



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ITALO MARLONE GOMES SAMPAIO

**CULTIVO DE JAMBU EM SISTEMA HIDROPÔNICO: CONCENTRAÇÃO IÔNICA
E APORTE DE NITROGÊNIO EM DIFERENTES GENÓTIPOS**

BELÉM

2021

ITALO MARLONE GOMES SAMPAIO

**CULTIVO DE JAMBU EM SISTEMA HIDROPÔNICO: CONCENTRAÇÃO IÔNICA
E APORTE DE NITROGÊNIO EM DIFERENTES GENÓTIPOS**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia para obtenção do grau de Doutor em Agronomia:

Área de concentração: Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof^o. Dr^o. Mário Lopes da Silva Júnior

BELÉM

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S192c Sampaio, Italo Marlone Gomes
Cultivo de jambu em sistema hidropônico: concentração iônica e aporte de nitrogênio em diferentes genótipos / Italo Marlone Gomes Sampaio. - 2021.
99 f. : il. color.
- Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA), Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2021.
Orientador: Prof. Dr. Mário Lopes da Silva Júnior
1. Acmella oleracea. 2. Acmella ciliata. 3. Hidroponia. 4. Espilantol. 5. Nutrição. I. Silva Júnior, Mário Lopes da, *orient.* II. Título

CDD 631.585

ITALO MARLONE GOMES SAMPAIO

**CULTIVO DE JAMBU EM SISTEMA HIDROPÔNICO: CONCENTRAÇÃO IÔNICA
E APORTE DE NITROGÊNIO EM DIFERENTES GENÓTIPOS**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do grau de Doutor em Agronomia. Área de concentração: Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof^o. Dr^o. Mário Lopes da Silva Júnior

Data da aprovação: 29 de junho de 2021

BANCA EXAMINADORA

Mário Lopes da Silva Júnior

Prof. Mário Lopes da Silva Júnior - Presidente
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA

Milena Maria Tomaz de Oliveira

Dr^a. Milena Maria Tomaz de Oliveira - 1^o Examinador
Ben-Gurion University of the Negev - BGU

Kelly de Nazaré Maia Nunes

Dr^a. Kelly de Nazaré Maia Nunes - 2^o Examinador
Instituto de Desenvolvimento Florestal e da Biodiversidade do Estado do Pará- Ideflor-Bio

Hozano de Souza Lemos Neto

Dr. Hozano de Souza Lemos Neto - 3^o Examinador
Universidade Federal Rural do Semi-Árido-UFERSA

Gilson S. B. Matos

Prof. Gilson Sergio Bastos de Matos - 4^o Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA

DEDICO

Aos meus pais, Ana Lúcia Serrão Gomes e Edilberto Rodrigues Sampaio, pelos ensinamentos e inúmeros sacrifícios. Vocês são minha referência e o maior tesouro que tenho nesta terra.

Aos meus irmãos Atassio Carone Gomes Sampaio, Priscila Gomes Sampaio e Agno Derlon Gomes Sampaio (*in memoriam*), pela amizade, fé e apoio, em especial, ao meu irmão Agno que está nos braços do Pai.

Aos meus amigos e demais familiares, tão importantes em todos os momentos da minha vida pelo incentivo.

OFEREÇO

A minha noiva, Aline Serrão Cardoso, pela amizade, amor, dedicação e paciência. Agradeço por acreditar em mim e por ter dado uma nova oportunidade de lhe mostrar que podemos vencer as dificuldades juntos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser a grande razão de minha vida em todos os momentos. Agradeço pela força e amor, pois cada passo dessa caminhada sentir Sua presença real. Agradeço por permitir que eu seja Seu humilde servo, escravo de Sua vontade, canal de esperança às pessoas que estão ao meu alcance. Que sua luz esteja em mim todos os dias.

Ao Prof. Dr. Mário Lopes da Silva Junior, pelos ensinamentos de vida e profissão, por sua amizade e confiança e pela orientação ao longo deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Sérgio Antonio Lopes de Gusmão, por ser meu exemplo, parceiro e amigo. Sua presença sempre trouxe luz em momentos de trevas em minha mente. Obrigado por tudo amado mestre!

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Pgagro) da Universidade Federal Rural da Amazônia, pelos ensinamentos e incentivos ao longo do doutorado.

À Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA), pelo apoio financeiro ao projeto e concessão da bolsa de doutorado.

À Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, por serem mediadores da conquista dessa etapa da minha vida.

Ao Centro de Valorização de Compostos Bioativos da Amazônia (CVACBA), coordenado pelo Prof. Dr. Hervé Rogez que deu todo apoio às análises de espilantol. Agradeço a parceria e ensinamentos repassados.

Aos membros da banca examinadora, pelas correções e atenção direcionada ao trabalho.

Aos trabalhadores da horta nas pessoas Raimundo Rosa (Dico), Edeilson Barbosa (Deco) e José Maria (Seu Alex) pela ajuda, força e conversas.

Aos meus amigos de laboratório e equipe de trabalho Ricardo Falesi, Vivian Costa, Stefany Figueiredo, Erika Chagas, Eder Oliveira e Gabriel Santos. Vocês foram fundamentais para realização desse trabalho.

Aos grandes amigos Bruno Brito, Micael Favacho e Leandro Carvalho (*in memoriam*) que me acolheram e ajudaram nos momentos mais difíceis desse período. Vocês são um grande presente de Deus.

À minha família, em especial pais e irmãos, por serem o alicerce, o farol, da pessoa que sou.

Agradeço eternamente!

RESUMO

O jambu é uma hortaliça não convencional da Região Amazônica, que tem expressivo potencial econômico, devido a presença do espilantol, substância que possui inúmeras aplicações na indústria. Contudo, estudos sobre genótipos de jambu em sistema hidropônico com o aporte de nutrientes na solução nutritiva são incipientes. Nesse sentido, esse trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de genótipos de jambu em hidroponia, com diferentes concentrações iônicas da solução nutritiva e aporte de nitrogênio. Para tanto, foram conduzidos três experimentos em delineamento inteiramente casualizado. No primeiro, testou-se o desempenho produtivo de oito genótipos de jambu (UFR-1, UFR-2, UFR-3, UFR-4, UFR-5, UFR-6, UFR-7 e UFR-8) coletados em diferentes localidades do Estado do Pará. Para o segundo, aplicaram-se seis concentrações iônicas (25, 50, 75, 100 e 125% da força iônica) da solução proposta por Hoagland & Arnon. Nestes dois, avaliaram-se o crescimento, produção e trocas gasosas da planta. Para o terceiro, foram testadas seis concentrações de nitrogênio (11, 13, 15, 17, 19 e 21 mmol L⁻¹ de N) na solução nutritiva. Neste se avaliou o crescimento, produção, qualidade pós-colheita, pigmentos fotossintéticos, concentração de espilantol em órgãos do jambu, bem como a viabilidade do índice SPAD para avaliar o *status* de nitrogênio em folhas de jambu e prognosticar a produção. Os genótipos apresentaram comportamento distintos entre e dentro da mesma espécie em relação as características de crescimento, produtivas e fisiológicas avaliadas. Os genótipos da espécie *A.oleracea*, além da capacidade de acúmulo de massa fresca da parte aérea, apresentam elevado potencial para produção de inflorescências, destacando-se os genótipos UFR-2 e UFR-4 por suas maiores capacidade na produção de massa fresca da parte aérea e inflorescências, respectivamente. Quanto ao efeito das concentrações iônicas na solução nutritiva, a concentração de 125% da formulação proposta por Hoagland & Arnon promoveu maior crescimento e produção das plantas de jambu. O aporte de nitrogênio na solução nutritiva altera o crescimento, produção e qualidade de plantas de jambu. Assim, suprimentos de 21 mmol L⁻¹ de N na solução nutritiva resultou em maior concentração de N nas folhas, o que promoveu maior produção de biomassa da parte aérea e de inflorescência, pigmentos fotossintéticos e conteúdo de espilantol nos órgãos da planta. Além disso, houve correlação linear e positiva entre o índice SPAD e o teor de nitrogênio, clorofila total e o acúmulo de biomassa no jambu, apresentando, portanto, potencial para ser usado no diagnóstico do estado nutricional de N e prognosticar a produção.

Palavras-chaves: Condutividade elétrica, Espilantol, Hortaliça não convencional, Nitrogênio.

ABSTRACT

Jambu is an unconventional vegetable from the Amazon region, which has significant economic potential, due to the presence of epilantol, a substance that has numerous applications in industry. However, studies on jambu genotypes in hydroponic system with the input of nutrients in the nutrient solution are incipient. In this sense, this work aimed to evaluate the performance of jambu genotypes in hydroponics, with different ionic concentrations of the nutrient solution and nitrogen supply. Therefore, three experiments were carried out in a completely randomized design. In the first, the productive performance of eight jambu genotypes (UFR-1, UFR-2, UFR-3, UFR-4, UFR-5, UFR-6, UFR-7 and UFR-8) collected in different locations in the state of Pará. For the second, six ionic concentrations (25, 50, 75, 100 and 125% of the ionic strength) of the solution proposed by Hoagland & Arnon were applied. In these two, the growth, production and gas exchange of the plant were evaluated. For the third, six concentrations of nitrogen (11, 13, 15, 17, 19 and 21 mmol L⁻¹ of N) in the nutrient solution were tested. It was evaluated the growth, yield, postharvest quality, photosynthetic pigments, spilantol concentration in jambu organs, as well as the feasibility of the SPAD index to assess the nitrogen status in jambu leaves and predict production. The genotypes showed different behavior between and within the same species in relation to the evaluated growth, productive and physiological characteristics. The genotypes of the species *A. oleracea*, in addition to the capacity to accumulate fresh mass of the aerial part, have a high potential for production of inflorescences, with the genotypes UFR-2 and UFR-4 standing out for their greater capacity in the production of fresh mass of the shoot aerial part and inflorescences, respectively. As for the effect of ionic concentrations in the nutrient solution, the 125% concentration of the formulation proposed by Hoagland & Arnon promoted greater growth and production of jambu plants. The contribution of nitrogen in the nutrient solution alters the growth, production and quality of jambu plants. Thus, supplies of 21 mmol L⁻¹ of N in the nutrient solution resulted in a higher concentration of N in the leaves, which promoted greater production of aboveground and inflorescence biomass, photosynthetic pigments and spilantol content in plant organs. In addition, there was a linear and positive correlation between the SPAD index and the nitrogen content, total chlorophyll and the accumulation of biomass in jambu, presenting, therefore, potential to be used in the diagnosis of the nutritional status of N and in predicting production.

Key words: Electrical conductivity, Spilanthol, Non-conventional vegetables, Nitrogen

LISTA DE FIGURAS

2. DESEMPENHO PRODUTIVO E FISIOLÓGICO DE GENÓTIPOS DE JAMBU CULTIVADOS EM HIDROPONIA

Figura 1. Diferenças morfológicas entre as inflorescências de genótipos das espécies *A.oleracea* (A) e *A.ciliata* (B) cultivados em sistema hidropônico de cultivo, Belém, PA, 2018.....29

3. PRODUCTIVE AND PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF JAMBU (*ACMELLA OLERACEA*) UNDER NUTRIENT CONCENTRATIONS IN NUTRIENT SOLUTION

Figure 1. Stem diameter (D), main stem length (MSL), number of inflorescences (NI) and leaf area (LA) of jambu plants in relation to the variation in ionic concentration in the nutritive solution. ** significant at 1% probability; * significant at 5% probability by t test. Vertical lines are standard errors (n = 4).....41

Figure 2. Shoot fresh mass (FMA), shoot dry mass (DMA), root fresh mass (FMR), root dry mass (DMR), fresh mass of inflorescence (FMI) and dry mass of inflorescence (DMI) of jambu plants in relation to the variation of ionic concentration in the nutrient solution. ** significant at 1% probability; * significant at 5% probability by t test. Vertical lines are standard errors (n = 4).....43

Figure 3. Liquid photosynthesis (A), stomatic conductance (gs), transpiration (E), internal CO₂ concentration (Ci), Ci/Ca ratio (Ci/Ca) and instantaneous carboxylation efficiency (A/Ci) of jambu plants in relation to ionic concentration variation in nutrient solution. ** significant at 1% probability; * significant at 5% probability by t test. Vertical lines are standard errors (n = 4).....45

4. PRODUCTION AND POSTHARVEST QUALITY OF JAMBU IN HYDROPONICS UNDER NITROGEN APPLICATION IN NUTRIENT SOLUTION

Figure 1. Shoot fresh mass (a), shoot dry mass (b), inflorescence fresh mass (c) and inflorescence dry mass (d) of jambu plants as a function of increased nitrogen concentration in nutrient solution. ** significant at 1% probability level; * significant at 5% probability level by t-test. Belém, Pará, 2019.

- Vertical lines are standard errors (n = 8).....57
- Figure 2. Leaf area (a), number of inflorescences (b) and N content (c) of jambu plants as a function of increased nitrogen concentration in the nutrient solution. ** significant at 1% probability level; * significant at 5% probability level by t-test. Belém, Pará, 2019. Vertical lines are standard errors (n = 8).....59
- Figure 3. Total soluble solids (a), hydrogen potential (b), titratable acidity (c) and total soluble solids to titratable acidity ratio (d) of jambu plants as a function of increased nitrogen concentration in the nutrient solution. ** significant at 1% probability level; * significant at 5% probability level by t test. Belém, Pará, 2019. Vertical lines are standard errors (n= 8).....62

5. ALTERAÇÕES DE BIOMASSA E ESPILANTOL NO JAMBU (*ACMELLA OLERACEA* L.) CULTIVADO EM HIDROPONIA EM FUNÇÃO DO APORTE NITROGENADO

- Figura 1. Massa fresca da parte aérea (A), massa seca da parte aérea (B), massa fresca da raiz (C), massa seca da raiz (D), massa fresca das inflorescências (E) e massa seca das inflorescências (F) de plantas de jambu em função do aumento da concentração de nitrogênio na solução nutritiva. ** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. A barra representa o erro padrão (n = 4).....74
- Figura 2. Conteúdo de clorofila a (A), clorofila b (B) e carotenoides (C) de folhas de jambu cultivada em hidroponia em função do aumento da concentração de nitrogênio na solução nutritiva. ** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. A barra representa o erro padrão (n = 4).....76
- Figura 3. Teor de N em folhas de jambu em função do aumento da concentração de nitrogênio na solução nutritiva. ** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. A barra representa o erro padrão (n = 4).....78
- Figura 4. Concentração de espilantol na inflorescência (A), na parte aérea (B) e raiz

(C) de plantas de jambu em função do aumento da concentração de nitrogênio na solução nutritiva. ** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. A barra representa o erro padrão (n = 4).....79

6. EVALUATION OF THE NON-DESTRUCTIVE METHOD EFFICIENCY OF ESTIMATING NITROGEN CONTENT IN JAMBU PLANTS GROWN IN HYDROPONIC SYSTEM

Figure 1. Leaf dry mass of jambu in function of the increase of the nitrogen concentration in nutritive solution ** significant in 1% of probability; * significant in 5% of probability.....91

Figure 2. Content (A) and N accumulation (B) in jambu leaves in function of the increase of nitrogen concentration in the nutritive solution ** significant to 1% of probability; * significant to 5% of probability by t test.....92

Figure 3. Jambu leaf pigmentation levels taken of the second pair of leaves from the apex to basis of the main stem at the end of the vegetative phase.....93

Figure 4. SPAD index (A) and total chlorophyll content (B) of jambu plants as a function of increased nitrogen concentration in the nutrient solution.** significant at 1% probability; * significant at 5% probability by t-test.....94

Figure 5. Pearson correlation between SPAD indices and leaf dry mass (A), total chlorophyll (B), N content (C) and N accumulation (D). ** Significant at 1% of probability by t test.....96

LISTA DE TABELAS

2. DESEMPENHO PRODUTIVO E FISIOLÓGICO DE GENÓTIPOS DE JAMBU CULTIVADOS EM HIDROPONIA

- Tabela 1. Acessos de jambu do Banco de germoplasma da UFRA coletados em diferentes localidades do Estado do Pará em 2017. Belem-PA, 2018.....24
- Tabela 2. Início do pendoamento (IP- dias), comprimento da rama principal (CRP- cm), diâmetro da rama principal (DRM- mm), número de inflorescência (NI), número de ramificações (NR) e área foliar (AF- $\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$) de genótipos de *A.oleracea* e *A.ciliata* cultivados em sistema hidropônico de cultivo, Belém, PA, 2018.....26
- Tabela 3. Massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca da raiz (MFR), massa fresca de inflorescência (MFI) e massa fresca total (MFT) de genótipos de *A.oleracea* e *A.ciliata* cultivados em sistema hidropônico de cultivo, Belém, PA, 2018.....28
- Tabela 4. Fotossíntese líquida ($A-\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática ($g_s-\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração interna de CO_2 ($C_i-\text{ppm}$) e eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i) de genótipos de *A.oleracea* e *A.ciliata* cultivados em sistema hidropônico de cultivo, Belém, PA, 2018.....30

4. PRODUCTION AND POSTHARVEST QUALITY OF JAMBU IN HYDROPONICS UNDER NITROGEN APPLICATION IN NUTRIENT SOLUTION

- Table 1. Stock solutions and quantity used in the solution (mL L^{-1}) to prepare the treatments. Belém, Pará, 2019.....54
- Table 2. Chemical characterization of the coconut powder substrate used for the production of jambu (*Acmella oleracea*) seedlings. Belém, Pará, 2019.....55

6. EVALUATION OF THE NON-DESTRUCTIVE METHOD EFFICIENCY OF ESTIMATING NITROGEN CONTENT IN JAMBU PLANTS GROWN IN HYDROPONIC SYSTEM

- Table 1. Composition of nutritive solutions (ml L^{-1}) used to prepare the treatments.....89

SUMÁRIO

1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	15
	REFERÊNCIAS.....	18
2	DESEMPENHO PRODUTIVO E FISIOLÓGICO DE GENÓTIPOS DE JAMBU EM HIDROPONIA.....	21
	Introdução.....	23
	Material e Métodos.....	23
	Resultados e discussão.....	25
	Conclusões.....	32
	REFERÊNCIAS.....	32
3	PRODUCTIVE AND PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF JAMBU (ACMELLA OLERACEA) UNDER NUTRIENT CONCENTRATIONS IN NUTRIENT SOLUTION.....	35
	Introdução.....	37
	Material e Métodos.....	38
	Resultados e Discussão.....	40
	Conclusões.....	48
	REFERÊNCIAS.....	48
4	PRODUCTION AND POSTHARVEST QUALITY OF JAMBU IN HYDROPONICS UNDER NITROGEN APPLICATION IN NUTRIENT SOLUTION.....	51
	Introduction.....	53
	Material and Methods.....	54
	Results and discussion.....	57
	Conclusions.....	64
	REFERÊNCIAS.....	64
5.	ALTERAÇÕES DE BIOMASSA E ESPILANTOL NO JAMBU (ACMELLA OLERACEA L.) CULTIVADO EM HIDROPONIA EM FUNÇÃO DO APORTE NITROGENADO.....	67
	Introdução.....	69
	Material e Métodos.....	70
	Resultados e discussão.....	73
	Conclusões.....	81

	REFERÊNCIAS.....	81
6	EVALUATION OF THE NON-DESTRUCTIVE METHOD EFFICIENCY OF ESTIMATING NITROGEN CONTENT IN JAMBU PLANTS GROWN IN HYDROPONIC SYSTEM.....	85
	Introduction.....	87
	Material and Methods.....	88
	Results and discussion.....	91
	Conclusions.....	97
	REFERÊNCIAS.....	98
	CONCLUSÕES GERAIS.....	101

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O jambu é uma hortaliça não convencional encontrada na América tropical, principalmente a Amazônia brasileira (GUSMÃO; GUSMÃO, 2013). Existe duas espécies usadas na região para fins medicinais e culinários, que são a *Acmella oleracea* (L.) R.K Jansen e a *Acmella ciliata* (Kunth) Cass. A primeira apresenta crescimento semi-ereto, folhas ovaladas e inflorescências simples alongadas e a segunda é rastejante, apresenta folhas lanceoladas e inflorescências simples globóides (SILVA; SANTOS, 2011; MARTINS *et al.*, 2012).

A *Acmella oleracea* possui maior destaque na região norte do Brasil, especificamente na região metropolitana de Belém do Pará, local em que faz parte da cultura gastronômica, tornando pratos, como o tacacá, patrimônio imaterial da cidade de Belém, o que representa importância econômica significativa para região (IPHAN, 2014; GUSMÃO; GUSMÃO, 2013). Por outro lado, *A. ciliata* possui apenas expressão em algumas cidades do Estado do Pará e de outros estados que compõem a Amazônia Brasileira (GUSMÃO; GUSMÃO, 2013).

