Mineral nutrition of higher plants*. Elsevier Ltda, p. 135–189.
- Hennion, B., Veschambre, D. (1997) *La fraise: maîtrise de la production*. Paris: CTIFL, 299p.
- Hoagland, D. R., Arnon, D. I. (1950) *The water-culture method for growing plants without soil*. Califórnia: Agricultural experiment station, 2 ed. 347p.
- Homma, A. (2017) Produção de comidas típicas movimenta a agricultura e a economia no Círio de Nazaré (PA): <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/28671914/artigo---producao-de-comidas-tipicas-movimenta-a-agricultura-e-a-economia-no-cirio-de-nazare-pa> em 10/09/2021.
- Homma, A.K.O., Sanches, R.S., Menezes, A.J.E.A., Gusmão, S.A.L. (2011) Etnocultivo do jambu para abastecimento da cidade de Belém, estado do Pará. *Amazônia: Ciência & Desenvolvimento*, 6 (12):125-141.

- Ianckiewicz, A., Takahashi, H. W., Fregonezi, G.A D.F., Rodini, F.K. (2013) Produção e desenvolvimento da cultura de *Physalis* L. submetida a diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva. *Ciência Rural*, 43:438-444.
- Islam, M.T., Ali, E.S., Uddin, S.J., Shaw, S., Islam, M.A., Ahmed, M. I., Atanasov, A.G. (2018) Phytol: A review of biomedical activities. *Food and chemical toxicology*, 121: 82-94.
- Jackson, M.L. (1965) Soil chemical analysis. Prentice Hall, 498p.
- Kämpf, A.N., Fermino, M.H. (2000) Substratos para plantas: a base da produção vegetal em recipientes. Porto Alegre: Gênese, 139-145.
- Karley, A.J., White, P.J. (2009) Moving cationic minerals to edible tissues: potassium, magnesium, calcium. *Current opinion in plant biology*, 12 (3):291-298.
- Khalid, K.A. (2013) Effect of potassium uptake on the composition of essential oil content in *Calendula officinalis* L. flowers. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 25 (3):189-195.
- Kumar, J., Kumar, R., Rai, R., Mishra, D.S., Singhl, S.K., Nimbolkar, P.K. (2017) Influence of foliar application of mineral nutrients at different growth stages of guava. *Journal of Plant Nutrition*, 40:656-661.
- Lange, A., Cavalli, E., Pereira, C.S., Chapla, M.V., Silva Freddi, O. (2021) Relações cálcio: magnésio e características químicas do solo sob cultivo de soja e milho. *Nativa*, 9 (3):294-301.
- Leite, N.F., Sobral-Souza, C.E., Albuquerque, R.S., Brito, D.I., Lavor, A.K., Alencar, L.B., Coutinho, H.D. (2013) Actividad antiparasitaria in vitro citotóxica de cariofileno y eugenol contra *Trypanosoma cruzi* y *Leishmania brasiliensis*. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 18 (4):522-528.
- Lemos, A.S.O., Campos, L.M., Oliveira Freitas, J.C., Marchesini, P., Oliveira Monteiro, C.M., Barbosa, A.F. Fabri, R.L. (2021) Espilantol, uma molécula promissora para o tratamento de distúrbios inflamatórios: um estudo *in vitro* e *in silico*. *Journal of Biology Pharmacy and Agricultural Management*, 17 (2).
- Lester, G.E. (2005) Whole plant applied potassium: effects on cantaloupe fruit sugar content and related human wellness compounds. *Acta Horticulturae*, 682 (682):487-92.
- Ley, J.P., Blings, M., Krammer, G., Reinders, G., Schmidt, C.O., Bertram, H. J. (2006) Isolation and synthesis of acmellonate, a new unsaturated long chain 2-ketol ester from *Spilanthes acmella*. *Natural Product Research*, 20 (9):798-804.