O sabor e paladar marcantes do jambu, caracterizados principalmente pelas sensações de formigamento na boca e efeito anestésico momentâneo, vêm conquistando consumidores de várias regiões do Brasil e do mundo (SAMPAIO *et al.*, 2018). A sensação experimentada pelos apreciadores do jambu ocorre devido à presença do espilantol, um composto bioativo encontrado em todos os órgãos da planta (PRACHAYASITTIKUL *et al.*, 2013). O espilantol tem efeito anti-inflamatório, analgésico, antioxidante, atividade antipirética, inseticida, diurético e afrodisíaco (DIAS *et al.*, 2012; ELUMALAI *et al.*, 2012; SHARMA *et al.*, 2012; ABEYSIRI *et al.*, 2013; DUBEY *et al.*, 2013; PRACHAYASITTIKUL *et al.*, 2013). Assim, as inúmeras aplicações do espilantol têm elevado o número de patentes registradas por indústrias de fármacos e cosmética (BARBOSA *et al.*, 2016).

Apesar da grande relevância que a cultura vem ganhando nos últimos anos, sua produção ainda se concentra em pequenas propriedades próximas a capital paraense. Nestes locais de produção, observa-se problemas com doenças como a ferrugem (*Puccinia sp.*) e o carvão do jambu (*Thecaphora spilanthes* Frei. & Van.), que promovem perdas na produção e qualidade das plantas (SAMPAIO *et al.*, 2018), o que estimula a utilização de defensivos agrícolas não registrados para a cultura (HOMMA *et al.*, 2014). Segundo Buainain *et al.*

(2014), a pequena produção enfrenta problemas como a mudança do comportamento dos consumidores, cada vez mais exigentes quanto a melhor qualidade dos produtos (melhor aparência) e ausência de agrotóxicos.

Neste sentido, torna-se interessante investigações com o jambu sob sistema de cultivo tecnificado, como é o caso da hidroponia, técnica de cultivo sem solo, onde os nutrientes minerais são disponibilizados por meio da solução nutritiva balanceada para o crescimento e desenvolvimento da cultura (KHAN *et al.*, 2018). Neste sistema, observa-se maior produtividade, qualidade e vida útil pós-colheita, além do menor consumo de fertilizantes, defensivos agrícolas, água, com 90% de eficiência no uso da água se comparado a cultivos em solo, ausência de patógenos do solo, produção o ano inteiro e menor utilização de mão de obra (SAMBO *et al.*, 2019). Além disso, a técnica tem sido associada ao maior acúmulo de compostos bioativos em plantas em comparação ao solo (GIORGI *et al.*, 2009; ABEYSINGHE *et al.*, 2014; ARGYROPOULOU *et al.* 2015; LU *et al.*, 2017; NASCIMENTO *et al.*, 2020).

Quando o objetivo trata da melhoria do sistema de cultivo ou do aumento na eficiência da produção, torna-se sempre prudente conhecer a dinâmica nutricional da cultura em evidência, a fim de que manejos como a adubação sejam mais eficientes. Apesar da significativa evidência que o jambu vem adquirindo, quando se buscam informações referentes aos aspectos nutricionais, principalmente a dinâmica nutricional de genótipos e/ou variedades nos diferentes sistemas de cultivo, verifica-se poucas pesquisas abordando essa temática (BORGES *et al.*, 2013ab, RODRIGUES *et al.*, 2014; SOUTO *et al.*, 2018; SAMPAIO *et al.*, 2019). Por outro lado, estudos avaliando o desempenho da cultura em sistema hidropônico com ajustes na concentração de nutrientes na solução nutritiva, são inexistentes.

O aporte de nutrientes na solução nutritiva é um dos fatores fundamentais para a elevação da produtividade e qualidade das culturas cultivadas em hidroponia (KHAN *et al.*, 2018; SAMBO *et al.*, 2019). Desta forma, verifica-se que inúmeros estudos têm comprovado que a elevação da concentração de nutrientes (condutividade elétrica) na solução nutritiva aumenta as respostas fisiológicas, a produção e a qualidade em diversas culturas (LUZ *et al.*, 2012; PORTELA *et al.*, 2012; BARON *et al.*, 2015; LU *et al.*, 2017). Além disso, dos nutrientes que fazem parte da solução nutritiva, verifica-se uma gama de estudos dedicada ao manejo do nitrogênio (N) às plantas com objetivos de elevar a produtividade, a qualidade

e compostos bioativos (GIORGI et al., 2009; ABEYSINGHE et al., 2015; BECHER et al., 2015).

Filgueira (2013) destaca que o N possui expressiva relevância em promover maior produtividade e qualidade de hortaliças folhosas, por isso seu manejo e monitoramento, independente do sistema de cultivo, possuem elevada importância econômica (LEE et al., 2019). Para o jambu, estudos avaliando doses de N em variedades de *A. oleracea* em solo no aumento da produtividade e qualidade, observaram maior produtividade e qualidade das plantas com aumento do suprimento de N no solo, bem como respostas divergentes de variedades da cultura (BORGES et al., 2013a; SOUTO et al., 2018; COSTA et al., 2020).

Com base no exposto, torna-se necessário a realização de pesquisas que possibilitem a compreensão do comportamento do jambu em hidroponia, além de variações da concentração de nutrientes na solução nutritiva, que pode afetar o desempenho agrônomico do jambu, principalmente o N, uma vez que esse nutriente é considerado um dos mais limitante para o crescimento das plantas (UEDA et al., 2017).

Diante disso, testou-se a hipótese que a produção e qualidade do jambu em sistema hidropônico aumenta em função da concentração de nutrientes na solução nutritiva, sendo o N o principal, e também em função do genótipo. Assim, o trabalho tem por objetivo avaliar o crescimento, respostas produtivas, fisiológicas e qualitativas do jambu cultivado em hidroponia em função de diferentes genótipos e suprimento de nutrientes na solução nutritiva.

REFERÊNCIAS

- ABEYSIRI, G. R. P. I.; DHARMADASA, R. M.; ABEYSINGHE, D.C.; SAMARASINGHE, K. Screening of phytochemical, 18hysic-chemical and bioactivity of different partsof *Spilantes acmella* Murr. (Asteraceae), a natural remedy for toothache. **Industrial Crops and Products**, v. 50, p. 852–856, 2013.
- ABEYSINGHE, D. C.; WIJERATHNE, S. M. N. K.; DHARMADASA, R. M. Secondary metabolites contents and antioxidant capacities of *Acmella oleracea* grown under different growing systems. **Word Journal of Agricultural Research**, v. 2, n. 4, p. 163-167, 2014.
- ARGYROPOULOU, K.; SALAHAS, G.; HELA, D.; PAPASAVVAS, A. Impact of nitrogen deficiency on biomass production, morphological and biochemical characteristics of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) plants, cultivated aeroponically. **Agriculture & Food**, v. 3, p. 1314-8591, 2015.
- BARBOSA, A. F.; CARVALHO, M. G.; SMITH, R. E.; SABAA-SRUR, A. U. O. Spilanthol: ccurrence, extraction, chemistry and biological activities. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, Curitiba, v. 26, p. 128-133, 2016.
- BARON, D.; FERREIRA, G.; BOARO, C. S. F.; RODRIGUES, J. D.; AMARO, A. C. E.; MISCHAN, M. M. The Effect of the Ionic Strength of Nutrient Solution on Gas Exchange, Ionic Concentration and Leaf Biomass of *Annona emarginata* (Schltdl.) H. Rainer Variety ‘Terra-Fria’ Seedlings. **Journal of Plant Nutrition**, v. 38, n. 12, p. 1944–1960, 2015.
- BECKER, C.; URLIĆ, B.; ŠPIKA, M. J.; KLÄRING, H.-P.; KRUMBEIN, A.; BALDERMANN, S.; BAN, S. G.; PERICA, S.; SCHWARZ, D. Nitrogen Limited Red and Green Leaf Lettuce Accumulate Flavonoid Glycosides, Caffeic Acid Derivatives, and Sucrose while Losing Chlorophylls, B-Carotene and Xanthophylls. **Plos One**, v. 10, n.11, p.1-22, 2015.
- BORGES, L. S.; GUERRERO, A. C.; GOTO, R.; LIMA, G. P. P. Produtividade e acúmulo de nutrientes em plantas de jambu, sob adubação orgânica e mineral. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 1, p. 83-94, 2013a.
- BORGES, L.; GOTO, R.; LIMA, G. P. P. Exportação de nutrientes em plantas de jambu, sob diferentes adubações. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, p. 107-116, 2013b.
- BUAINAIN, A. M.; ALVES, E.; SILVEIRA, J. M.; NAVARRO, Z. **O mundo rural no Brasil do século 21: a formação de um novo padrão agrário e agrícola**. Brasília, DF: Embrapa, 2014, 1182 p.
- COSTA, V. C. N.; SILVA JÚNIOR, M. L.; SAMPAIO, I. M. G.; BITTENCOURT, R. F. P. M.; FIGUEIREDO, S. P. R.; SANTOS, G. A. M.; SOUZA, L. R.; OLIVEIRA, E. S. Nitrogen Fertilization and Liming Improves Growth, Production, Gas Exchange and Post-Harvest Quality of Yellow Flower Jambu. **Journal of Agricultural Studies**, v. 8, n. 3, p. 752-774, 2020.
- DIAS, A. M. A.; SANTOS, P.; SEABRAA, I.J.; JUNIOR, R. N. C.; BRAGA, M. E. M.; SOUSA, H. C. Spilanthol from *Spilantes acmella* flowers, leaves and stems obtained byselective supercritical carbon dioxide extraction. **Journal of Supercritical fluids**, v. 61, p. 62–70, 2012.

DUBEY, S.; MAITY, S.; SINGH, M.; SARAF, S. A.; SAHA, S. Phytochemistry, pharmacology and toxicology of *Spilanthes acmella*: a review. **Advances in Pharmacological Sciences**, v. 2013, p. 1-9, 2013.

ELUMALAI, A.; PENDEM, N.; ESWARAIHAH, M. C.; NARESH, V. An updated annual review on antipyretic medicinal plants. **International Journal of Universal pharmacy and Life Sciences**, v. 2, p. 207-215, 2012.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. rev. e ampl. Viçosa: UFV, 2013.

GIOGI, A.; MINGOZZI, M.; MADEO, M.; SPERANZA, G.; COCUCCI, M. Effect of nitrogen starvation on the phenolic metabolism and antioxidant properties of yarrow (*Achillea Becker ex Rchb.*). **Food Chemistry**, v. 114, n. 1, p. 204-211, 2009.

GUSMÃO, M. T. A.; GUSMÃO, S. A. L. **Jambu da Amazônia: *Acmella oleracea* [(L.) R. K. Jansen]: características gerais, cultivo convencional, orgânico e hidropônico**. Belém: Edufra, 2013. 135 p.

HOMMA, A. K. O. **Extrativismo vegetal na Amazônia: história, ecologia, economia e domesticação**. In: HOMMA, A. K. O.; SANCHES, R. S.; MENEZES, A. J. E. A.; GUSMÃO, S. A. L. (ed.). Etnocultivo do jambu para abastecimento da cidade de Belém, no Estado do Pará. Brasília, DF:Embrapa, 2014. p. 329-343.

IPHAN – Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. O país está em festa: carimbó agora é patrimônio cultural imaterial brasileiro. Brasília, 11 set. 2014, Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/portal/montarDetalheConteudo.do?id=18607&sigl>. Acesso em: 08 fev 2018.

KHAN, F. A.; KURKLU, A.; GHAFOOR, A.; ALI, Q.; UMAIR, M.; SHAHZAIB. A review on hydroponic greenhouse cultivation for sustainable agriculture. **International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences**. v. 2, n. 2, p. 59-66, 2018.

LEE, Y., KWEON, H. J., PARK, M. Y., LEE, D. Field Assessment of Macronutrients and Nitrogen in Apple Leaves Using a Chlorophyll Meter. **HortTechnology**, v. 1, p. 1-8, 2019.

LU, N.; BERNARDO, E. L.; TIPPAYADARAPANICH, C.; TAKAGAKI, M.; KAGAWA, N.; YAMORI, W. Growth and Accumulation of Secondary Metabolites in *Perilla* as Affected by Photosynthetic Photon Flux Density and Electrical Conductivity of the Nutrient Solution. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1-12, 2017.

LUZ, J. M. Q.; ANDRADE, L. V.; DIAS, F. F.; SILVA, M. A. D.; HABER, L. L. OLIVEIRA, R. C. Produção hidropônica de coentro e salsa crespa sob concentrações de solução nutritiva e posições das plantas nos perfis hidropônicos. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 4, p. 589–597, 2012.

MARTINS, C.P.S.; MELO, M.T.P.; HONÓRIO, I.C.G.; D'ÁVILA, V.A.; CARVALHO JÚNIOR, W.G.O. Caracterização morfológica e agrônômica de acessos de jambu (*Spilanthes oleracea* L.) nas condições do Norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 14, n. 2, p. 410-413, 2012.

NASCIMENTO, L. E. S.; ARRIOLA, N. D. A.; SILVA, L. A. L.; FAQUETI, L. G.; SANDJO, L. P.; ARAÚJO, C. E. S.; BIAVATTI, M. W.; BARCELOS-OLIVEIRA, J. L. AMBONI, R. D. M. C. Phytochemical profile of different anatomical parts of jambu (*Acmella*

- oleracea (L.) R. K. Jansen): A comparasion between hydroponic and conventional cultivation using PCA and cluster analysis. **Food Chemistry**, v. 332, p. 1-12, 2020.
- PORTELA, I. P.; PEIL, R. M. N.; ROMBALDI, C. V. Efeito da concentração de nutrientes no crescimento, produtividade e qualidade de morangos em hidroponia. **Horticultura Brasileira**, v.30, n. 2, p. 266–273, 2012.
- PRACHAYASITTIKUL, V., PRACHAYASITTIKUL, S., RUCHIRAWAT, S., & PRACHAYASITTIKUL, V. High therapeutic potential of *Spilanthes acmella*: a review. **EXCLI journal**, v. 12, p. 291, 2013.
- RODRIGUES, D. S.; CAMARGO, M. S.; NOMURA, E. S.; GARCIA, V. A.; CORREA, J. N.; VIDAL, T. C. M. Influência da adubação com nitrogênio e fósforo na produção de jambu, *Acmella oleracea* (L) R.K Jansen. **Revista Brasileira de Plantas medicinais**, Campinas, v. 16, n. 1, p. 71-76, 2014.
- SAMBO, P.; NICOLETTO, C.; GIRO, A.; PII, Y.; VALENTINUZZI, F.; MIMMO, T.; LUGLI, P.; ORZES, G.; MAZETTO, F.; ASTOLFI, S.; TERZANO, R.; CESCO, S. Hydroponic Solutions for Soilless Production Systems: Issues and Opportunities in a Smart Agriculture Perspective. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1-17, 2019.
- SAMPAIO, I. M. G.; GUIMARÃES, M. A.; LEMOS NETO, H. S.; MAIA, C. L.; VIANA, C. S.; GUSMÃO, S. A. L. Pode o uso de mudas agrupadas e a maior densidade de plantio aumentar a produtividade de jambu?. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 61, p.1-8, 2018.
- SAMPAIO, I. M. G.; SILVA JÚNIOR, M. L.; BITTENCOURT, R. F. P. M.; LEMOS NETO, H. S.; SOUZA, D. L.; NUNES, F. K. M.; SILVA, L. C.; FIGUEIREDO, S. P. R. Sintomas de deficiências nutricionais e produção de massa seca em plantas de jambu (*Acmella oleracea*) submetidas as omissões de nutrientes. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 12, p. 31549-31563, 2019.
- SHARMA, A.; KUMAR, V.; RATTAN, R. S.; KUMAR, N.; SINGH, B. Insecticidal toxicity of *Spilanthol* from *Spilanthes acmella* Murr. Against *Plutella xylostella* L. **American Journal of Plant Sciences**, v. 3, p. 1568–1572, 2012.
- SILVA, G. A. R.; SANTOS, U. M. *Acmella marajoensis* G.A.R Silva & J.U.M Santos: uma nova espécie de Asteraceae para a Amazônia brasileira. **Acta Amazônica**, v. 41, n. 2, p. 191-194, 2011.
- SOUTO, G. C.; GRANGEIRO, L. C.; GUSMÃO, S. A. L.; SOUSA, V. F. L.; CAVALCANTE, A. E. C.; FRANÇA, F. D. Agronomic performace of jambu (*Acmella oleracea*) using organic fertilization. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 1, p. 151-156, 2018.
- UEDA, Y.; KONISHI, M.; YANAGISAWA, S. Molecular basics of the nitrogen response in plants. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 64, n. 4, p. 329-341, 2017.

2. DESEMPENHO PRODUTIVO E FISIOLÓGICO DE GENÓTIPOS DE JAMBU CULTIVADOS EM HIDROPONIA

RESUMO

O jambu é uma erva condimentar usada na região amazônica no preparo de pratos típicos e de fitoterápicos, onde utiliza-se as inflorescências, folhas e o caule da planta. Além disso, possui inúmeras aplicações nas indústrias de cosméticos e alimentícia devido a presença do composto bioativo espilantol. Objetivou-se com este estudo avaliar o desempenho produtivo e fisiológico de genótipos de duas espécies de jambu (*Acmella oleracea* e *Acmella ciliata*) cultivados em hidroponia. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado com oito tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos dos genótipos de espécies de jambu (UFR-1, UFR-2, UFR-3, UFR-4, UFR-5, UFR-6, UFR-7 e UFR-8) coletados em diferentes localidades do Estado do Pará. Foram avaliadas as seguintes características: início do pendoamento, comprimento e diâmetro da rama principal, área foliar, massa fresca da parte aérea, raiz, inflorescências e total, taxa de fotossíntese líquida, condutância estomática, concentração interna de CO₂ e eficiência instantânea de carboxilação. Os genótipos apresentaram comportamento distintos entre e dentro da mesma espécie em relação às características avaliadas de crescimento, produtivas e fisiológicas. Os genótipos UFR-1, UFR-2, UFR-3, UFR-4 e UFR-7 exibiram maior precocidade de floração. Em geral, genótipos da espécie *A.oleracea* apresentaram menor taxa de fotossíntese líquida se comparado aos da espécie *A.ciliata*. Os genótipos da espécie *A.oleracea*, além da capacidade de acúmulo de massa fresca total, apresentaram elevado potencial para produção de inflorescências, destacando-se os genótipos UFR-2 e UFR-4 por apresentarem maior produção de massa fresca da parte aérea e inflorescências, respectivamente, portanto devem ser considerados em programas de melhoramento da cultura.

Palavras-chave: *Acmella oleracea*. *Acmella ciliata*. Cultivo hidropônico. Produção. Fotossíntese líquida.

2. PRODUCTIVE AND PHYSIOLOGICAL PERFORMANCE OF JAMBU GENOTYPES CULTIVATED IN HYDROPONICS

ABSTRACT

Jambu is a spice herb used in the Amazon region in the preparation of typical and herbal dishes, in which flowers, leaves and stem of the plant are used. Furthermore, it has numerous applications in the cosmetics and food industries due to the presence of the biochemical compound, epilantol. The objective of this study was to evaluate the productive and physiological performance of genotypes of two species of jambu (*Acmella oleracea* and *Acmella ciliata*) under hydroponics. The design used was completely randomized with eight treatments and four replications. The treatments consisted of jambu species genotypes (UFR-1, UFR-2, UFR-3, UFR-4, UFR-5, UFR-6, UFR-7 and UFR-8) collected in different locations at Pará, Brazil. The following traits were evaluated: beginning of braiding, length and diameter of the main branch, leaf area, fresh mass of shoot, root, inflorescences and total, rate of net photosynthesis, stomatal conductance, internal concentration of CO₂ and instantaneous efficiency of carboxylation. The genotypes showed different behavior between and within the same species in relation to the evaluated growth, productive and physiological characteristics. The UFR-1, UFR-2, UFR-3, UFR-4 and UFR-7 genotypes exhibited higher early flowering. In general, genotypes of the species *A.oleracea* had a lower rate of net photosynthesis compared to those of the species *A.ciliata*. The genotypes of the species *A.oleracea*, in addition to the capacity to accumulate total fresh mass, had a high potential for flowers production, with the UFR-2 and UFR-4 genotypes standing out for having higher production of fresh mass of aerial part and flowers. , respectively, therefore should be considered in crop improvement programs.

Key-words: *Acmella oleracea*. *Acmella ciliata*. Soilless cultivation. Production. Gas exchange.

2.1 INTRODUÇÃO

O jambu é uma hortaliça não convencional da região amazônica, pertencente à família Asteraceae, com expressivo potencial econômico (GUSMÃO; GUSMÃO, 2013; HOMMA, 2017; SILVA *et al.*, 2020). Essa planta contém o espilantol, um composto bioativo que possui inúmeras aplicações na indústria de cosmético e alimentícia (BARBOSA *et al.*, 2016). O nome jambu é usado para designar duas espécies usadas na região Norte do Brasil para fins medicinais e culinários, a *Acmella oleracea* (L.) R.K Jansen e a *Acmella ciliata* (Kunth) Cass (SILVA; SANTOS, 2011; MARTINS *et al.*, 2012).

Diante da potencialidade do uso do jambu, o conhecimento acerca da adaptabilidade de diferentes espécies e/ou genótipos da cultura em diferentes sistemas de cultivo, pode elevar seu potencial produtivo e qualitativo, bem como sua expansão para outras regiões do Brasil (SILVA *et al.*, 2020; SANTOS *et al.*, 2021).

O sistema de cultivo pode influenciar o metabolismo da planta, bem como as respostas fisiológicas, bioquímicas e ciclo de desenvolvimento, o que resulta em alterações na produtividade e qualidade das plantas (COSTA *et al.*, 2020; NASCIMENTO *et al.*, 2020). Estudos anteriores reportaram que folhas de jambu cultivadas em sistemas hidropônico e convencional apresentaram maior conteúdo de fenólicos totais e flavonóides totais em hidroponia (ABEYSINGHE *et al.*, 2014; NASCIMENTO *et al.*, 2020). Portanto, a análise do desempenho produtivo e fisiológico de genótipos nos diferentes sistemas de cultivo é importante e deve ser baseada não apenas pelas suas características produtivas, mas também quanto ao seu comportamento fisiológico e metabólico neste sistema (SOUZA *et al.*, 2019).

Com base no exposto, visando identificar genótipos promissores para o cultivo em sistema hidropônico, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho produtivo e fisiológico de genótipos de jambu em hidroponia.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, situada na Área de Ciência do Solo, Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural da Amazônia, campus Belém. O clima da região é classificado como Af, chuvas acima de 60 mm em todos os meses do ano (ALVARES *et al.*, 2013). Durante a execução do experimento a temperatura e umidade relativa do ar foram mensuradas diariamente por meio do termohigrômetro instalado no interior da casa de vegetação, sendo a temperatura média máxima de 35,3 °C, a mínima de 28,1 °C e a umidade relativa do ar média de 77,1%.

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado com oito tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por diferentes genótipos de duas espécies de jambu coletados em diferentes localidades do Estado do Pará, sendo que foram coletados quatro genótipos da espécie *A. oleracea* (UFR-1, UFR-2, UFR-3, UFR-4) e quatro da *A. ciliata* (UFR-5, UFR-6, UFR-7 e UFR-8) (Tabela 1).

Table 1 - Acessos de jambu do banco de germoplasma da UFRA coletados em diferentes localidades do Estado do Pará em 2018.

Genotype	Location	Species	Coordinates
UFR-1	Belem	<i>A. oleracea</i>	01°27'19''S, 48°26'20''O
UFR-2	Abaetetuba	<i>A. oleracea</i>	01°43'04''S, 48°52'58''O
UFR-3	Igarape-Açu	<i>A. oleracea</i>	01°07'44''S, 47°37'12''O
UFR-4	Santa Izabel	<i>A. oleracea</i>	01°17'58''S, 48°09'40''O
UFR-5	Camete	<i>A. ciliata</i>	02°14'54''S, 49°30'12''O
UFR-6	Salvaterra	<i>A. ciliata</i>	00°45'21''S, 48°45'54''O
UFR-7	Bragança	<i>A. ciliata</i>	01°03'46''S, 46°46'22''O
UFR-8	Ananindeua	<i>A. ciliata</i>	01°21'57''S, 48°22'19''O

Fonte: Autor (2018).

As mudas dos genótipos foram produzidas em bandejas de poliestireno de 128 células, utilizando como substrato fibra de coco, com densidade de seis sementes por célula. Aos sete dias após germinação, realizou-se o desbaste, mantendo-se uma plântula por célula. Posteriormente ao desbaste, as bandejas foram transferidas para bancadas berçário, onde receberam a solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950), a 25% da concentração iônica.

Após 21 dias após a semeadura, as plântulas foram transplantadas para o sistema hidropônico. Utilizou-se sistema hidropônico em substrato, constituído de sílica moída esterilizada. Foram utilizados vasos plásticos de 2 L, os quais foram revestidos com papel alumínio. Para os recipientes coletores de solução nutritiva, realizou-se a pintura com tinta metálica aluminizada. A reposição e drenagem da solução nutritiva (aeração) foram feitas diariamente, respectivamente, no início da manhã e final da tarde, de forma manual.

Utilizou-se em cada vaso 600 mL da solução Hoagland e Arnon (1950). A renovação da solução ocorreu semanalmente, sendo verificado o pH diariamente com auxílio de um peagâmetro de campo e, quando necessário, foi realizada a correção do mesmo por meio de soluções de NaOH 1M ou ácido cítrico 1M, mantendo-o na faixa de 5,5 a 6,5. A água perdida por evapotranspiração foi fornecida regularmente com base na necessidade, utilizando-se água destilada.

A colheita foi realizada aos 60 dias após a semeadura (DAS), momento em que todos os genótipos se encontravam na fase reprodutiva. Foram avaliadas as seguintes características: a) início do pendoamento (dias) - contados a partir da semeadura; b) comprimento da rama principal (CRP- cm) - medida por meio de régua graduada; c) diâmetro da rama principal

(DRM- mm) - medido por meio de um paquímetro; d) área foliar (AF- $\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$) - determinada com o auxílio de um integrador de áreas, LICOR[®] modelo LI-3100; e) massa fresca da parte aérea (MFPA- g planta^{-1}); f) massa fresca das inflorescências (MFI- g planta^{-1}); g) massa fresca das raízes (MFR- g planta^{-1}); e h) massa fresca total (MFT- g planta^{-1}) - determinada pela soma da MFPA, MFI e MFR . Ambas foram determinadas por meio de uma balança de precisão (0,001 g).

Um dia antes da colheita, realizou-se análise de trocas gasosas nas plantas. As avaliações foram realizadas pela manhã, entre as 9:00 e 11:00 h, sendo as informações coletadas da segunda folha a partir do ápice da haste principal (SAMPAIO *et al.*, 2021). Avaliou-se a taxa de fotossíntese líquida (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração interna de CO_2 (C_i , $\mu\text{mol mol}^{-1}$) e eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i) - obtida pela razão entre A e C_i . A fotossíntese, a concentração interna de CO_2 e a condutância estomática foram obtidas por meio de um analisador de gas infravermelho portátil (IRGA, modelo LI6400XT, da marca LICOR[®]).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p \leq 0,05$) e, quando significativos, aplicou-se o teste de Scott-Knott. Para a análise dos dados utilizou-se o programa estatístico Sisvar versão 5.6 (FERREIRA, 2011).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os genótipos de jambu apresentaram diferenças significativas ($p \leq 0,05$) para características de crescimento, produtivas e fisiológicas em sistema hidropônico.

Para o IP, verificou-se que os genótipos UFR-1, UFR-2, UFR-3, UFR-4 e UFR-7 foram os mais precoces e o genótipo UFR-6 foi o mais tardio (Tabela 2).

Tabela 2 - Início do pendoamento (IP- dias), número de inflorescência (NI), comprimento da rama principal (CRP- cm), diâmetro da rama principal (DRM - mm) e área foliar (AF- cm² planta⁻¹) de genótipos de *A.oleracea* e *A.ciliata* cultivados em sistema hidropônico, Belém, PA, 2018.

Genótipo	IP	NI	CRP	DRM	AF
UFR-1	30,0 d	24,0 c	21,3 c	7,2 a	1715,2 b
UFR-2	30,0 d	28,3 c	25,3 c	6,3 a	1584,6 b
UFR-3	30,0 d	28,5 c	29,0 c	7,4 a	1619,8 b
UFR-4	30,0 d	35,8 c	28,0 c	6,5 a	1570,6 b
UFR-5	43,5 b	44,0 b	58,2 a	5,2 b	1719,9 b
UFR-6	47,5 a	49,5 b	35,9 b	4,6 b	2265,9 a
UFR-7	30,0 d	110,0 a	28,6 c	4,8 b	1813,9 b
UFR-8	38,0 c	117,5 a	39,3 b	4,9 b	1863,3 b
CV%	4,5	21,0	23,5	12,0	10,5

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, o que indica semelhanças na constituição de grupos.

Fonte: Autor (2018).

Quando cultivado em solo, o jambu inicia sua floração entre 45 e 50 dias após a germinação, sendo que a maior precocidade de cada espécie e/ou genótipo depende das condições de cultivo que os materiais serão submetidos (GUSMÃO; GUSMÃO, 2013). Diante disso, verifica-se que para produtores que visem a produção de inflorescências os genótipos da espécie *A.oleracea* são materiais mais promissores devido sua maior precocidade exibida no sistema hidropônico (Tabela 2).

Para o NI, verifica-se que os genótipos formaram três grupos distintos, o primeiro foi formado pelos genótipos pertencentes a espécie *A.ciliata* (UFR-7 e UFR-8), que apresentaram o maior número de inflorescências, o segundo pelos genótipos UFR-5 e UFR-6 e o terceiro grupo formado pelos genótipos da espécie *A.oleracea* (UFR-1, UFR-2, UFR-3 e UFR-4), que mostraram menor número de inflorescências e não apresentaram diferenças significativas entre si.

As diferenças encontradas entre os genótipos de *A.ciliata* quanto da emissão de flores podem estar relacionadas a velocidade da mudança da fase vegetativa para reprodutiva, onde se verifica que os UFR-7 e UFR-8 foram mais precoces do que os genótipos UFR-5 e UFR-6, portanto tiveram maior tempo para emissão dos botões florais até a colheita. Quanto as diferenças encontradas entre *A.oleracea* e *A.ciliata* estas ocorrem provavelmente devido as diferenças genéticas de cada espécie, como observado por Martins *et al.* (2012), onde demonstraram haver diferenças quanto a morfologia floral dessas espécies.

Em relação ao CRP, o genótipo UFR-5 foi o material que mais se destacou, com 58,2 cm, seguido dos genótipos UFR-6 e UFR-8 (Tabela 2). Em geral, os genótipos da espécie *A.oleracea* (UFR-1, UFR-2, UFR-3 e UFR-4) apresentaram o menor CRP.

Para o DRM, verificou-se a formação de dois grupos, onde o primeiro foi formado pelos genótipos da espécie *A.oleracea* (UFR-1, UFR-2, UFR-3 e UFR-4), que se destacaram nesta característica, enquanto o segundo foi formado pelos genótipos da *A.ciliata*.

Borges *et al.* (2013), estudaram o efeito da fertilização no jambu em sistema convencional em São Manuel - SP, encontraram médias de comprimento do caule da *A.oleracea* de 25,6 cm e 43,6 cm em plantas submetidas a adubação orgânica e mineral, respectivamente. Gusmão e Gusmão (2013) relatam que a espécie *A.ciliata* pode atingir em torno de 50 cm de comprimento do caule. Assim, os resultados obtidos quanto as CRP e DRM sugerem que a distribuição de fotoassimilados para o crescimento primário e secundário do caule é regulado, neste caso, por fatores intrínsecos a cada espécie, bem como pelas condições de cultivo e manejo a que os materiais genéticos são submetidos (OLIVEIRA *et al.*, 2011; YURI *et al.*, 2017).

A AF variou entre 1570,6 e 2265,9 cm² planta⁻¹ entre os genótipos testados, onde o genótipo UFR-6 obteve maior média de área foliar, formando um grupo separado dos demais genótipos que não diferiram entre si. Isto sugere pouca variação genética entre os materiais quanto a esse caractere. Além disso, a maior resposta em área foliar exibida pelo genótipo UFR-6 em detrimento aos demais genótipos pode ter relação com o maior tempo deste material na fase vegetativa, o que favoreceu a destinação de fotoassimilados para emissão e expansão do limbo foliar (TAIZ *et al.*, 2017).

Em relação a MFPA, as médias variaram de 91 a 105,7 g planta⁻¹, onde o genótipo UFR-4 foi o que obteve melhor desempenho em relação aos demais que não diferiram entre si (Tabela 3).

Tabela 3 - Massa fresca da parte aérea (MFPA), massa fresca de inflorescência (MFI), massa fresca da raiz (MFR) e massa fresca total (MFT) de genótipos de *A.oleracea* e *A.ciliata* cultivados em sistema hidropônico de cultivo, Belém, PA, 2018.

Genótipo	Variável (g planta ⁻¹)			
	MFPA	MFI	MFR	MFT
UFR-1	95,4 b	15,2 b	57,1 a	167,7 a
UFR-2	90,6 b	33,8 a	42,8 c	167,1 a
UFR-3	97,5 b	21,4 b	50,0 b	168,9 a
UFR-4	105,7 a	17,4 b	46,9 c	170,0 a
UFR-5	91,0 b	4,2 c	46,0 c	141,2 c
UFR-6	93,0 b	3,0 c	41,5 c	137,5 c
UFR-7	94,3 b	16,4 b	48,2 c	158,9 b
UFR-8	92,4 b	18,1 b	40,9 c	151,3 c
CV%	4,2	19,2	9,5	3,7

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, o que indica semelhanças na constituição de grupos.

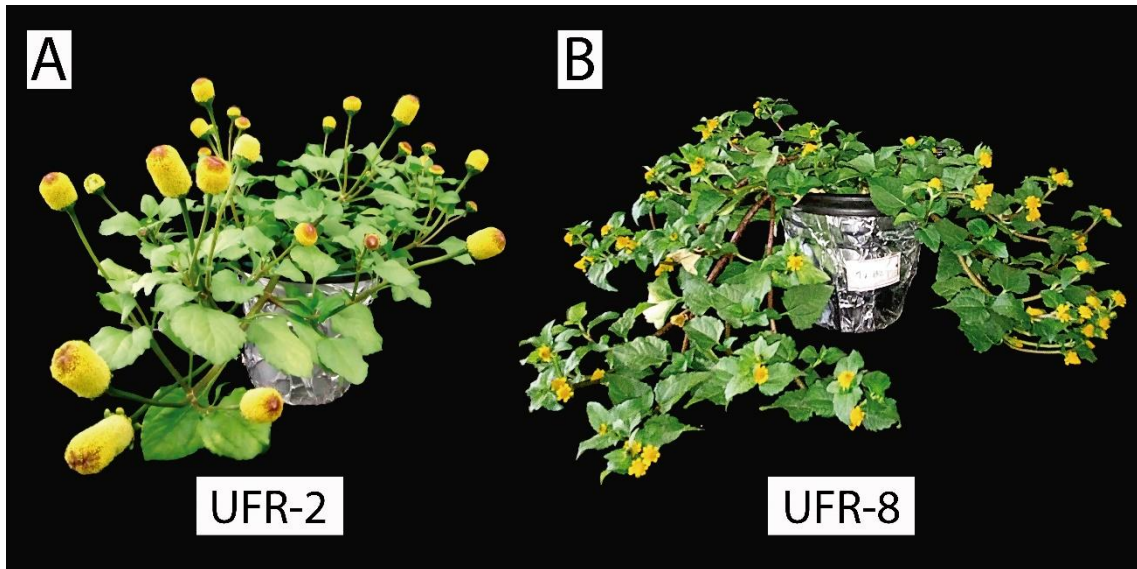
Fonte: Autor (2018).

Martins *et al.* (2012), avaliaram as características agrônômicas e morfológicas de genótipos de *A.oleracea* e *A.ciliata* em cultivo convencional nas condições do Norte de Minas Gerais, não observaram diferenças entre os genótipos para produção de massa fresca de parte aérea que variaram 40,1 a 53, 3 g planta⁻¹. Os resultados destes pesquisadores estão muito abaixo dos encontrados neste estudo, o que sugere que tais diferenças têm relação com capacidade genética dos materiais testados e sua interação com ambiente e/ou sistema de cultivo (YURI *et al.*, 2017). Neste contexto, vale destacar que a MFPA é a parte da planta com maior nível de importância para o preparo de pratos típicos da Região Norte do Brasil, a exemplo do tacacá que é considerado patrimônio imaterial da cidade de Belém do Pará (SILVA *et al.*, 2020). Assim, esses resultados indicam que, embora o genótipo UFR-4 tenha obtido maior MFPA, os genótipos de ambas as espécies apresentam potencial de comercialização (MARTINS *et al.*, 2012; GuSMÃO; GUSMÃO, 2013).

Quanto a MFI, observa-se que os genótipos estudados apresentaram comportamentos diferenciados entre si e dentro da mesma espécie, o que gerou a formação de três grupos, destacando-se o grupo formado pelo genótipo UFR-2 que apresentou maior MFI (Tabela 3). Neste sentido, é importante destacar que embora genótipos da espécie *A.oleracea* tenham obtido menor NI (Tabela 2), estes produzem inflorescências maiores que *A.ciliata* que se

destaca por produzir maior número de inflorescências (Figura 1), porém menores (MARTINS *et al.*, 2012).

Figura 1 - Diferenças morfológicas entre as inflorescências de genótipos das espécies *A.oleracea* (A) e *A.ciliata* (B) cultivados em sistema hidropônico de cultivo, Belém, PA, 2018.



Fonte: Autor (2018).

Assim sendo, o bom desempenho alcançado pelo genótipo UFR-2 no sistema testado, bem como a manifestação da precocidade de floração, é um indicativo de material destinado a produção de inflorescências para fins industriais na produção de extratos, uma vez que as inflorescências possuem maior concentração de espilantol (BALIEIRO *et al.*, 2020), e produção de cachaças e licores artesanais (HOMMA, 2017).

Para MFR, verificou-se diferenças entre os genótipos, o que permitiu a formação de três grupos (Tabela 3). Os genótipos UFR-1 e UFR-3 formaram o primeiro grupo, sendo que UFR-1 obteve maior massa fresca de raiz. Embora o jambu seja comercializado a planta toda (Folhas, caule, inflorescência e raiz) (SAMPAIO *et al.*, 2018), utiliza-se em geral as folhas e os caules (parte aérea) para o preparo dos pratos típicos e as inflorescências são comercializadas para produção, principalmente, de licor e cachaça (HOMMA, 2017), contudo ocorre descarte total das raízes. Neste contexto, é importante destacar que as raízes do jambu apresentam o composto bioativo espilantol (BAE *et al.*, 2010). Tal indicativo pode contribuir para um maior aproveitamento da planta (NASCIMENTO *et al.*, 2020).

Comparando-se o desempenho dos genótipos, quanto à produção da MFT, verifica-se que os genótipos da espécie *A.oleracea* tiveram produções mais elevadas em relação os materiais da espécie *A.ciliata*, porém não diferiram entre si (Tabela 3). As diferenças

observadas entre as espécies pode ser explicada as características morfológicas de cada espécie, como constadas por Martins *et al.* (2012).

Segundo Preczenhak *et al.* (2014), a diversidade genética em termos de acúmulo de massa nas plantas pode estar relacionada ao potencial genético do genótipo, bem como às condições de cultivo às quais as plantas estão submetidas. Sendo assim, o maior desempenho obtidos por alguns genótipos da espécie *A.oleracea* quanto a MFPA, MFI e MFT, bem como maior precocidade na floração revela o potencial desses genótipos para atuarem em sistema hidropônico e serem destinados a programas de melhoramento da cultura. Contudo, embora genótipos da espécie *A.ciliata* tenham obtido produções, em geral, menores para MFI, MFR e MFT em relação a *A.oleracea*, para a produção de MFPA verifica-se que todos os genótipos de ambas as espécies possuem potencial para comercialização (MARTINS *et al.*, 2012).

Quanto ao desempenho fisiológico dos genótipos, observaram-se diferenças ($p \leq 0,05$) para os parâmetros de fotossíntese líquida, condutância estomática, concentração interna de CO_2 e eficiência instantânea de carboxilação (Tabela 4).

Tabela 4 - Fotossíntese líquida (A - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (gs - $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração interna de CO_2 (Ci - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$) e eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci) de genótipos de *A.oleracea* e *A.ciliata* cultivados em sistema hidropônico de cultivo, Belém, PA, 2018.