- Lima, H.R.P., Kaplan, M.A.C., Cruz, A.V.D.M. (2003) Influência dos fatores abióticos na produção e variabilidade de terpenoides em plantas. *Floresta e Ambiente*, 10 (2):71-77.
- López, C.C. (coord.) (1998) *Fertirrigacion: cultivos hortícolas y ornamentales*. Barcelona: MundiPrensa, 475p.
- Lorenzi, H., Matos F.J.A. (2008) *Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas*. 2.ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum. 544p.
- Maia, N.B. (1998) Efeito da nutrição mineral na qualidade do óleo essencial da menta (*Mentha arvensis* L.) cultivada em solução nutritiva. In Ming, L.C. (Coord.) *Plantas medicinais aromática e condimentares: avanços na pesquisa agrônômica*. Botucatu: UNESP, p. 81-96.
- Mann, J. (2001) *Secondary metabolism*. 2. ed. Oxford: Oxford Science, 374p.
- Marschner, H. (2012) *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. 3 ed. London: Academic Press. 684p.
- McCauley, A., Jones, C., Jacobsen, J. (2009) Plant nutrient functions and deficiency and toxicity symptoms. *Nutrient management module*, 9:1-16.
- Monteiro, S. M. F. (2019) *Desempenho de variedades de Jambu cultivadas sob diferentes níveis de sombreamento*. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Ciências Agrônômicas (Biblioteconomia)) – Capanema – PA, Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, 50p.
- Morais, L.A.S. (2009) Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. *Anais do Congresso Brasileiro de Olericultura*. Brasília: *Horticultura Brasileira*, v.27, n.2, p.3299-3302.
- Mota, P.R.D.A., Fernandes, D.M., Ludwig, F. (2016) Development and mineral nutrition of gerbera plants as a function of electrical conductivity. *Ornamental Horticulture*, 22(1):37-42.
- Mota, P.R.D.A., Fiorim, A.C.R., Bôas, R.L.V., Folegatti, M.V., Ludwig, F., Silva, M.E.A.D. (2013) Condutividade elétrica da solução nutritiva e acúmulo de macro e micronutrientes no cultivo de crisântemo. *Bragantia*, 72:81-89.
- Nabi, A., Naeem, M., Aftab, T., Khan, M.M.A. (2020) Alterations in photosynthetic pigments, antioxidant machinery, essential oil constituents and growth of menthol mint (*Mentha arvensis* L.) upon nickel exposure. *Brazilian Journal of Botany*, 43(4):721-731.
- Oliveira, F.D.A.D., Santos, S.T.D., Costa, J.P.D.M., Aroucha, E. M., Almeida, J.G.L.D., Oliveira, M.K. (2018) Efeito da condutividade elétrica da solução nutritiva na qualidade de frutos de maxixeiro (*Cucumis anguria*) cultivado em substrato. *Revista de Ciências Agrárias*, 41 (2):221-230.

- O'Neill, M.E., Mathews, K. L. (2000) A weighted least squares approach to Levene test of homogeneity of variance. *Australian e New Zealand Journal Statistical*. 42 (1):81-100.
- Parreiras, N.D.S. (2017) *Aplicação de cálcio em pré-colheita de atemoia 'Thompson': trocas gasosas, óleo essencial de folhas e características físico-químicas dos frutos*. Tese (Doutorado em Agronomia (Horticultura)) – Botucatu – SP, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, 71p.
- 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.
- Peçanha, D.A. (2017) *Deficiência de nutrientes minerais em Acmella oleracea: teores minerais, sintomas visuais, espilantol e compostos fenólicos*. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 69p.
- Peçanha, D.A., Freitas, M.M., Vieira, M.E., Lima, T.C., Gonçalves, Y.S. (2019) Characterization of deficiency symptoms and mineral nutrient content in *Acmella oleracea* cultivated under macronutrient and boron omissions. *Journal of Plant Nutrition*, 42 (8):879-890.
- Peçanha, D.A., Freitas, M.S.M., Vieira, M.E., Cunha, J.M., Jesus, A.C. (2021) Phosphorus fertilization affects growth, essential oil yield and quality of true lavender in Brazil. *Industrial Crops and Products*, 170:1-8.