Genótipo	A	gs	Ci	A/Ci
UFR-1	17,6 c	0,19 a	367,1 a	0,05 c
UFR-2	15,7 c	0,17 b	369,3 a	0,04 c
UFR-3	23,0 b	0,24 a	358,9 a	0,06 c
UFR-4	22,9 b	0,23 a	356,9 a	0,06 c
UFR-5	30,9 a	0,14 b	342,6 b	0,09 a
UFR-6	31,0 a	0,14 b	340,3 b	0,09 a
UFR-7	21,1 b	0,15 b	361,9 a	0,06 c
UFR-8	27,0 a	0,23 a	348,1 b	0,08 b
CV%	11,6	22,6	3,8	12,8

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, o que indica semelhanças na constituição de grupos.

Fonte: Autor (2018).

Os genótipos da espécie *A.ciliata* (UFR-5, UFR-6 e UFR-8) foram os que apresentaram as maiores médias de A , enquanto os genótipos da *A.oleracea* apresentaram as menores taxas fotossintéticas.

A gs foi maior nos genótipos UFR-1, UFFR-3, UFR-4 e UFR-8. De forma geral, os genótipos da espécie *A.ciliata* apresentaram menores médias de gs . Tal comportamento sugere que as reduções observadas para A entre os genótipos das espécies não foram governadas por limitações de ordem estomática, já que os genótipos que apresentaram maior A foram os que tiveram menor gs , a exceção do genótipo UFR-8 (Tabela 4).

Assim, as maiores taxas fotossintéticas para os genótipos da espécie *A.ciliata* repercutiram em maior consumo do C_i , conseqüentemente maior A/C_i , a exceção para o genótipo UFR-7. De forma contrária, os genótipos da espécie *A.oleracea* apresentaram maior C_i , conseqüentemente menor A/C_i , o que significa que o CO_2 que chega nas células do mesófilo foliar não está sendo assimilado na fase carboxilativa, possivelmente, por limitações bioquímicas, uma vez que o acúmulo de CO_2 na câmara estomática ocasiona e/ou indica desbalanços metabólicos, como, por exemplo, a limitação da regeneração da RUBISCO (ribulose-1,5 bi-fosfato carboxilase oxigenase), o que promove redução da fotossíntese líquida (PEEVA; CORNIC, 2009; FERNANDES *et al.*, 2015; TAIZ *et al.*, 2017).

O desempenho fotossintético das plantas é uma característica que sofre alteração por questões de caráter genético, morfológico e ambiental (TAIZ *et al.*, 2017), logo, sugere-se que a capacidade fotossintética dos genótipos testados neste trabalho foi influenciada pela idade fenológica das plantas, já que as menores taxa de fotossíntese foram obtidas em genótipos que pendoaram precocemente. Tal hipótese é reforçada também pela menor fotossíntese exibida pelo genótipo UFR-7, sendo que este material, dentre os da espécie *A.ciliata*, foi o único que pendoou precocemente e obteve menor fotossíntese.

As mudanças da fase vegetativa para reprodutiva provocam alterações no fluxo e partição dos fotoassimilados das plantas, promovendo assim modificações (acréscimos e/ou reduções) quanto ao crescimento e desenvolvimento dos seus diferentes órgãos, sendo que a floração e frutificação representam órgãos drenos com alta demanda de fotoassimilados para atingir a maturação (TAIZ *et al.*, 2017), como demonstrado por Costa *et al.* (2020), onde observaram maior capacidade fotossintética de genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) na fase vegetativa em detrimento da fase reprodutiva.

As respostas de crescimento e produtivas podem serem associadas as alterações fisiológicas observadas entre os materiais genéticos. Contudo, vale destacar que neste estudo, além da capacidade intrínseca de cada espécie e/ou genótipo a adaptação ao sistema hidropônico, há fortes indícios que as diferenças fenológicas governaram a magnitude dessas alterações, sendo justificada pela maior capacidade fotossintética exibida por genótipos da espécie *A.ciliata* que pendoaram tardiamente (Tabela 4), mas que não exibiram maior

capacidade de acúmulo de biomassa total em relação a plantas da espécie *A.oleracea*, o que significa que estes podem ser colhidos após o período de 60 DAS, caso o objetivo seja a produção de biomassa total. Quanto aos genótipos da espécie *A.oleracea*, embora tenha-se observado menor capacidade fotossintética das plantas, verifica-se que ao longo de seu ciclo vegetativo e reprodutivo esses materiais se adaptaram a essa condição de perda de eficiência fotossintética e obtiveram maior acúmulo de MFT (Tabela 4).

Diante do exposto, este estudo demonstrou que há diferenças genéticas em termos de crescimento, produção e respostas fisiológicas entre as espécies *A.oleracea* e *A.ciliata*, bem como variação quanto a parte comercializável de genótipos dentro da mesma espécie cultivados em hidroponia.

2.4 CONCLUSÕES

Assim, conclui-se que os genótipos das espécies *A. ciliata* e *A.oleracea* podem ser utilizados em sistema hidropônico visando a produção de MFPA. O genótipo UFR-2 da espécie *A.oleracea*, além da capacidade de acúmulo de MFT, apresenta elevado potencial para produção de inflorescências, portanto deve ser considerado em programas de melhoramento da cultura.

AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (Fapespa) pelo apoio a pesquisa e concessão da bolsa de doutorado acadêmico, ICAAF nº 009/2017, ao primeiro autor. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Profissional de Ensino Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo a nível de mestrado, ao terceiro autor.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ABEYSINGHE, D. C.; WIJERATHNE, S. M. N. K.; DHARMADASA, R. M. Secondary metabolites contents and antioxidant capacities of *Acmella oleracea* grown under different growing systems. **Word Journal of Agricultural Research**, v. 2, n. 4, p. 163-167, 2014.
- BAE, S.; EHRMANN, B. M.; ETTEFAGH, K. A.; CECH, N. B. A validated Liquid Chromatography – electrospray ionization – mass spectrometry method for quantification of Spilanthol in *Spilanthes acmella* (L.) Murr. **Phytochemical Analysis**, v. 21, n. 5, p. 438–443, 2010.
- BALIEIRO, O. C.; PINHEIRO, M. S. S.; SILVA, S. Y. S.; OLIVEIRA, M. N.; SILVA, S. C.; GOMES, A. A.; PINTO, L. Analytical and preparative chromatographic approaches for

- extraction of spilanthol from *Acmella oleracea* flowers. **Microchemical Journal**, v. 157, p. 1-8, 2020.
- BARBOSA, A. F.; CARVALHO, M. G.; SMITH, R. E.; SABAA-SRUR, A. U. O. Spilanthol: occurrence, extraction, chemistry and biological activities. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, Curitiba, v. 26, p. 128-133, 2016.
- BORGES, L. S.; GUERRERO, A. C.; GOTO, R.; LIMA, G. P. P. Produtividade e acúmulo de nutrientes em plantas de jambu, sob adubação orgânica e mineral. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 1, p. 83-94, 2013.
- COSTA, R. S.; SILVA, J. S.; FONTELES, A. K. F.; SILVA, A. K. F.; MESQUITA, R. O. Physiological responses of cowpea genotypes cultivated in rainfed on different phenological stages. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 14, p. 1-14, 2020.
- COSTA, V. C. N.; SILVA JÚNIOR, M. L.; SAMPAIO, I. M. G.; BITTENCOURT, R. F. P. M.; FIGUEIREDO, S. P. R.; SANTOS, G. A. M.; SOUZA, L. R.; OLIVEIRA, E. S. Nitrogen Fertilization and Liming Improves Growth, Production, Gas Exchange and Post-Harvest Quality of Yellow Flower Jambu. **Journal of Agricultural Studies**, v. 8, n. 3, p. 752-774, 2020.
- FERNANDES, E. T.; CAIRO, P. A. R.; NOVAES, A. B. Respostas fisiológicas de clones de eucalipto cultivados em casa de vegetação sob deficiência hídrica. **Ciência Florestal**, v. 45, n.1, p. 29–34, 2015.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 160, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- GUSMÃO, M. T. A.; GUSMÃO, S. A. L. **Jambu da Amazônia: *Acmella oleracea* [(L.) R. K. Jansen]: características gerais, cultivo convencional, orgânico e hidropônico**. Belém: Edufra, 2013. 135 p.
- HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. The water culture method for growing plants without soil. Circular. **California agricultural experiment station**, v. 347, n. 2nd edit, 1950.
- HOMMA, A. A terceira natureza da Amazônia. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, v. 38, n. 132, p. 27-42, 2017.
- MARTINS, C. P. S.; MELO, M. T. P.; HONÓRIO, I. C. G.; D'ÁVILA, V. A.; CARVALHO JÚNIOR, W. G. O. Caracterização morfológica e agronômica de acessos de Jambu (*Spilanthus oleracea* L.) nas condições do Norte de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 14, n. 2, p. 410–413, 2012.
- NASCIMENTO, L. E. S.; ARRIOLA, N. D. A.; SILVA, L. A. L.; FAQUETI, L. G.; SANDJO, L. P.; ARAÚJO, C. E. S.; BIAVATTI, M. W.; BARCELOS-OLIVEIRA, J. L. AMBONI, R. D. M. C. Phytochemical profile of different anatomical parts of jambu (*Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen): A comparasion between hydroponic and conventional cultivation using PCA and cluster analysis. **Food Chemistry**, v. 332, p. 1-12, 2020.
- OLIVEIRA, F. A.; CARRILHO, M. J. S.; MEDEIROS, J. F.; MARACAÇA, P. B.; OLIVEIRA, M. K. T. Desempenho de cultivares de alface submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v. 15, n.8, p. 771-777, 2011.
- PEEVA, V.; CORNIC, G. Leaf photosynthesis of *Haberlea rhodopensis* before and during drought. **Environmental and Experimental Botany**, v. 65, n. 3, p. 310–318, 2009.

- PRECZENHAK, A. P.; RESENDE, J. T. V.; CHAGAS, R. R.; SILVA, P. R.; SCHWARZ, K.; MORALES, R. G. F. Caracterização agrônômica de genótipos de minitomate. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 3, p. 348–356, 2014.
- SANTOS, O. V.; SOARES, S. D.; VIEIRA, E. L. S.; MARTINS, M. G.; NASCIMENTO, F. C. A.; COSTA, B. E. T. Physicochemical properties and bioactive composition of the lyophilized *Acmella oleracea* powder. **Journal of Food Processing and Preservation**, p. 1-8, 2021.
- SAMPAIO, I. M. G.; GUIMARÃES, M. A.; LEMOS NETO, H. S.; MAIA, C. L.; VIANA, C. S.; GUSMÃO, S. A. L. Pode o uso de mudas agrupadas e a maior densidade de plantio aumentar a produtividade de jambu?. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 61, p.1-8, 2018.
- SAMPAIO, I. M. G.; SILVA JÚNIOR, M. L.; BITTENCOURT, R. F. P. M.; SANTOS, G. A. M.; NUNES, F. K. M.; COSTA, V. C. N. Productive and physiological responses of jambu (*Acmella oleracea*) under nutrient concentrations in nutrient solution. **Horticultura Brasileira**, v. 39, p. 65-71, 2021.
- SILVA, G. A. R.; SANTOS, U. M. *Acmella marajoensis* G.A.R Silva & J.U.M Santos: uma nova espécie de Asteraceae para a Amazônia brasileira. **Acta Amazônica**, v. 41, n. 2, p. 191-194, 2011.
- SILVA, L. C.; SAMPAIO, I. M. G.; BITTENCOURT, R. F. P. M.; ARAUJO, M. R.; FIGUEIREDO, S. P. R.; GUSMÃO, S. A. L.; COSTA, A. S. Influence of temperature on the germination and root size of *Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen. **Revista Agro@ambiente Online**, v. 14, p. 1-10, 2020.
- SOUZA, P. F.; BORGHEZAN, M; ZAPPELINI, J.; CARVALHO, L. R.; REE, J.; BARCELOS-OLIVEIRA, JL; PESCADOR, R. Physiological differences of ‘Crocantela’ lettuce cultivated in conventional and hydroponic systems. **Horticultura Brasileira**, v. 37, p. 101-105, 2019.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal** (L. Taiz, E. Zeiger, I. M. Moller, & A. Murphy (eds.); 6th ed.). Artmed Editora, 2017, 888 p.
- YURI, J. E.; RESENDE, G. M.; COSTA, N. D.; GOMES, A. S. Desempenho agrônômico de genótipos de alface americana no Submédio do Vale do São Francisco. **Horticultura Brasileira**, v. 35, p. 292-29, 2017.

3. PRODUÇÃO E QUALIDADE PÓS-COLHEITA DO JAMBU EM HIDROPONIA SOB CONCENTRAÇÕES DE NITROGÊNIO NA SOLUÇÃO NUTRITIVA

Artigo publicado na Horticultura Brasileira, v. 39, n. 1, 2021

DOI: 10.1590/s0102-0536-20210110

RESUMO

Nos últimos anos o jambu tem apresentado crescente valorização e popularidade devido ao seu sabor e paladar marcantes. Assim, o cultivo hidropônico da espécie torna-se promissor, uma vez que alcança melhor rendimento e qualidade de produção. Objetivou-se com esse estudo avaliar o efeito da concentração iônica em solução nutritiva no crescimento, produtividade e trocas gasosas do jambu. O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado com cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos de variações da concentração iônica a partir da solução nutritiva proposta por Hoagland & Arnon (25, 50, 75, 100 e 125%). Foram avaliados o comprimento da haste principal, diâmetro do caule, número de inflorescências, área foliar, biomassa fresca e seca (parte aérea, raiz e inflorescência), fotossíntese, condutância estomática, transpiração, concentração interna de CO₂, relação *Ci/Ca* e eficiência instantânea de carboxilação. As concentrações iônicas afetaram significativamente as variáveis estudadas, exceto o diâmetro do caule, a concentração interna de CO₂ e a relação *Ci/Ca*. O número de inflorescência e a área foliar cresceram linearmente com máximos valores (37,8 unidades planta⁻¹ e 1.650,8 cm² planta⁻¹, respectivamente) obtidos na concentração iônica de 125%. Observou-se máximas respostas para massa fresca e seca da parte aérea (63,9 e 6,9 g planta⁻¹), massa fresca e seca da raiz (16,7 e 2,0 g planta⁻¹) e massa fresca e seca da inflorescência (11,0 e 1,8 g planta⁻¹), respectivamente, na concentração iônica de 125%. A fotossíntese líquida, a condutância estomática, a transpiração e a eficiência instantânea de carboxilação obtiveram máximas respostas de 17,9 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹, 0,3 mol H₂O m⁻² s⁻¹, 6,3 mmol m⁻² s⁻¹ e 0,06 com as concentrações estimadas de 84, 70, 80 e 83% da força iônica, respectivamente. Assim, conclui-se que para obtenção de maior acúmulo de biomassa, indica-se a concentração iônica de 125%.

Palavras-chave: *Acmella oleracea*, concentração iônica, massa fresca e seca.

3. PRODUCTIVE AND PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF JAMBU (*ACMELLA OLERACEA*) UNDER NUTRIENT CONCENTRATIONS IN NUTRIENT SOLUTION

ABSTRACT

In the last years, jambu has become a popular and greatly appreciated, due to its remarkable taste. Thus, hydroponically cultivated jambu is promising, since it achieves better yield and production quality. The aim of this study was to evaluate the effect of ionic concentration in nutrient solution on growth, productivity and gas exchange of jambu. The experimental design was completely randomized, with five treatments and four replicates. The treatments consisted of variations of ionic concentration using the nutrient solution proposed by Hoagland & Arnon (25, 50, 75, 100 and 125%). The length of the main stem, stem diameter, number of inflorescence, leaf area, fresh and dry biomass (shoot, root and inflorescence), photosynthesis, stomatal conductance, transpiration, internal CO₂ concentration, *Ci/Ca* ratio and instant carboxylation efficiency were evaluated. Ionic concentrations significantly affected the studied variables, except the stem diameter, the internal CO₂ concentration and the *Ci/Ca* ratio. The number of inflorescences and the leaf area grew linearly with maximum values (37.8 units plant⁻¹ and 1650.8 cm² plant⁻¹, respectively) obtained in ionic concentration of 125%. Maximum responses were observed for shoot fresh and dry mass (63.9 and 6.9 g plant⁻¹), root fresh and dry mass (16.7 and 2.0 g plant⁻¹) inflorescence fresh and dry mass (11.0 and 1.8 g plant⁻¹), respectively, at ionic concentration of 125%. Liquid photosynthesis, stomatal conductance, transpiration and instant carboxylation efficiency achieved maximum responses of 17.9 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹, 0.3 mol H₂O m⁻² s⁻¹, 6.3 mmol m⁻² s⁻¹ and 0.06 with estimated concentrations of 84, 70, 80 and 83% of ionic strength, respectively. Thus, we concluded that the ionic concentration of 125% is indicated to obtain a greater biomass accumulation.

Key-words: *Acmella oleracea*, ionic concentration, fresh and dry mass.

3.1 INTRODUCTION

Acmella oleracea, popularly known in Brazil as “jambu”, is a condiment plant from the Amazon, it is of great importance for gastronomical and medicinal purposes, mainly in Para State (SAMPAIO *et al.*, 2019). This plant belongs to *Asteraceae* family, and it is also known as “agrião-do-Pará”, “agrião-do-norte”, “agrião-do-Brasil”, “abecedaria” and “jambuaçu”. It is a small, semi-erect growth habit plant, measuring 30-60 cm tall, with cylindrical fleshy stem and decumbent branches. Flowers are arranged in capitula (inflorescence) which give rise to achene fruits (GUSMÃO; GUSMÃO, 2013). This plant has attracted the interest of pharmaceutical and cosmetics industries, due to spilantol, as numerous tests have proven the anti-inflammatory, analgesic and anesthetic action of this compound (SAMPAIO *et al.*, 2020).

However, the production for commercialization is in small properties in the municipalities near Belém-PA (GUSMÃO; GUSMÃO, 2013). Besides, this crop faces several technical problems which make the productive process rustic and inefficient, generating low productivity and lack of standardization and plant quality (SAMPAIO *et al.*, 2018). Also, seasonality is common, with a greater offer in the second semester due to the festivities in the northern region of Brazil (GUSMÃO; GUSMÃO, 2013).

Thus, aiming quality production in sufficient amount, jambu cultivation under hydroponic system can be promising, since this system promotes greater input allocative efficiency, higher productivity and quality of products (PORTELA *et al.*, 2012). Hydroponic system is a technique for growing plants without soil as a source of nutrients, so that these nutrients are available to the crop through a balanced nutrient solution (known as standard solution) which promotes growth and development of the cultivated plants. So, in this system, the nutrient solution constitutes one of the most important aspects in obtaining high quality vegetable products (SAMBO *et al.*, 2019).

Several formulations of standard nutrient solutions for leafy vegetables and fruits can be found in literature (FURLANI, 1997; FURLANI *et al.*, 1999). However, it is worth mentioning that the formulations, as well as their ionic concentrations, can vary even within the plant species, since the absorption of nutrients varies with the cultivar, the developmental stage, the hydroponic system and the climatic conditions in which the crop is submitted (PORTELA *et al.*, 2012).

No suggestion for nutrient solution formulation for jambu crop can be found in literature, though. In general, it is emphasized that the formulations proposed by Hoagland

and Arnon (1950) is considered the common standard solution in which variations in relation to macro and micronutrients can be verified among them (FURLANI *et al.*, 1999; COMETTI *et al.*, 2008). Thus, further studies on nutrient solution parameters in productive performance of jambu are necessary.

Considering the nutrient solution, electrical conductivity (EC) stands out, since, it provides information on the nutrient concentration in the nutrient solution (SAMBO *et al.*, 2019). Thus, significant effects of CE variation on productivity, quality and physiological aspects in several crops can be noticed in literature (LUZ *et al.*, 2012; PORTELA *et al.*, 2012; BARON *et al.*, 2015). Portela *et al.* (2012) evaluating the effect of EC of the nutrient solution on growth, productivity and quality of the strawberry crop observed that the increase of EC favored the growth and production of plants, as well as increased total soluble solid contents, anthocyanins, L-ascorbic acid and total phenols in fruits. In a study, carried out by Baron *et al.* (2015), on production of *Annona muricata* seedlings, the results showed that CE variations of nutrient solution promoted differences in gas exchange and seedling biomass accumulation.

Given the above, and due to a small number of studies on jambu performance under hydroponic system, this study aimed to evaluate the effect of ionic concentrations, using the nutrient solution proposed by Hoagland and Arnon, (1950) on growth, productivity and gas exchange of jambu plants, searching to define the concentration which promotes higher yield.

3.2 MATERIAL AND METHODS

The experiment was conducted in a greenhouse from September 1 to December 21, 2019, at Federal Rural University of Amazon (UFRA), located in the municipality of Belém-PA (latitude 1° 28' S, longitude 48° 30'W and 9 m altitude). According to Köppen, the climate is *Af*, average temperature of 26 °C (ALVARES *et al.*, 2013).

The experiment was carried out in a completely randomized design with five treatments and four replicates. The treatments consisted of variations of ionic concentration, using Hoagland and Arnon nutrient solution (1950), showing the following concentration (macronutrients in mmol L⁻¹ and micronutrients in μmol L⁻¹): 15.0 N; 1.0 P; 6.0 K; 5.0 Ca; 2.0 Mg; 2.0 S; 90.0 Fe; 46.3 B; 18.30 Cl; 9.10 Mn; 0.8 Zn; 0.3 Cu and 0.1 Mo. Based on this standard solution, we used ionic concentrations (25%, 50%, 75%, 100% and 125%), and the electrical conductivity was 0.7, 1.3, 2.0, 2.8 and 3.3 dS m⁻¹, respectively. For standard solution composition, we used pure reagents for analysis, being the nutrient sources: NH₄H₂PO₄, KNO₃, Ca(NO₃)₂, MgSO₄, H₃BO₃, CuSO₄.5H₂O, FeCl₃ + Na₂.EDTA, MnSO₄.H₂O, H₂MoO₄.H₂O and ZnSO₄.7H₂O.

Plants were grown under substrate system using sterilized ground silica as a substrate. The authors used 2 L plastic pots filled with substrate and coated with aluminum foil in order to minimize the sunlight incidence (increase in solution temperature), also avoiding the proliferation of algae inside these containers. The collecting containers of nutrient solution were painted with aluminum metallic paint. Each pot containing one jambu plant represented one experimental unit.

The solution was supplied manually in the pots, with daily frequency: being placed in the morning and drained in the late afternoon. Whenever necessary, the water, lost through evapotranspiration, was replaced with distilled water. The solution was renewed weekly, and pH was checked daily with the aid of a portable peagometer (HANNA®) and, when necessary, correction was performed, using NaOH solution or citric acid ($C_6H_8O_7$) 1N, keeping it within the range from 5.5 to 6.5.

Seedlings were produced in expanded polystyrene trays of 128 cells filled with coconut fiber substrate. Afterwards, seeds were sown (the achenes) at a density of six seeds per cell. After germination, trays were transferred to benches, being kept under subsurface fertigation system, using Hoagland and Arnon (1950) formulation at an ionic concentration of 25%. Seven days after germination, seedlings were thinned, and just one seedling per cell was kept. Seedlings were transplanted at 21 days after germination. Harvest was done at 56 days after germination.

Before harvesting, between 9 and 11 am, the authors analyzed the gas exchanges in the second pair of leaves of the main stem tip of the plants with the aid of a infrared gas analyzer (IRGA), model LI-6400XT (LI-COR, Lincoln, NE). The following physiological variables were evaluated: a) CO_2 concentration in the substomatic chamber (C_i , $\mu\text{mol } CO_2 \text{ mol}^{-1}$); b) stomatal conductance (g_s , $\text{mol } H_2O \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); c) liquid photosynthesis (A , $\mu\text{mol } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); d) ratio between the concentration of CO_2 in the substomatic chamber and the concentration of CO_2 in the environment (C_i/C_a); e) transpiration (E , $\text{mmol } H_2O \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); and, f) carboxylation efficiency (A/C_i), obtained from the ratio between liquid photosynthesis and CO_2 concentration in the substomatic chamber.

After harvest, the following traits were evaluated: a) main stem length (cm) – determined with the aid of a graduated scale; b) stalk diameter – measured with the aid of a digital caliper; c) shoot fresh and dry mass (g plant^{-1}); d) root fresh and dry mass (g plant^{-1}); e) inflorescence fresh and dry mass (g plant^{-1}); f) number of inflorescence (unit plant^{-1}) –

through simple counting; and g) leaf area ($\text{cm}^2 \text{ plant}^{-1}$) – determined with the aid of an area integrating device, LICOR[®] model LI-3100.

Fresh and dry masses were determined after separating each part, and being weighed using a precision scale (0.001 g). In order to determine dry mass, the samples of each part were kept in paper bags and taken to an oven, temperature 65 °C for 72 hours, when they reached constant weight.

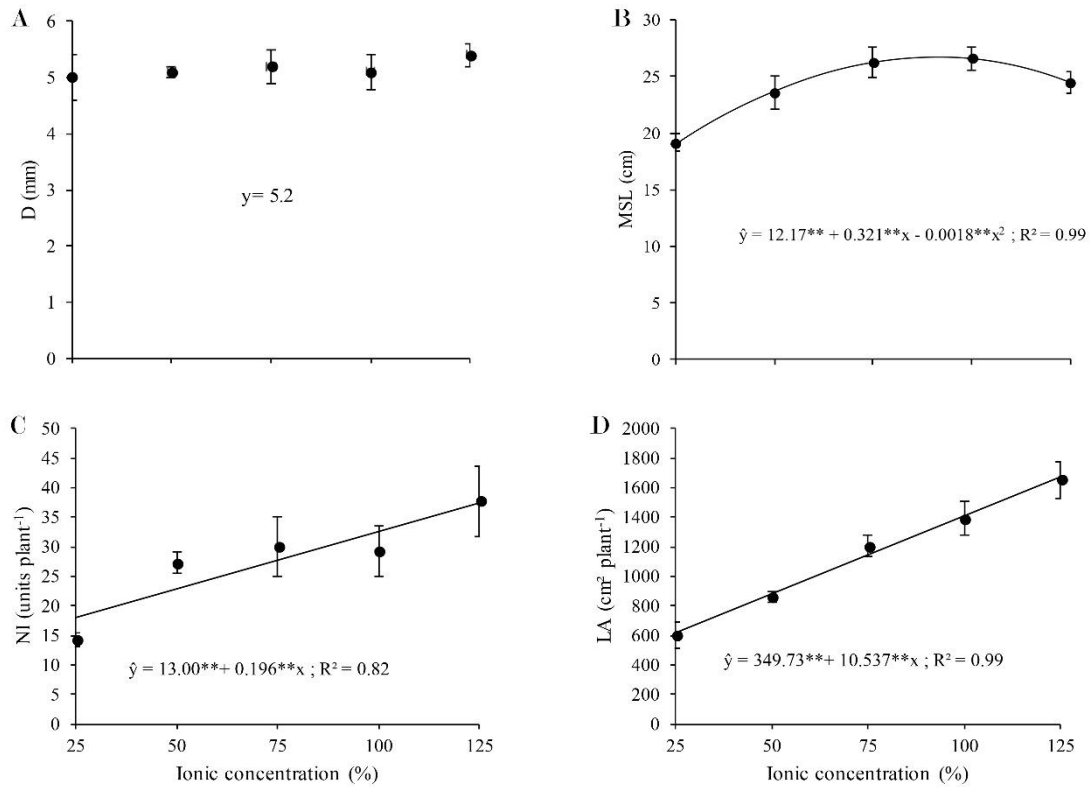
The results obtained in this study were submitted to variance analysis and, when significant, regression analysis was carried out. Then, the models and coefficients were tested by t test. The model was chosen based on the significance showed and superior determination coefficient (R^2) (> 0.7). To analyze the data obtained in the experiment, we used statistic software Sisvar version 5.6 (FERREIRA, 2011).

3.3 RESULTS AND DISCUSSION

Ionic concentrations of nutrient solutions affected growth, productivity and gas exchanges; the concentrations did not affect the stem diameter, internal CO_2 concentration and C_i/C_a ratio, though.

An increase of nutrient solution concentration did not promote significant increases in stem diameter, which varied from 5.0 to 5.4 mm, considering the smallest (25%) and the greatest (125%) tested ionic concentrations, respectively (Figure 1A). Similarly, in lettuce plants (*Lactuca sativa*) variety Romana grown under hydroponics, Cunha-Chiamolera *et al.* (2017) verified that an increase of ionic concentration of nutrient solution did not affect the stem diameter of the plant.

Figure 1 - Stem diameter (D), main stem length (MSL), number of inflorescences (NI) and leaf area (LA) of jambu plants in relation to the variation in ionic concentration in the nutritive solution. ** significant at 1% probability; * significant at 5% probability by t test. Vertical lines are standard errors (n = 4).



Source: Author (2019).

For jambu, the authors observed that the stem diameter is a trait which is little affected by nutrient availability in the nutrient solution, since both in ionic concentration of 25% (5.0 mm) and of 125% (5.4 mm) no evidence for growth trend related to this variable was noticed (Figure 1A). Besides, the fact that jambu is a rustic plant should be considered (GUSMÃO; GUSMÃO, 2013), since it can explain the ability to tolerate extreme variations of nutrient solutions tested in this study. The authors also highlight that even in low concentration of nutrients, no characteristic symptoms of nutritional deficiencies were observed.

In relation to main stem length, the authors observed that an increase of the ionic concentration promoted positive responses up to a certain concentration, which was explained by a quadratic model (Figure 1B). The maximum estimated growth was 26.7 cm at a concentration of 90.2%; from that concentration, a decrease in this variable was observed. Maximum growth estimated was 26.7 cm at a concentration of 90.2%, from this concentration, the authors noticed a decrease in this variable, which can be explained by a

possible nutritional disorder, due to a high concentration of salts in the solution, which resulted in plant morphological changes (FONTES, 2016). For cucumber crop (*Cucumis sativus*), Diniz *et al.* (2015), evaluating the effect of different nutrient proportions (12,5, 17, 25, 50 and 100%) on nutrient solution proposed by Furlani *et al.* (1999), observed higher plants grown in more diluted solutions, where they also verified that as the concentration of nutrients in the solution increased, plant length decreased. According to Fontes (2016), excess of nutrients can cause changes in cellular and biochemical level of the plants, which results in changes in photoassimilate partitioning in different plant organs.

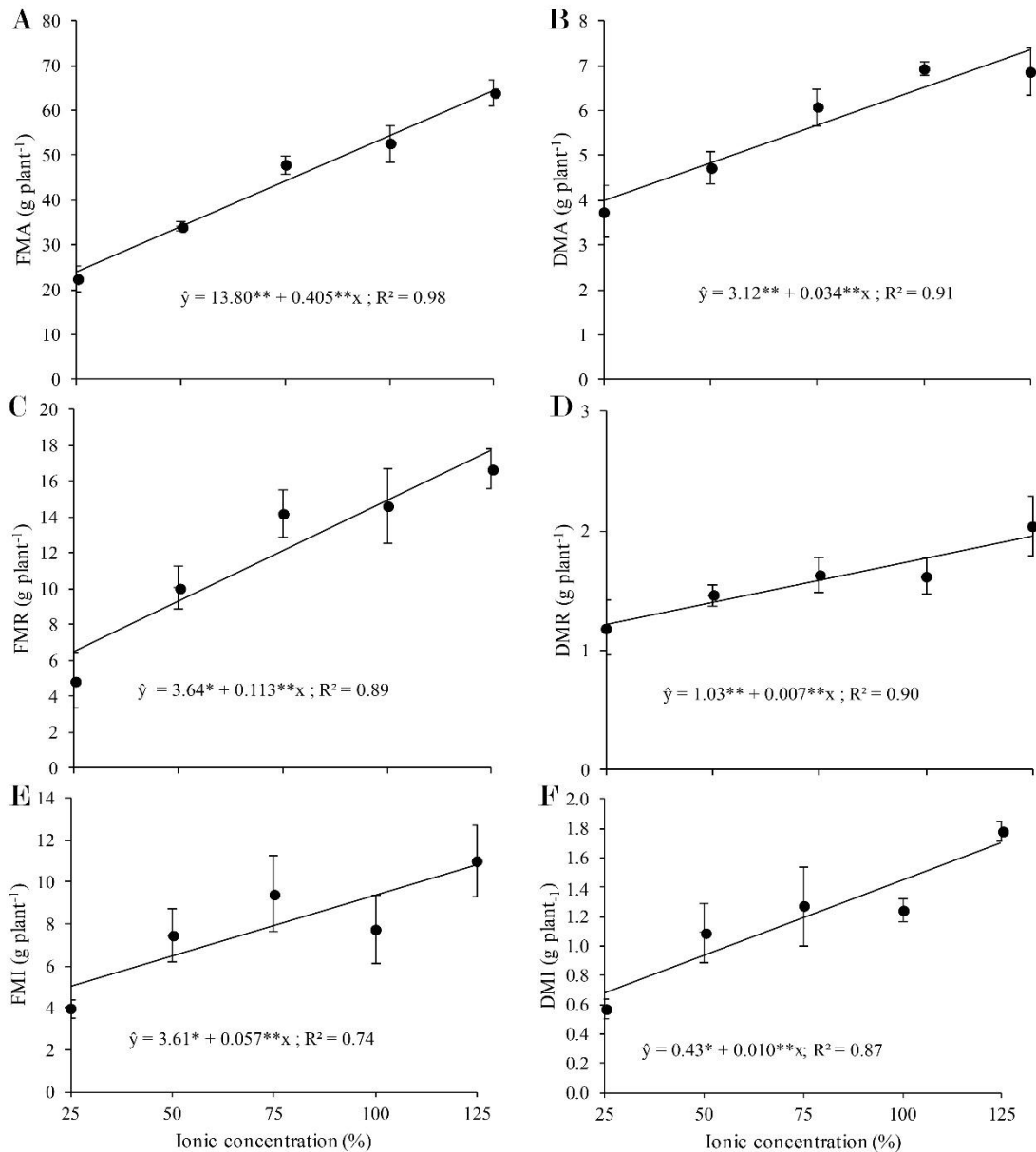
For number of produced inflorescences (Figure 1C), the authors observed positive linear response in relation to an increase of ionic concentration, production of 37.8 inflorescences plant⁻¹ at the highest concentration (125%), corresponding to an increase of approximately 165% in relation to the smallest tested concentration (25%). For this crop, Rodrigues *et al.* (2014) observed good response for inflorescence production in relation to nutrient availability in the soil, also being represented by a positive linear function, proving the influence of the availability of nutrients for jambu flowering.

Similarly to what was observed for inflorescence number, ionic concentrations increased linearly for leaf area, showing leaf expansion of 1,650.8 cm² plant⁻¹ at the highest ionic concentration (125%). Andrade (2019), evaluating the influence of ionic concentration on lettuce cultivars under hydroponic NFT system, also observed an increase in leaf area of plants as the concentration of the solution was increased, which was represented by a positive linear function. Silva *et al.* (2019) observed that an increase in ionic concentration of the solution promoted a linear increase in leaf area of the lettuce.

We noticed that the production of leaves and inflorescences of jambu under hydroponics system is responsive to an increased nutrient availability in the nutrient solution due to its linear responses, showing that the plant can also express higher responses when using higher ionic concentrations. Thus, concerning productivity, these results are interesting for the crop, since both leaves and inflorescences of jambu are commercialized (SAMPAIO *et al.*, 2018).

Both shoot dry and fresh mass (Figure 2A and 2B) increased proportionally to the increase of ionic concentration of the nutrient solution, being higher responses observed in plants grown in a solution at 125%, 63.9 and 6.9 g plant⁻¹, respectively, representing an increase of 184% for fresh mass and 83% for dry mass comparing with values obtained in ionic concentration at 25% (22.5 and 3.8 g plant⁻¹, respectively).

Figure 2 - Shoot fresh mass (FMA), shoot dry mass (DMA), root fresh mass (FMR), root dry mass (DMR), fresh mass of inflorescence (FMI) and dry mass of inflorescence (DMI) of jambu plants in relation to the variation of ionic concentration in the nutrient solution. ** significant at 1% probability; * significant at 5% probability by t test. Vertical lines are standard errors (n = 4).



Source: Author (2019).

Positive effect on production considering an increase of ionic concentration in hydroponics system had already been demonstrated for several vegetable species (COMETTI *et al.*, 2008; GENUNCIO *et al.*, 2012; PORTELA *et al.*, 2012). Luz *et al.* (2012) evaluating the effect of different ionic concentrations (50, 75, 100 and 125%) of the formulation recommended by Furlani *et al.* (1999), observed an increase in shoot dry and fresh mass accumulation in parsley (*Petroselinum crispum*) and coriander (*Coriandrum sativum*). Evaluating productive responses of lettuce cultivars under hydroponics system under different

ionic concentrations (50, 75 and 100%), Genuncio *et al.* (2012) observed a positive effect with a nutrient availability increase, being the highest response achieved at 100% of ionic strength.

Based on these results, studies relating the effect of nutrient solution formulations and their concentrations on vegetative and reproductive stages for each species show high relevance. Thus, using these studies, it is possible to indicate different moments regarding periodic nutrient replacement, establish nutritional requirements for each species, as well as reduce the nutrient concentration in the solution without yield loss, thus making it possible to reduce production costs in order to increase the nutrient use efficiency by crops (COMETTI *et al.*, 2008).

For root fresh and dry mass (Figures 2C and 2D), the authors noticed that an increase in concentration promoted linear increases, and the maximum responses (16.7 and 2.0 g plant⁻¹, respectively) at 125% concentration, corresponding to increases of 242.5 and 71.4%, respectively, when compared with values obtained at 25% concentration (4.9 and 1.2 g plant⁻¹). For jambu, despite the increase in salinity due to the increase of the ionic concentration of the nutrient solution, the crop did not show a reduction in biomass productivity and / or characteristic symptoms of plants under salt stress (NEGRÃO *et al.*, 2017). Similarly, for lettuce crop, Cometti *et al.* (2008) also verified variations in root dry mass accumulation as the ionic concentration of Furlani nutrient solution increased (1997), observing that more diluted solutions obtained less dry mass accumulations than concentrated solutions.

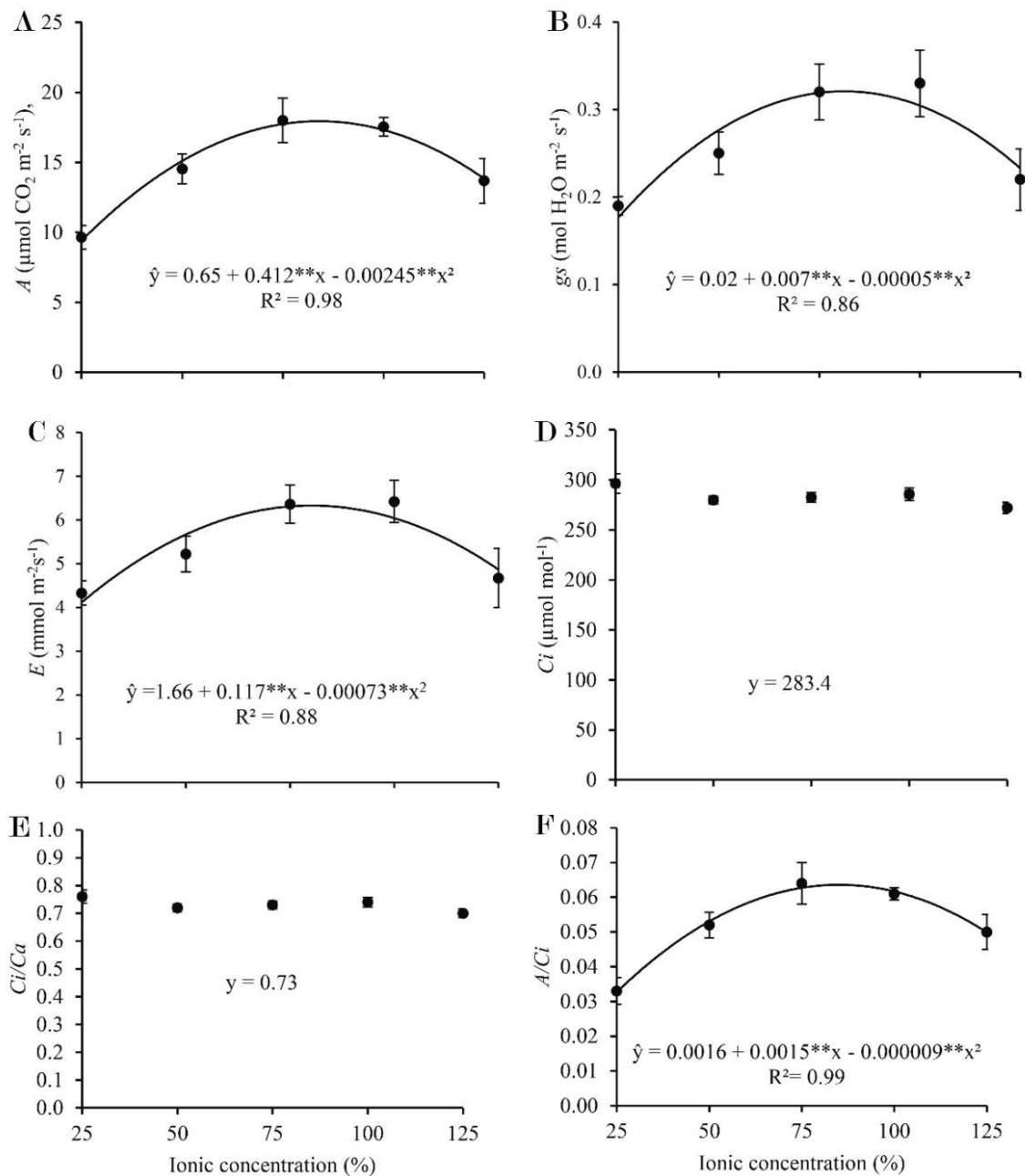
In relation to jambu reproductive performance, the authors verified that fresh and dry mass of the inflorescence were influenced by the increase of ionic concentration, being represented by increasing linear functions (Figure 2E and 2F), the ionic concentration at 125% stood out, showing the highest responses observed in this study (11.0 and 1.8 g plant⁻¹, respectively). Phenological stages directly influenced on nutritional demand of plants, being flowering and fruiting the periods of greatest demand for nutrients, since inflorescences and fruits represent drain organs with high demand for photoassimilates to reach their maturation (MARSCHNER, 2012; TAIZ *et al.*, 2017). This behavior can explain the greatest flowering of jambu obtained at a concentration of 125%, since in this concentration larger availability of nutrients for growth and development of a plant can be verified, when comparing with other tested concentration.