- Peters, J.B. (2005) Wisconsin procedures for soil testing, plant analysis and feed e forage analysis: Plant analysis. Department of Soil Science, college of agriculture and life sciences, University of Wisconsin Extension, Madison. <https://datcp.wi.gov/Documents/NMProcedures.pdf> em 25/06/2021.
- Potrich, A.C.G., Pinheiro, R.R., Schmidt, D. (2012) Alface hidropônica como alternativa de produção de alimentos de forma sustentável. *Enciclopédia Biosfera, Goiânia*, 8 (15):36-48.
- Prachayasittikul, V., Prachayasittikul, S., Ruchirawat, S., Prachayasittikul, V. (2013) High therapeutic potential of *Spilanthes acmella*: a review. *EXCLI journal*, 12:291-312.
- Prazeres, A.R., Albuquerque, A., Luz, S., Jerónimo, E., Carvalho, F. (2017) Hydroponic System: A Promising Biotechnology for Food Production and Wastewater Treatment. In *Food Biosynthesis*, Academic Press, 317-350.
- Rajab, B.E., Ghanati, F., Sefidkon, F. (2008) Investigation on the effect of iron on *Ocimum basilicum* L. essential oil. *Journal of Science (University Of Tehran) (JSUT)*, 33 (4):49-53.

- Ramos, S.J., Fernandes, L.A., Marques, C.C.L., Silva, D.D., Palmeira, C.M., Martins, E.R. (2005) Produção de matéria seca e óleo essencial de menta sob diferentes doses de fósforo. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 8 (1):9-12.
- Rhodes, R., Miles, N., Hughes, J.C. (2018) Interactions between potassium, calcium and magnesium in sugarcane grown on two contrasting soils in South Africa. *Field Crops Research*, 223:1–11.
- Rouphael, Y., Cardarelli, M., Lucini, L., Rea, E., Colla, G. (2012) Nutrient solution concentration affects growth, mineral composition, phenolic acids, and flavonoids in leaves of artichoke and cardoon. *HortScience*, 47 (10):1424-1429.
- Rozane, D.E., Prado, R.D.M., Franco, C.F., Natale, W. (2007) Eficiência de absorção, transporte e utilização de macronutrientes por porta-enxertos de caramboleira, cultivados em soluções nutritivas. *Ciência e agrotecnologia*, 31 (4):1020-1026.
- Said-Al Ahl, H.A.H., Ayad, H.S., Hendawy, S.F. (2009) Effect of potassium humate and nitrogen fertilizer on herb and essential oil of oregano under different irrigation intervals. *Journal of Applied Sciences*, 2 (3):319-323.
- Said-Al Ahl, H.A.H., Hussein, M.S. (2010) Effect of water stress and potassium humate on the productivity of oregano plant using saline and fresh water irrigation. *Ozean Journal of Applied Sciences*, 3 (1):125-141.
- Sampaio, I.M., Silva, M.L., Bittencourt, R.F., Santos, G.A., Nunes, F.K., Costa, V.C. (2021) Productive and physiological responses of jambu (*Acmella oleracea*) under nutriente concentrations in nutrient solution. *Horticultura Brasileira*, 39:65-71.
- Sampaio, I.M.G., Silva Júnior, M.L., Moraes Bittencourt, R.F.P., Neto, H.D.S.L., Souza, D.L., Nunes, F.K.M., Silva, L.C. Figueiredo, S.P.R. (2019) Sintomas de deficiências nutricionais e produção de massa seca em plantas de jambu (*Acmella oleraceae*) submetidas as omissões de nutrientes. *Brazilian Journal of Development*, 5 (12):31549-31563.
- Santos, J.D., Silva, A.L.L., Luz Costa, J., Scheidt, G.N., Novak, A.C., Sydney, E.B., Soccol, C.R. (2013) Development of a vinasse nutritive solution for hydroponics. *Journal of environmental management*, 114:8-12.
- Santos, M.J., Neto, E.B., França, Ê.F., Santos, M.V.F. (2016) Produção e composição bromatológica de milho e sorgo cultivados hidroponicamente sem substrato. *Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica: Recife*, v. 11, p. 226-241.
- Sarab, D., Naghdi Badi, H., Nasi, M., Makkizadeh, M., Midi, H. (2008) Changes in essential oil content and yield of basil in response to different levels of nitrogen and plant density. *Journal of Medicinal Plants*, 7:60–70.

- Schmitt, O.J., Andriolo, J.L., Schultz, E., Lerner, M.A., Souza, J.M., Picio, M.D. (2016) Produção de estolhos de cultivares de morangueiro em função da condutividade elétrica da solução nutritiva. *Horticultura Brasileira*, 34:294-301.
- Seo, M.W., Yang, D.S., Kays, S.J., Kim, J.H., Woo, J.H., Park, K.W. (2009) Effects of nutrient solution electrical conductivity and sulfur, magnesium, and phosphorus concentration on sesquiterpene lactones in hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Scientia horticulturae*, 122 (3):369-374.
- Sfredo, G.J., Lantmann, A.F. (2007) Enxofre nutriente necessário para maiores rendimentos da soja. Embrapa Soja. Londrina. 6p. Circular técnica.
- Shapiro, S.S., Wilk, M.B. (1965) An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52 (3/4):591-611.
- Silva, G.A.D.R., Santos, J.U.M.D. (2011) *Acmella marajoensis* GAR Silva JUM Santos: uma nova espécie de Asteraceae para a Amazônia brasileira. *Acta Amazonica*, 41 (2):191-194.
- Silva, I.F., Silva, R.D.L., Borges, L.S., Casais, L.K.N., Lima, M.S.S., Nunes, K.D.N.M., Medeiros, M.D.B.C.L. (2020) Teor de clorofila e produtividade do jambu sob cultivo hidropônico e solo em diferentes períodos. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 11 (4):386-394.
- Silva, P.F., Matos, R.M., Bonou, S.M., Sobrinho, T.G., Borges, V.E., Neto, J.D., Junior, A.M. (2019) Yield of the hydroponic lettuce under levels of salinity of the nutrient solution. *African Journal of Agricultural Research*, 14 (14):686-693.
- Silva, T.I., Chaves, J.T.L., Bezerra, A. E., Souza Silva, J., Santos, H.R., Marco, C.A. (2017) Produção de fitomassa e teor de óleo essencial de *Ocimum basilicum* L. submetido ao estresse salino. *Acta Iguazu*, 6 (2):71-80.
- Skubij, N., Dzida, K. (2019) Essential oil composition of summer savory (*Satureja hortensis* L.) cv. Saturn depending on nitrogen nutrition and plant development phases in raw material cultivated for industrial use. *Industrial Crops and Products*, 135:260-270.
- Sousa Júnior, F. S., Silva, P. C. C. (2022). Avaliação da qualidade da água para irrigação dos açudes urbanos do município de Angicos-RN. *Conjecturas*, 22(1):834-849.
- Souza, M.A.A., Araujo, O.J., Ferreira, M.A., Stark, E.M.L., Fernandes, M.S., Souza, S.R. (2007) Produção de biomassa e óleo essencial de hortelã em hidroponia em função de nitrogênio e fósforo. *Horticultura Brasileira*, 25:41-48.
- Sugier, D., Sugier, P., Kowalski, R., Kołodziej, B., Olesińska, K. (2017) Foliar boron fertilization as factor affecting the essential oil content and yield of oil

- components from flower heads of *Arnica montana* L. and *Arnica chamissonis* Less. cultivated for industry. *Industrial Crops and Products*, 109:587-597.
- Szöke, E., Máday, E., Kiss, S.A., Sonnewend, L., Lemberkovics, E. (2004) Effect of magnesium on essential oil formation of genetically transformed and nontransformed chamomile cultures. *Journal of the American College of Nutrition*, 23 (6):763-767.