Therefore, the electrical conductivity adjustment (ionic concentration) for hydroponics cultivation of jambu is a central parameter for obtaining greater yields both for fresh mass of shoot and inflorescence. Thus, the results obtained in this study justify EC adjustments in

other commercial standard solutions used in vegetable production under hydroponic systems (FURLANI *et al.*, 1999), based on EC around 3.3 dS m^{-1} , since this value corresponds to 125% ionic strength of Hoagland and Arnon standard solution (1950). In general, it is important to highlight that the nutrient solutions of current standards nutritional solutions have as a common ancestor the solution proposed by Hoagland and Arnon, (1950), with slight variations in macro and micronutrient levels between them (COMETTI *et al.*, 2008; FURLANI *et al.*, 1999), thus making the adjustment for other formulations interesting.

Gas exchanges were influenced by variations of ionic concentration in nutrient solution, as observed for growth and production, for exception of C_i and C_i/C_a ratio which obtained averages of $283.4 \mu\text{mol mol}^{-1}$ and 0.73, respectively (Figure 3).

Figure 3. Liquid photosynthesis (A), stomatic conductance (g_s), transpiration (E), internal CO_2 concentration (C_i), C_i/C_a ratio (C_i/C_a) and instantaneous carboxylation efficiency (A/C_i) of jambu plants in relation to ionic concentration variation in nutrient solution. ** significant at 1% probability; * significant at 5% probability by t test. Vertical lines are standard errors ($n = 4$).



Source: Author (2019).

For A , g_s , E and A/C_i , the authors observed quadratic effects of ionic concentration in nutrient solution. Thus, an increase of ionic concentration promoted positive responses for these traits up to reaching maximum value of 84, 70, 80 and 83%, respectively.

Thus, the authors observed that as the photosynthetic rate increased, a similar increase in stomatal conductance, which is related to stomatal opening for CO_2 entry and transpiration was noticed, suggesting that a reduction in both g_s and E is associated with a decrease in A . This is because, although a decrease in the opening of the stomatal pore was verified, no

changes in C_i and in C_i/C_a ratio were noticed, which indicates that the reductions observed for liquid photosynthesis from the estimated concentration of 84% of the ionic concentration are not of stomatal order, but due to a biochemical limitation of the process. So, even with the stomatal closure, the photosynthetic machinery in the chloroplast not being compromised, CO_2 will continue to be fixed, thus promoting a reduction in the amount of internal CO_2 (LEMOS NETO *et al.*, 2020). However, this effect was not observed in this study, since no significant variations of C_i (Figure 3D), as well as C_i/C_a ratio were observed (Figure 3E).

In addition, even with CO_2 availability, reductions in the efficiency of carboxylation from 83% ionic strength could be noticed (Figure 3F), indicating that no CO_2 assimilation for synthesis of organic compounds was observed. This fact further reinforces the possible biochemical limitation throughout the photosynthesis process. According to Marschner (2012), the increase in EC of the nutrient solution can cause changes of the photosynthetic electron transport chain and / or the enzyme CO_2 fixation system, with negative effects on the photosynthetic rate (BARON *et al.*, 2015).

Andrade (2019), evaluating physiological responses of lettuce cultivars in hydroponics system under ionic concentration variations, verified reductions in A , g_s , E and A/C_i in more concentrated solutions, being represented by quadratic functions. We highlight that, as well as in the present study, the mentioned author did not observed significant effect of C_i and C_i/C_a ratio with an increase of ionic concentration of the solution. Thus, the loss of photosynthetic efficiency observed in this study was also related to possible non-stomatic limitations, mainly due to differential rates in the absorption of nutrients such as Ca and Mg, which had their levels reduced as the electrical conductivity of the solution increased.

Baron *et al.* (2015), evaluating the influence of nutrient availability of Hoagland and Arnon nutrient solution 2 (1950) on gas exchanges, nutritional state and leaf biomass production of star fruit (*Annona emarginata*) seedlings, observed that the plants grown under 100% ionic concentration showed lower contents of Mg, Ca and S in their leaves in relation to other concentrations. Besides, these authors also observed reduction of liquid photosynthesis and instant carboxylation efficiency at 100% ionic concentration, which indicates that the changes in mineral composition affect photosynthetic performance of the crop.

Growth and productive responses observed in jambu as the concentration of nutrients in the nutrient solution increased may be related to the increase in physiological traits. However, we highlight those reductions in A (Figure 3A) and A/C_i (Figure 3F) in higher nutrient concentrations were noticed, which corroborate most of the results obtained for other

variables. We verified that jambu throughout its vegetative and reproductive cycle adapted to this condition of loss of photosynthetic efficiency, though. This is because a linear increase in growth (Figure 1) and productivity of the crop was noticed (Figure 2) with the increase of ionic concentration in the nutrient solution, mainly using the concentration of 125%.

3.4 CONCLUSIONS

Thus, the authors concluded that ionic concentrations in the nutrient solution influenced on growth, production and physiological traits of jambu, considering that to obtain greater biomass accumulation, we suggest the ionic concentration of 125% of Hoagland and Arnon standard solution (1950), which corresponds to an electrical conductivity of 3.3 dS m⁻¹.

ACKNOWLEDGMENT

The Amazon Foundation for the Support of Studies and Research (Fapespa) for granting an academic doctorate, ICAAF No. 009/2017, to the first author. To the Higher Level Staff Improvement Coordination (CAPES) for granting an mastering scholarship to the third author (Proc. 88887.572120/2020-00) and for the publication support given by CAPES-PGAgro-UFRA.

REFERENCES

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ANDRADE, R. R. 2019. **Efeito da concentração da solução nutritiva em cultivares de alface em sistema hidropônico tipo NFT, em clima Semiárido**. Universidade Federal do Ceará. 95 p (Tese de doutorado).
- BARON, D., FERREIRA, G.; BOARO, C. S. F.; RODRIGUES, J. D.; AMARO, A. C. E.; MISCHAN, M. M. The Effect of the Ionic Strength of Nutrient Solution on Gas Exchange, Ionic Concentration and Leaf Biomass of *Annona emarginata* (Schltdl.) H. Rainer Variety 'Terra-Fria' Seedlings. *Journal of Plant Nutrition*, v. 38, n. 12, p.1944–1960, 2015.
- COMETTI, N. N.; MATIS, G. C. S.; ZONTA, E.; WELLINGTON, M.; FERNANDES, M. S. Efeito da concentração da solução nutritiva no crescimento da alface em cultivo hidropônico-sistema NFT. *Horticultura Brasileira*, v. 26, n. 2, p. 252-257, 2008.
- CUNHA-CHIAMOLERA, T. P. L.; URRESTARAZU, M.; CÉCÍLIO FILHO, A. B.; MORALES, I. 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*, v. 52, n. 9, p. 1195-1200, 2017.
- DINIZ, A. A.; DIAS, N. D. S.; SOUZA, F. I.; SOUZA, A. C. M.; MESQUITA, F. D. O.; SOUZA, F. I. Efeito da solução nutritiva sob o crescimento e composição mineral em pepino cultivado em substrato de fibra de coco. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 36, n. 5, p. 3043, 2015.

- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 160, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FONTES, P. C. R. **Nutrição mineral de plantas: anamnese e diagnóstico**. Viçosa, MG, ed. 1, U. F. V, 2016, 315 p.
- FURLANI, P. R. **Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia-NFT**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997, 30 p.
- FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo Hidropônico de Plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1999, 180 p.
- GENUNCIO, C. G.; GOMES, M.; FERRARI, A. C.; MAJEROWICZ, N.; ZONTA, E. Hydroponic lettuce production in different concentrations and flow rates of nutrient solution. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 3, p. 526–530, 2012.
- GUSMÃO, M. T. A.; GUSMÃO, S. A. L. **Jambu da Amazônia: Acmella oleracea [(L.) R. K. Jansen]: características gerais, cultivo convencional, orgânico e hidropônico**. Belém: Edufra, 2013. 135 p.
- HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. The water culture method for growing plants without soil. Circular. **California agricultural experiment station**, v. 347, n. 2nd edit, 1950.
- HOMMA, A. K. O.; SANCHES, R. S.; MENEZES, J. E. A. A.; GUSMÃO, S. A. L. Etnocultivo do Jambu para Abastecimento da Cidade de Belém, Estado do Pará. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, v. 6, n. 12, p. 1-17, 2011.
- LEMONS NETO, H. S.; GUIMARÃES, M. A.; SAMPAIO, I. M. G.; RABELO, J. S.; VIANA, C. S.; MESQUITA, R. O. Can silicon (Si) influence growth, physiology and postharvest quality of lettuce? **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n.1, p. 71–77, 2020.
- LUZ, J. M. Q.; ANDRADE, L. V.; DIAS, F. F.; SILVA, M. A. D.; HABER, L. L.; OLIVEIRA, R. C. Produção hidropônica de coentro e salsa crespa sob concentrações de solução nutritiva e posições das plantas nos perfis hidropônicos. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 4, p. 589–597, 2012.
- MARSCHNER, H. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3ed. London: Elsevier, 2012, 643 p.
- NEGRÃO, S.; SCHMÖCKEL, S. M.; TESTER, M. Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. **Annals of Botany**, v. 119, n. 1, p. 1–11, 2017.
- PORTELA, I. P.; PEIL, R. M. N.; ROMBALDI, C. V. Efeito da concentração de nutrientes no crescimento, produtividade e qualidade de morangos em hidroponia. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 2, p. 266–273, 2012.
- RODRIGUES, D. S.; CAMARGO, M. S.; NOMURA, E. S.; GARCIA, V. A.; CORREA, J. N.; VIDAL, T. C. M. Influencia da adubação com nitrogênio e fósforo na produção de Jambu, Acmella oleracea (L) R.K. Jansen. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 16, n.1, 2014.
- SAMBO, P.; NICOLETTO, C.; GIRO, A.; PII, Y.; VALENTINUZZI, F.; MIMMO, T.; LUGLI, P.; ORZES, G.; MAZETTO, F.; ASTOLFI, S.; TERZANO, R.; CESCO, S. Hydroponic Solutions for Soilless Production Systems: Issues and Opportunities in a Smart Agriculture Perspective. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1-17, 2019.

SAMPAIO, I. M. G.; GUIMARÃES, M. A.; LEMOS NETO, H. S.; MAIA, C. L.; VIANA, C. S.; GUSMÃO, S. A. L. Pode o uso de mudas agrupadas e a maior densidade de plantio aumentar a produtividade de jambu?. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 61, p.1-8, 2018.

SAMPAIO, I. M. G.; GUIMARÃES, M. A.; LEMOS NETO, H. S.; MAIA, C. L.; VIANA, C. S.; GUSMÃO, S. A. L. Recipientes e densidades de semeadura combinadas com o tempo na produção de mudas de jambu. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 62, p.1-8, 2019.

SAMPAIO, I. M. G.; SILVA JÚNIOR, M. L.; CHAGAS, E. D. S.; BITTENCOURT, R. F. P. M.; COSTA, V. C. N.; SOUZA, D. L.; SANTOS, W. A. S.; TEXEIRA, B. J. B. Evaluation of the Non-destructive Method Efficiency of Estimating Nitrogen Content in Jambu Plants Grown in Hydroponic System. **Journal of Agricultural Studies**, v. 8, n. 2, p. 466-479, 2020.

SILVA, P. F.; MATOS, R. M.; BONOU, S. M.; SOBRINHO, T. G.; BORGES, V. E.; DANTAS NETO, J.; MELLO JÚNIOR, A. P. Yield of the hydroponic lettuce under levels of salinity of the nutrition solution. **African Journal of Agricultural Research**, v. 14, n. 14, p. 686–693, 2019.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal** (L. Taiz, E. Zeiger, I. M. Moller, & A. Murphy (eds.); 6th ed.). Artmed Editora, 2017, 888 p.

4. PRODUÇÃO E QUALIDADE PÓS-COLHEITA DO JAMBU EM HIDROPONIA SOB CONCENTRAÇÕES DE NITROGÊNIO NA SOLUÇÃO NUTRITIVA

Artigo publicado na Revista Ciência Agronômica, v. 52, n. 2, 2021

DOI: 10.5935/1806-6690.20210021

RESUMO

O jambu é uma hortaliça folhosa da região norte brasileira e seu cultivo no solo têm reduzido consideravelmente a sua produção, devido as pragas e doenças. Com base nisso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento, a produção e a qualidade pós-colheita de plantas de jambu cultivadas em hidroponia em resposta a variação da concentração de nitrogênio na solução nutritiva. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado com oito repetições e seis tratamentos constituídos por concentrações de nitrogênio na solução nutritiva (11, 13, 15, 17, 19 e 21 mmol L⁻¹ de N). Avaliou-se o comprimento da haste principal (CHP), diâmetro (D), área foliar (AF), número de inflorescências (NI), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), massa fresca da raiz (MFR), massa seca da raiz (MSR), massa fresca da inflorescência (MFI), massa seca da inflorescência (MSI), concentração de N, sólidos solúveis totais (SST), pH, acidez titulável (AT) e a relação SST/AT. Tanto o crescimento como a produção foram explicados por modelos lineares positivos, de modo que os melhores resultados foram obtidos na concentração de 21 mmol L⁻¹ de N. Quanto às variáveis de qualidade SST e a relação SST/AT, estas foram, também, explicadas por modelos lineares crescente com máximas respostas na concentração de 21 mmol L⁻¹ de N. À medida que se aumentou a concentração de nitrogênio houve reduções da AT. Com base nos resultados, a concentração de 21 mmol L⁻¹ de N na solução nutritiva possibilita melhor resposta em termos de crescimento, produção e qualidade pós-colheita no jambu.

Palavras-chave: Cultivo sem solo. *Acmella oleracea* (L.). Acidez titulável. Brix.

4. PRODUCTION AND POSTHARVEST QUALITY OF JAMBU IN HYDROPONICS UNDER NITROGEN APPLICATION IN NUTRIENT SOLUTION*

ABSTRACT

Jambu is a leafy vegetable from the northern region of Brazil and its cultivation in the soil has considerably reduced its production, due to pests and diseases. Based on this, the objective of this work was to evaluate the growth, yield and postharvest quality of hydroponic jambu plants in response to the variation of nitrogen (N) concentration in the nutrient solution. The design used was completely randomized with eight replicates and six treatments, consisting of N concentrations in the nutrient solution (11, 13, 15, 17, 19 and 21 mmol L⁻¹). Main stem length (MSL), diameter (D), leaf area (LA), number of inflorescences (NI), shoot fresh mass (SFM), shoot dry mass (SDM), root fresh mass (RFM), root dry mass (RDM), inflorescence fresh mass (IFM), inflorescence dry mass (IDM), N content, total soluble solids (TSS), pH, titratable acidity (TA) and TSS/TA ratio were evaluated. Both growth and yield were explained by positive linear models, and the best results were obtained at the N concentration of 21 mmol L⁻¹. As for the quality variables TSS and TSS/TA, these were also explained by increasing linear models with maximum responses at the N concentration of 21 mmol L⁻¹. As the N concentration increased, there were reductions in TA. Based on the results, the N concentration of 21 mmol L⁻¹ in the nutrient solution enables better response in terms of growth, production and postharvest quality in jambu.

Key-words: Soilless cultivation. *Acmella oleracea* (L.). Titratable acidity. Brix

4.1 INTRODUCTION

Considered a species of the Amazon region, northern Brazil, jambu (*Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen) is a herbaceous leafy vegetable that has peculiar properties, such as the momentary anesthetic sensation caused by the consumption of its vegetative parts, mainly, of inflorescences (HOMMA, 2014). This sensation comes from the action of the bioactive compound spilanthol and this substance has been exploited by the industry due to its pharmacological properties, such as anti-inflammatory and anesthetic (BARBOSA *et al.*, 2016). In addition, the crop has significant importance as a condiment of typical dishes of the northern region, for example tacacá, which is considered intangible cultural heritage of the city of Belém (SILVA *et al.*, 2020).

Jambu cultivation in soil is carried out by direct sowing in furrows in soil, a management that leads to low uniformity and quality of plants (SAMPAIO *et al.*, 2019) and facilitates the occurrence of diseases of economic importance such as coal (*Thecaphora spilanthos* Frei. & Van.) and rust (*Puccinia sp.*), which cause significant losses (HOMMA, 2014). It is worth pointing out that, although the study conducted by Sampaio *et al.* (2018) improves the conventional production system of jambu, mainly due to the adoption of seedlings, this management does not guarantee the absence of losses caused by pests and diseases that occur in the cultivation in soil.

To reduce production losses in the soil cultivation of jambu, an alternative would be the use of hydroponic system. This cultivation system, which uses nutrient solution instead of soil, has advantages such as lower use of area and inputs, mainly water and fertilizers, absence of soil diseases, higher yield, as well as better quality of plants (SAMBO *et al.*, 2019). However, little is known about the nutritional dynamics of this crop in this system, as well as its productive and qualitative behavior as a function of variations of nutrients in the nutrient solution.

In soil cultivation, in both conventional and organic systems, studies have demonstrated higher productivity and quality of jambu due to increased nitrogen (N) supply through N fertilization (BORGES *et al.*, 2013; SOUTO *et al.*, 2018), indicating the importance of this element in maintaining the production and quality of the crop. Thus, it is necessary to deepen the studies on N in nutrient solutions for the cultivation of jambu in hydroponic systems.

Research has shown the important role of N both in the increase of production and in the improvement of the postharvest quality of vegetables (CECÍLIO FILHO *et al.*, 2017; MAHLANGU *et al.*, 2016; MASHABELA *et al.*, 2018; RODRIGUES *et al.*, 2014). In Brazil, postharvest losses in vegetables reach on average 35 to 40%, being the largest source of financial loss for producers (HOQUE *et al.*, 2010). These losses are mainly related to the physical aspect, since consumers evaluate the products mainly based on their appearance (CHITARRA; CHITARRA, 2005), which shows the importance of mineral nutrition in maintaining both production and qualitative parameters of vegetables.

Based on the above, the objective was to evaluate the growth, production and postharvest quality of jambu plants grown in hydroponics in response to the variation of N concentration in the nutrient solution.

4.1 MATERIAL AND METHODS

The experiment was conducted in a A-frame greenhouse with ridge vent, covered with 100- μm low-density polyethylene (LDPE), with width of 8 m, length of 15 m and ceiling height of 3.5 m, and sides covered with 40-mm galvanized wire screen, located in the area of Soil Science, of the Institute of Agrarian Sciences of the Federal Rural University of the Amazon, Belém campus, with the following coordinates: 1°40' S latitude and 48°42' W longitude. The climate is classified as Af according to Köppen's classification (ALVARES *et al.*, 2013). During the experimental period, air temperature and relative humidity were monitored daily using a digital hygrometer installed inside the greenhouse. The average maximum air temperature was 35.8 °C and the minimum temperature was 28.1 °C. The average relative humidity was 77.1%.

The experimental design used was completely randomized with six treatments and eight replicates. The treatments consisted of N concentrations in the nutrient solution (11, 13, 15, 17, 19 and 21 mmol L⁻¹ of N) using as reference the Hoagland and Arnon (1950) solution 2 formulation, where the standard N concentration of the formulation is equivalent to 15 mmol L⁻¹ (Table 1).

Table 1 – Stock solutions and quantity used in the solution (mL L⁻¹) to prepare the treatments. Belém, Pará, 2019.

Stock Solution (1 M)	Treatments (mmol L ⁻¹)					
	11	13	15	17	19	21
NH ₄ H ₂ PO ₄	1	1	1	1	1	1
KNO ₃	2	4	6	6	6	6
Ca(NO ₃) ₂	4	4	4	4	5	4
MgSO ₄	2	2	2	2	2	2
KCl	4	2	-	-	-	-
NaNO ₃	-	-	-	-	2	4
NH ₄ NO ₃	-	-	-	1	1	1
Micro ¹	1	1	1	1	1	1
Fe-EDTA ²	1	1	1	1	1	1

¹Stock Solution of Micronutrients: 2.86 g/L of H₃BO₃, 1.81 g/L of MnCl₂.4H₂O, 0.22 g/L of ZnSO₄.5H₂O, 0.08 g/L of CuSO₄.5H₂O, and 0.02 g/L of H₂MoO₄.H₂O.

²Fe-EDTA: 21.6 g/L EDTA, 286 mL/L 1M KOH and 24.9 g/L FeSO₄.7H₂O

Source: Author (2019).

The experiment was conducted using the yellow flower variety of jambu (*Acmella oleracea* (L.) R.K. Jansen) (GUSMÃO; GUSMÃO, 2013) obtained from the active germplasm bank in the garden area linked to the Institute of Agricultural Sciences (ICA) whose coordinates are 01°27'19" S and 48°26'20" W.

Sowing was performed in polystyrene trays of 128 cells filled with substrate based on coconut powder (Table 2). After emergence, the trays were transferred to wooden countertops. Every two days, the trays were irrigated with nutrient solution of Hoagland and Arnon (1950) with 25% of the nutrient concentration. At seven days after sowing, thinning was performed, leaving one seedling per cell. The experimental units consisted of plastic pots with capacity for 2 L and filled with ground silica (SiO₂) (substrate) containing one jambu seedling.

Table 2 - Chemical characterization of the coconut powder substrate used for the production of jambu (*Acmella oleracea*) seedlings. Belém, Pará, 2019

N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
----- ppm -----											
42	21	22	186	39	37	1	5	14	3	2	4

Fonte: Autor (2019).

At 21 days after sowing, the seedlings were transplanted to the pots. After transplantation, jambu plants underwent a seven-day period of acclimatization to the hydroponic system, receiving nutrient solution at 50% of nutrient concentration (HOAGLAND; ARNON, 1950) and, after this period, were subjected to their respective treatments.

During the experiment, the nutrient solutions were oxygenated by draining the solution in the late afternoon and replacing it in the early morning, every day. The solutions were renewed weekly, when there is a 50% reduction in the concentration of nutrients. The pH values of the solutions were monitored daily by pocket pH meter and kept within the range from 5.5 to 6.5. When necessary, the pH was corrected using 1 N NaOH or 1 N citric acid ($C_6H_8O_7$). The water lost by evapotranspiration was daily replaced in order to maintain a volume of 400 mL per pot, using distilled water.

Harvest was performed 56 days after sowing, when the following characteristics were analyzed: a) main stem length (MSL) - determined using a graduated ruler (cm); b) diameter (D) - determined using a digital caliper (mm); c) leaf area - measured in $cm^2 plant^{-1}$ using a leaf area integrator model LI-3100 (LI-COR, Lincoln, NE, USA); d) number of inflorescences (NI) - determined by simple count; e) shoot fresh mass (SFM) - measured in $g plant^{-1}$; f) shoot dry mass (SDM) - determined in $g plant^{-1}$; g) root fresh mass (RFM) - determined in $g plant^{-1}$; h) root dry mass (RDM) - measured in $g plant^{-1}$; i) inflorescence fresh mass (IFM) - determined in $g plant^{-1}$; and j) inflorescence dry mass (IDM) - measured in $g plant^{-1}$.

The fresh masses were determined after the separation of each part and weighing on a precision scale. To determine the dry mass, the samples of each part were placed in paper bags, dried in an oven at temperature of 65 °C for 72 hours, and then weighed on a precision analytical scale. From this, leaf samples were crushed in a Wiley-type mill, passed through a 20-mesh sieve and stored to determine the total N content by the sulfuric digestion method (Kjeldahl), according to the methodology of Silva (2009).

In addition, the following postharvest variables were also analyzed:

a) Total soluble solids (TSS) - determined using a digital refractometer, with automatic temperature correction, after maceration of 1.0 g of leaves in a mortar and transferring of two to three drops to the device's prism (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY, 2012). The results were expressed in °Brix (%);

b) Titratable acidity (TA) - determined using 1.0 g of leaf macerated with distilled water, with 1% phenolphthalein indicator and titration with 0.1 N NaOH solution (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008). The results were expressed in grams of oxalic acid per 100 g of leaf;

c) pH - determined after maceration of 1.0 g of leaf diluted in 30 mL of distilled water using a benchtop digital pH meter with glass membrane (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008);

d) TSS/TA ratio - determined by the direct relationship between the quotient of soluble solids and titratable acidity.

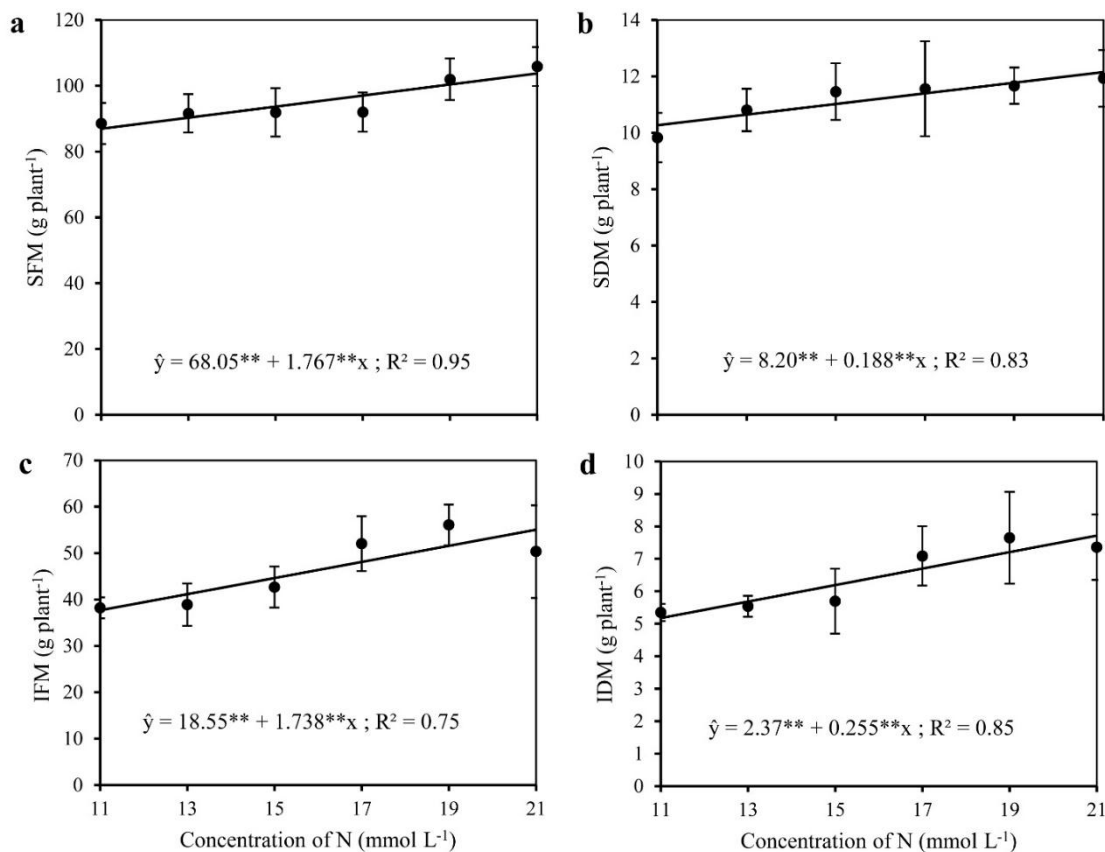
The data were subjected to analysis of variance by the F test at 5% probability level and, when significant, regression models were fitted for N concentrations in the nutrient solution. The analyses were performed using the statistical program Sisvar® (FERREIRA, 2011).

4.3 RESULTS AND DISCUSSION

The increase in N concentration in the nutrient solution did not influence the variables MSL, D, RFM and RDM, with mean values of 24.2 cm, 6.5 mm, 20.8 g plant⁻¹ and 1.9 g plant⁻¹, respectively. The absence of influence of N concentrations on the RFM and RDM of jambu is similar to the results for lettuce in hydroponic system obtained by Mahlangu *et al.* (2016), who did not observe significant effects of N increase on RFM and RDM. Similar behavior was also described by Pôrto *et al.* (2012), who found that N concentrations in the nutrient solution did not influence lettuce growth and production variables.

SFM was influenced by the treatments, increasing linearly as the N concentration in the nutrient solution increased, with greater increment (105.9 g plant⁻¹) at the dose of 21 mmol L⁻¹ (Figure 1a), because N is the nutrient most demanded by plants, especially by leafy vegetables (FILGUEIRA, 2013), due to its participation in the synthesis of amino acids, proteins and pigments, such as chlorophyll (TAIZ *et al.*, 2017), hence being closely related to physiological activities that are important for growth and production such as photosynthesis.

Figure 1 – Shoot fresh mass (a), shoot dry mass (b), inflorescence fresh mass (c) and inflorescence dry mass (d) of jambu plants as a function of increased nitrogen concentration in nutrient solution. ** significant at 1% probability level; * significant at 5% probability level by t-test. Belém, Pará, 2019. Vertical lines are standard errors (n = 8).



Source: Author (2019).

Similar responses are verified when comparing these data with those of studies that analyzed the shoot biomass accumulation of vegetables as a function of N supplementation in different cultivation systems. Costa *et al.* (2020) and Rodrigues *et al.* (2014) evaluated the effect of N fertilization in soil on jambu production and observed increases in shoot biomass as the N doses increased. Effects of variation in N supply on chicory in hydroponic system were also reported by Cecílio Filho *et al.* (2017), who verified an increase in shoot fresh mass up to a certain dose in solution, which was explained by a quadratic function. It is worth pointing out that, for jambu, there is the possibility of increase in N concentration in solution, since the highest yield was obtained at the highest concentration tested (21 mmol L⁻¹).

Thus, the increase in shoot biomass observed in this study for jambu with the increase in N supply, as well as by other authors in soil (BORGES *et al.*, 2013; COSTA *et al.*, 2020; RODRIGUES *et al.*, 2014; SOUTO *et al.*, 2018), is related to the functions performed by N in plant growth and development processes, composing all amino acids and consequently proteins and enzymes related to plant metabolism (MARSCHNER, 2012).

As for SDM, a linear accumulation was observed as the N concentration in the nutrient solution increased, with an increment of approximately 21% when the highest concentration (21 mmol L⁻¹ of N) was compared with the lowest concentration (11 mmol L⁻¹ of N) (Figure 1b).

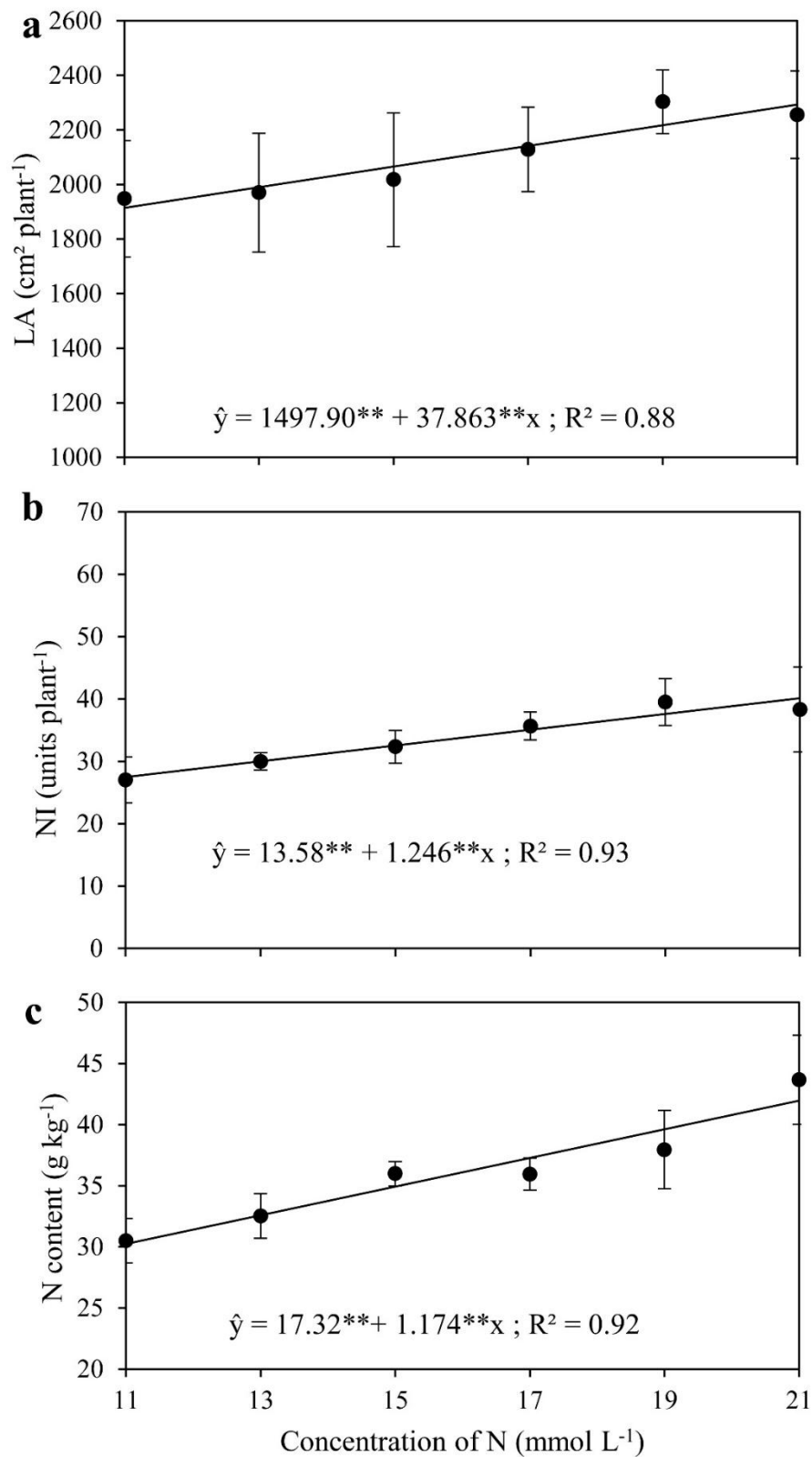
The increase of N in the nutrient solution promoted higher shoot dry mass for lettuce (MAHLANGU *et al.*, 2016), chicory (CECÍLIO FILHO *et al.*, 2017), and cauliflower (MASHABELA *et al.*, 2018), and these results were explained by quadratic functions, that is, up to a certain level of N there are reductions in dry mass accumulation rates in these crops, indicating that, under the conditions in which the present study was conducted, jambu may also show the potential to express positive responses regarding dry biomass accumulation at N concentrations greater than 21 mmol L⁻¹ in the nutrient solution.

For IFM and IDM, there were linear increments with the increase in N concentration, equal to 32 and 37%, respectively, when the highest concentration (21 mmol L⁻¹ of N) is compared with the lowest concentration (11 mmol L⁻¹ of N) (Figure 1c and 1d).

The results obtained corroborate those reported by Rodrigues *et al.* (2014), who verified positive linear models for IFM and IDM as a function of the N doses applied in soil cultivation system. Costa *et al.* (2020) observed increasing accumulation in the fresh and dry mass of inflorescences of yellow flower jambu as N availability in the soil increased, regardless of the application of limestone in the soil. Peçanha *et al.* (2019) observed that N is the nutrient with the highest accumulation in inflorescences of jambu plants. This may be related to the high mobility of N in the phloem, facilitating its transport to sink organs, as is the case of inflorescences, highlighting its contribution to the production of these organs.

Similar to what was observed for biomass variables, the N concentration in the nutrient solution promoted linear increments in LA, NI and N content, which were described by linear models (Figure 2).

Figure 2 - Leaf area (a), number of inflorescences (b) and N content (c) of jambu plants as a function of increased nitrogen concentration in the nutrient solution. ** significant at 1% probability level; * significant at 5% probability level by t-test. Belém, Pará, 2019. Vertical lines are standard errors (n = 8).



Source: Author (2019).

The application of N in nutrient solution increased the expansion of the leaf area of jambu plants, leading to an average increase of 308.2 cm² plant⁻¹ at the dose of 21 mmol L⁻¹, in comparison to the dose of 11 mmol L⁻¹ (Figure 2a). Increment in leaf area as the N

concentration in the nutrient solution increased was also observed by Mahlangu *et al.* (2016) in lettuce crop. Similarly, Mampholo *et al.* (2018) evaluated the effect of N concentrations in the nutrient solution on the growth characteristics of three lettuce varieties and observed that N supplementation promoted a significant increase in leaf area, regardless of the tested variety. The expansion of leaf area, as demonstrated in this work, can be explained by the structural function performed by N, as in the formation of proteins and amino acids, being fundamental for the formation of essential compounds for plant metabolism and processes such as photosynthesis (TAIZ *et al.*, 2017).

In relation to NI, it was observed that the increase in N concentration was explained by an increasing linear model, with an increase of 11 inflorescences plant⁻¹ at the dose of 21 mmol L⁻¹, compared to the dose of 11 mmol L⁻¹ (Figure 2b), which shows the importance of N in maintaining crop yield in both vegetative and reproductive stages, since both inflorescences and stems have potential for commercialization (GUSMÃO; GUSMÃO, 2013; SAMPAIO *et al.*, 2018). Results obtained by Rodrigues *et al.* (2014) and Peçanha *et al.* (2019) point to the importance of N for the reproductive stage of jambu.

Regarding the N content in jambu leaves, as observed for most variables, its increase was explained by an increasing linear model, with the highest content (43.7 g kg⁻¹) obtained at the concentration of 21 mmol L⁻¹. The relationship between N fertilization and N accumulation in jambu plants was demonstrated by Borges *et al.* (2013), who observed increasing N accumulation in jambu leaves with the increase in urea doses in the soil.

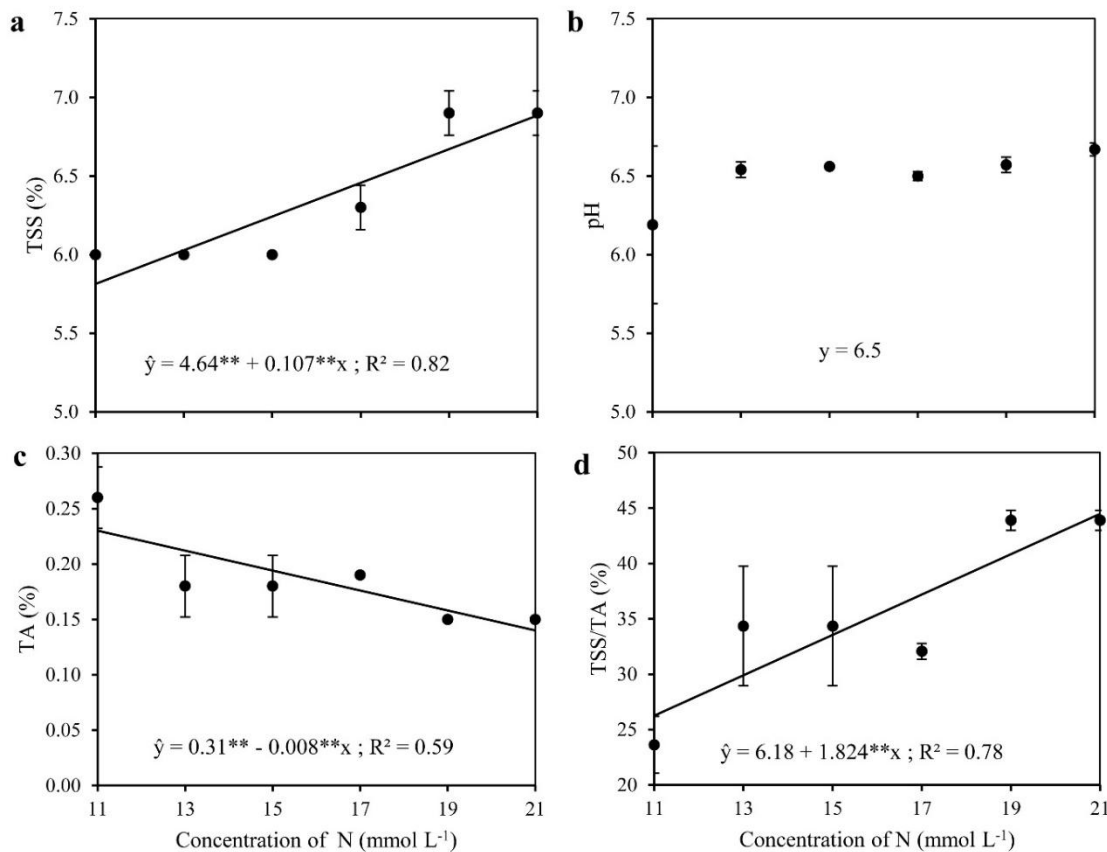
When there is considerable amount of N in the system for absorption, as occurs in nutrient solutions, the plant tends to absorb it at levels higher than its requirement, storing it in the vacuole in the form of NO₃⁻ (MARSCHNER, 2012). Thus, such behavior may explain the relationship between the highest N content obtained with the highest N concentration (21 mmol L⁻¹) tested in this experiment. In addition, it is observed that the variations in N content in the leaves were related, in terms of behavior, to the growth and production characteristics of jambu, and the highest content obtained with the N concentration of 21 mmol L⁻¹ led to a greater response in these variables.