- Taiz, L., Zeiger, E. (2009) *Fisiologia vegetal*. Porto Alegre: Artmed, 819p.
- Taiz, L., Zeiger, E., Müller, I.M., Murphy, A. (2017) *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 888p.
- Trindade, P.S.C, Oliveira Filho, A.D., Farias, E.D., Santos, P.A., Sena, W.L. (2020) Avaliação da Produção de Fitomassa e Sintomas de Deficiência na Cultura do Jambu [*Acmella oleracea* (L.) RK Jansen] Cultivado Sob Omissão de Macronutrientes e Ferro. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 3(3):1555-1571.
- Tripathi, A.K., Ram, R.B., Rout, S., Kumar, A., Patra, S.S. (2017) Studies on the effect of nitrogen levels and spacing on quality traits of radish (*Raphanus sativus* L.) cv. Kashi Sweta. *International journal of chemical studies*, 5 (6):537-40.
- Vasconcelos, L.S.B., Neto, E.B., Nascimento, C.W.A., Barreto, L.P. (2014) Desenvolvimento de plantas de coentro em função da força iônica da solução nutritiva. *Pesquisa Agropecuária Pernambucana*, 19 (1):11-19.
- Viana, P.C., Freitas, F.T.O., Silva, N.D., Soares, T.M., Paz, M.G.F. (2018) Estatística multivariada como ferramenta descritiva na análise sensorial de alface hidropônica produzida com águas salobras. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 12 (4):2725-2730.
- Vieira, M.E., Freitas, M.S.M., Peçanha, D.A., Lima, T.C., Martins, M.A., Vieira, I.J.C. (2021) Fungos micorrízicos arbusculares e fósforo na produção de espilanthol e composto fenólico em plantas de jambu. *Horticultura Brasileira*, 39 (2):192-198.
- Vilanova, C.M., Coelho, K.P., Luz, T.R.S.A., Silveira, D.P.B., Coutinho, D.F., Moura, E.G. (2018) Effect of different water application rates and nitrogen fertilisation on growth and essential oil of clove basil (*Ocimum gratissimum* L.). *Industrial Crops and Products*, 125:186-197.
- Villachica, H., Carvalho, J.E.U., Mercado, R.S., Izquierdo, J., Egg, A. B. (1996) *Frutales y hortalizas promisorios de la Amazonia*. Lima: Tratado de Cooperacion Amazonica, Secretaria Pro-Tempore. 349p.
- Vulpi, T., Morais, C., Trindade, A., Lima, M., Veloso, L. (2007) Analysis of the essential oil of different organs *Acmella ciliate* Kunth (Asteraceae). *Brazilian Journal Bioscience*, 5:1128-1130.

- Walia, S., Kumar, R. (2021) Nitrogen and Sulfur Fertilization Modulates the Yield, Essential Oil and Quality Traits of Wild Marigold (*Tagetes minuta* L.) in the Western Himalaya. *Frontiers in Plant Science*, 11:1-17.
- Yoshimatsu, K. (2012) Innovative cultivation: Hydroponics of medicinal plants in the closed-type cultivation facilities. *Journal of Traditional Medicine*, 29 (1):30-34.
- Zahedifar, M., Najafian, S.H. (2015) Combined Effect of Soil Applied Iron and Sulfur Fertilisers on Monoterpene Content and Antioxidant Activity of *Satureja hortensis* L. Extract. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 38 (3):361-374.
- Zheljazkov, V.D., Craker, L.E., Xing, B. (2006) Effects of Cd, Pb, and Cu on growth and essential oil contents in dill, peppermint, and basil. *Environmental and Experimental Botany*, 58 (1-3):9-16.
- 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.
- Zörb, C., Senbayram, M., Peiter, E. (2014) Potassium in agriculture—status and perspectives. *Journal of plant physiology*, 171 (9):656-669.