It is worth pointing out that plants grown at the concentration of 11 mmol L⁻¹, which obtained average N contents of 30.5 g kg⁻¹, showed symptoms of N deficiency. Peçanha *et al.* (2019) observed N deficiency in jambu plants with average content in the leaves of 26.6 g kg⁻¹. Thus, as observed by Peçanha *et al.* (2019), in this study the symptomatology of N

nutritional deficiency started with yellowing of the older leaves, which evolved to a generalized chlorosis and, over time, was evenly distributed in all leaves. This occurred probably because N is a nutrient that has high mobility in the phloem of plants and, when in deficiency, is easily redistributed from older leaves to younger leaves, which are initiating their metabolic processes (TAIZ *et al.*, 2017).

Not only the growth and production characteristics were influenced by the N supply in the nutrient solution, but also the quality variables such as TSS, TA and TSS/TA, except for pH, which averaged 6.5 (Figure 3).

Figure 3 – Total soluble solids (a), hydrogen potential (b), titratable acidity (c) and total soluble solids to titratable acidity ratio (d) of jambu plants as a function of increased nitrogen concentration in the nutrient solution. ** significant at 1% probability level; * significant at 5% probability level by t test. Belém, Pará, 2019. Vertical lines are standard errors (n = 8).



Source: Author (2019).

As for TSS, it can be observed that the increase in N concentration led to a linear increase in the percentage of TSS in the plant from 6.0% at the N concentration of 11 mmol L⁻¹ to 6.9% at the highest concentration (21 mmol N L⁻¹) (Figure 3a), values that are above those recommended by Chitarra and Chitarra (2005) for leafy vegetables (2 to 5%).

According to Wang *et al.* (2007), this result may be indirectly related to higher N contents in the plant, which promotes a higher rate of photosynthetic activity, resulting in higher production of photosynthates that can be stored as reducing sugars. Taiz *et al.* (2017) also highlight the importance of N cycle activity in chloroplasts for the production of photoassimilates. For crops such as lettuce, the increase of TSS is directly related to longer shelf life (REIS *et al.*, 2014).

TA, contrary to the other variables, decreased with the increase of N concentration in the nutrient solution, being explained by a negative linear function. The highest acidity (0.3%) was observed at the N concentration of 11 mmol L⁻¹ (Figure 3c). The increase in the concentration of oxalate, a predominant acid in jambu plants (OLIVEIRA *et al.*, 2017), is a factor that interferes in the palatability of leaves; in this context, the decrease in the levels of this acid promoted by the increased N concentration in the solution is a desirable characteristic (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Regarding the absence of fits in the pH values in response to the different N concentrations in the solution with the TA values, it can be explained by the natural buffer systems generally found in vegetables, which are acidified by organic and/or inorganic acids until the system is fully saturated, thus resulting in the absence of variation in pH (DAMODARAN, 2010). Thus, despite the reduction in the content of acids, there was possibly a compensation in the buffering capacity through the higher production of compounds such as amino acids and proteins, which are influenced by the N supply in plants (NOKERBEKOVA; SULEIMENOV; ZHAPAYEV, 2018). According to Chitarra and Chitarra (2005), the acids found in the plant, either free or esterified, when in the presence of their potassium salts produce a small variation of pH due to the balance of the system, even if there are variations in titratable acidity.

As for the TSS/TA ratio, there was a linear increase as the N concentration in the nutrient solution increased, with a significant increase of 86% when the highest N concentration (21 mmol L⁻¹) was compared to the lowest concentration (11 mmol L⁻¹) (Figure 3d). This parameter is related to the evaluation of flavor, showing greater proportion of sugars to the detriment of acidity, that is, the higher the TSS/TA ratio, the more pleasant the taste, representing an excellent combination between sugars and acids; however, low values represent predominance of acids, which gives a less pleasant flavor (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Based on these results, the positive relationship between the quality parameters in jambu plants and adequate concentrations of N in the solution in hydroponic

system, as well as in the maintenance of growth and production of the crop, as observed in the present study, is noticeable. Results obtained by Peçanha *et al.* (2019) showed that, among the macronutrients, N was the one that promoted the greatest restriction on the growth and production characteristics of jambu when it was omitted in the nutrient solution.

4.4 CONCLUSIONS

Variation of N concentration in the nutrient solution does not affect the variables MSL, D, RFM, RDM and pH. However, it causes effect on the other growth, production and postharvest quality variables analyzed, and the N concentration of 21 mmol L⁻¹ in the nutrient solution is the most indicated to obtain better performance of jambu plants.

ACKNOWLEDGMENTS

To the Amazon State Studies and Research Support Foundation (Fapespa) for funding the research and granting the academic doctoral scholarship, ICAAF No. 009/2017, to the first author.

REFERENCES

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. Washington: AOAC, 2012.
- BARBOSA, A. F.; CARVALHO, M. G.; SMITH, R. E.; SABAA-SRUR, A. U. O. Spilanthol: occurrence, extraction, chemistry and biological activities. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, Curitiba, v. 26, p. 128-133, 2016.
- BORGES, L. S.; GUERRERO, A. C.; GOTO, R.; LIMA, G. P. P. Produtividade e acúmulo de nutrientes em plantas de jambu, sob adubação orgânica e mineral. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 1, p. 83-94, 2013.
- CECÍLIO FILHO, A. B. COELHO, R. L.; CUNHA, T. P. L.; URRESTARAZU, E. M. Nitrogen efficiency in hydroponic chicory. **Journal of Plant Nutrition**, v. 40, n. 18, p. 2532-2539, 2017.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: Editora UFLA, 2005.
- COSTA, V. C. N.; SILVA JÚNIOR, M. L.; SAMPAIO, I. M. G.; BITTENCOURT, R. F. P. M.; FIGUEIREDO, S. P. R.; SANTOS, G. A. M.; SOUZA, L. R.; OLIVEIRA, E. S. Nitrogen Fertilization and Liming Improves Growth, Production, Gas Exchange and Post-Harvest Quality of Yellow Flower Jambu. **Journal of Agricultural Studies**, v. 8, n. 3, p. 752-774, 2020.
- DAMODARAN, S. Aminoácidos, peptídeos e proteínas. *In*: DAMODARAN, S.; PARKIN, K.; FENNEMA, O. (ed.). **Química de alimentos de Fennema**. Porto Alegre: Artmed, 2010. 890 p.

- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 160, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa, MG: Editora UFV, 2013. 421 p.
- GUSMÃO, M. T. A.; GUSMÃO, S. A. L. **Jambu da Amazônia: *Acmella oleracea* [(L.) R. K. Jansen]: características gerais, cultivo convencional, orgânico e hidropônico**. Belém: Edufra, 2013. 135 p.
- HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. The water culture method for growing plants without soil. Circular. **California agricultural experiment station**, v. 347, n. 2nd edit, 1950.
- HOMMA, A. K. O. Extrativismo vegetal na Amazônia: história, ecologia, economia e domesticação. In: HOMMA, A. K. O. *et al.* (ed.). **Etnocultivo do jambu para abastecimento da cidade de Belém, no Estado do Pará**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 329-343.
- HOQUE, M. M. AJWA, H.; OTHMAN, M. Yield and postharvest quality of lettuce in response to nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers. **HortScience**, v. 45, n. 10, p. 1539-1544, 2010.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p.
- MAHLANGU, R. I.; MABOKO, M. M.; SIVAKUMAR, D.; SOUNDY, P. Lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth, yield and quality response to nitrogen fertilization in a non-circulating hydroponic system. **Journal of Plant Nutrition**, v. 39, n. 12, p. 1766-1775, 2016.
- MAMPHOLO, B. M.; MABOKO, M. M.; SOUNDY, P.; SIVAKUMAR, D. Variety-specific responses of lettuce grown in a gravel-film technique closed hydroponic system to N supply on yield, morphology, phytochemicals, mineral content and safety. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 17, n. 11, p. 2447-2457, 2018.
- MARSCHNER, H. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3ed. London: Elsevier, 2012, 643 p.
- MASHABELA, M. N. MABOKO, M. M.; SOUNDY, P.; SIVAKUMAR, D. Variety specific responses of cauliflower varieties (*Brassica oleracea* var. botrytis) to different N application rates on yield, colour and ascorbic acid content at harvest. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B– Soil & Plant Science**, v. 68, n. 6, p. 541-545, 2018.
- NOKERBEKOVA, N. K.; SULEIMENOV, Y. T.; ZHAPAYEV, R. K. Influence of fertilizing with nitrogen fertilizer on the content of amino acids in sweet sorghum grain. **Agriculture and Food Sciences Research**, v. 5, n. 2, p. 64-67, 2018.
- OLIVEIRA, O. M.; MENEZES, K. R. P.; SANTOS, G. C. S.; SANCHES, A. Embalagem e tratamento hidrotérmico na manutenção da qualidade pós-colheita de jambu. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 3, p. 41-49, 2017.
- PEÇANHA, D. A.; FREITAS, M. S. M.; VIEIRA, M. E.; LIMA, T. C. Characterization of deficiency symptoms and mineral nutrient content in *Acmella oleracea* cultivated under macronutrient and boron omissions. **Journal of Plant Nutrition**, v. 42, n. 8, p. 879-890, 2019.
- PÔRTO, M. L. A.; ALVES, J. C.; SOUZA, A. P.; ARAÚJO, R. C.; ARRUDA, J. A.; TOMPSON JÚNIOR, U. A. Doses de nitrogênio no acúmulo de nitrato e na produção da alface em hidroponia. **Horticultura Brasileira**, v. 30, p. 539-543, 2012.

- REIS, H. F.; MELO, C. M.; MELO, E. P.; SILVA, R. A.; SCALON, S. P. Q. Conservação pós-colheita de alface crespa, de cultivo orgânico e convencional, sob atmosfera modificada. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 3, p. 303-309, 2014.
- RODRIGUES, D. S.; CAMARGO, M. S.; NOMURA, E. S.; GARCIA, V. A.; CORREA, J. N.; VIDAL, T. C. M. Influencia da adubação com nitrogênio e fósforo na produção de Jambu, *Acmella oleracea* (L) R.K. Jansen. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 16, n.1, 2014.
- SAMBO, P.; NICOLETTO, C.; GIRO, A.; PII, Y.; VALENTINUZZI, F.; MIMMO, T.; LUGLI, P.; ORZES, G.; MAZETTO, F.; ASTOLFI, S.; TERZANO, R.; CESCO, S. Hydroponic Solutions for Soilless Production Systems: Issues and Opportunities in a Smart Agriculture Perspective. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1-17, 2019.
- SAMPAIO, I. M. G. *et al.* Pode o uso de mudas agrupadas e a maior densidade de plantio aumentar a produtividade de jambu? **Revista de Ciências Agrárias - Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 61, p. 1-8, 2018.
- SAMPAIO, I. M. G.; GUIMARÃES, M. A.; LEMOS NETO, H. S.; MAIA, C. L.; VIANA, C. S.; GUSMÃO, S. A. L. Pode o uso de mudas agrupadas e a maior densidade de plantio aumentar a produtividade de jambu?. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 61, p.1-8, 2018.
- SILVA, F. C. D. S. (ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.
- SILVA, L. C.; SAMPAIO, I. M. G.; BITTENCOURT, R. F. P. M.; ARAUJO, M. R.; FIGUEIREDO, S. P. R.; GUSMÃO, S. A. L.; COSTA, A. S. Influence of temperature on the germination and root size of *Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen. **Revista Agro@mbiente Online**, v. 14, p. 1-10, 2020.
- SOUTO, G. C.; GRANGEIRO, L. C.; GUSMÃO, S. A. L.; SOUSA, V. F. L.; CAVALCANTE, A. E. C.; FRANÇA, F. D. Agronomic performance of jambu (*Acmella oleracea*) using organic fertilization. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 1, p. 151-156, 2018.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal** (L. Taiz, E. Zeiger, I. M. Moller, & A. Murphy (eds.); 6th ed.). Artmed Editora, 2017, 888 p.
- WANG, Y. T.; HUANG, S. W.; LIU, R. L.; JIN, J. Y. Effects of nitrogen application on flavor compounds of cherry tomato fruits. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 170, p. 461- 468. 2007

5. ALTERAÇÕES DE BIOMASSA E ESPILANTOL NO JAMBU (*ACMELLA OLERACEA* L.) CULTIVADO EM HIDROPONIA EM FUNÇÃO DO APORTE DE NITROGÊNIO

RESUMO

O jambu (*Acmella oleracea*) é uma das hortaliças da região norte do Brasil que vem adquirindo importância devido à presença do espilantol, composto bioativo com aplicações na indústria cosmética e alimentar. Há poucos estudos acerca dos efeitos do nitrogênio (N) sobre as características produtivas e biossíntese de espilantol no jambu. A disponibilidade de N desempenha papel essencial no crescimento, desenvolvimento e na regulação do acúmulo de metabolitos secundários nas plantas, mas a influência da suplementação de N em sistema hidropônico no desempenho produtivo e qualidade do jambu é pouco conhecida. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do N na produção de biomassa, pigmentos fotossintéticos, concentração de N nas folhas e no teor de espilantol em plantas de jambu cultivadas em sistema hidropônico. As plantas foram submetidas a seis concentrações de N na solução nutritiva (11, 13, 15, 17, 19 e 21 mmol L⁻¹). Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Avaliaram-se a produção de biomassa fresca e seca das inflorescências, parte aérea (folhas e caules) e da raiz, concentração de N nas folhas e teor de espilantol nos diferentes órgãos da planta de jambu. As concentrações de N afetaram significativamente a produção de biomassa, pigmentos fotossintéticos, concentração de N nas folhas e o teor de espilantol nas inflorescências, parte aérea e raiz do jambu. Assim, o maior suprimento de N (21 mmol L⁻¹) na solução nutritiva resulta em maior concentração de N nas folhas, o que promove maior produção de biomassa da parte aérea e de inflorescência, pigmentos fotossintéticos e conteúdo de espilantol nos órgãos da planta.

Palavras-chave: Cultivo sem solo. *Acmella oleracea* (L.). Metabolito secundário. Nutrição.

5. CHANGES IN BIOMASS AND SPILANTHOL IN JAMBU (*ACMELLA OLERACEA* L.) CULTIVATED IN HYDROPONICS AS A FUNCTION OF NITROGEN SUPPORT

ABSTRACT

Jambu (*Acmella oleracea*) is one of the vegetables from the northern region of Brazil that has been gaining importance due to the presence of epilantol, a bioactive compound with applications in the cosmetic and food industry. There are few studies on the effects of nitrogen (N) on the productive characteristics and biosynthesis of epilantol in jambu. The availability of nitrogen (N) plays an essential role in the growth, development and regulation of the accumulation of secondary metabolites in plants, but the influence of N supplementation in a hydroponic system on the productive performance and quality of jambu is little known. The objective of our investigation was to evaluate the effect of N on biomass production, photosynthetic pigments, N concentration in leaves and epilantol content in jambu plants grown in hydroponic system. The plants were subjected to six concentrations of N in the nutrient solution (11, 13, 15, 17, 19 and 21 mmol L⁻¹). A completely randomized design with four replications was performed. The production of fresh and dry biomass of inflorescences, aerial part (leaves and stems) and root, N concentration in leaves and spilantol content in the different organs of the jambu plant were evaluated. N concentrations significantly affected biomass production, photosynthetic pigments, N concentration in leaves and spilantol content in the inflorescences, shoots and roots of jambu. Thus, the greater supply of N (21 mmol L⁻¹) in the nutrient solution results in a greater concentration of N in the leaves, which promotes greater production of aboveground and inflorescence biomass, photosynthetic pigments and spilantol content in plant organs

Palavras-chave: Soilless. *Acmella oleracea* (L.). Secondary metabolite. Nutrition.

5.1 INTRODUÇÃO

O jambu (*Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen) é uma hortaliça condimentar que possui significativa expressão na gastronomia e cultura da região Amazônica brasileira, presente em pratos típicos como o tacacá, patrimônio imaterial da cidade de Belém do Pará (SILVA *et al.*, 2020). Sua popularização é resultante de suas características peculiares, principalmente, a sensação anestésica momentânea ocasionada pelo consumo de suas partes vegetativas, sendo maior nas inflorescências (BALIEIRO *et al.*, 2020).

A espécie também é utilizada como fitoterápico por comunidades tradicionais da Amazônia no combate à malária, estomatite, afecções reumáticas, dispepsia, anemia, inflamações da boca, dente e garganta e como anti-helmíntico (BARBOSA *et al.*, 2016; GUSMÃO; GUSMÃO, 2013). Diversos estudos têm comprovado que o espilantol, principal composto bioativo do jambu, possui efeito anti-inflamatório, analgésico, antioxidante, antinociceptivo, atividade antipirética, inseticida, diurético, afrodisíaco, anti-helmíntico (DIAS *et al.*, 2012; ELUMALAI *et al.*, 2012; SHARMA *et al.*, 2012; ABEYSIRI *et al.*, 2013; DUBEY *et al.*, 2013; PRACHAYASITTIKUL *et al.*, 2013; LALTHANPULL *et al.*, 2020).

Diante da crescente importância econômica que o jambu tem conquistado devido ao aumento do consumo e aproveitamento em diversas aplicações, projeta-se para a cultura do jambu crescimento em produção e área plantada no Brasil (SILVA *et al.*, 2020), o que promoverá impacto cada vez maior na economia da região Amazônica (GUSMÃO; GUSMÃO, 2013), podendo contribuir para promoção de uma economia mais sustentável para região (SANTOS *et al.*, 2021). Contudo, segundo Sampaio *et al.* (2018), a falta de informações técnicas sobre o cultivo da espécie, bem como a incidência de doenças de solo como o carvão (*Thecaphora spilanthes* Frei. & Van.) e a ferrugem do jambu (*Puccinia sp.*), constituem entraves significativos que promovem perdas na produção e qualidade das plantas e podem limitar a expansão de seu cultivo.

Neste contexto, o sistema hidropônico pode ser uma alternativa viável ao cultivo da cultura, pois é uma tecnologia emergente considerada ecologicamente correta e moderna com expressiva capacidade do gerenciamento de fatores bióticos e abióticos (NASCIMENTO *et al.*, 2020). Para este sistema ampla gama de estudos tem se dedicado ao manejo da solução nutritiva para aumentar a produção de biomassa e de compostos bioativos em plantas medicinais (GIORGI *et al.*, 2009; ABEYSINGHE *et al.*, 2014;

ARGYROPOULOU *et al.*, 2015; LU *et al.*, 2017). No entanto, ressalta-se que há significativas lacunas quanto ao impacto da nutrição mineral, e da nutrição com nitrogênio (N) em particular, no desempenho produtivo e acúmulo de compostos bioativos na cultura do jambu cultivado em hidroponia.

O N é considerado um dos nutrientes mais limitante para crescimento das plantas e sua disponibilidade promove elevação na atividade metabólica devido atuar na biossíntese de várias biomoléculas, incluindo proteínas, aminoácidos, clorofilas, ácidos nucleicos e metabolitos secundários. Portanto, o baixo suprimento de N é regularmente considerado um fator limitante do crescimento das plantas (UEDA *et al.*, 2017). Para o jambu, vários estudos relataram a importância do suprimento de N no aumento da produção quanto na melhoria da qualidade pós-colheita em cultivo em solo (BORGES *et al.*, 2013; RODRIGUES *et al.*, 2014; SAMPAIO *et al.*, 2020; COSTA *et al.*, 2020).

Assim, o presente estudo teve por hipótese que a suplementação com N em plantas de jambu estimula a produção de metabolitos secundários e aumenta o acúmulo de biomassa na planta. Deste modo, objetivou-se avaliar os efeitos do suprimento de N no acúmulo de biomassa, concentração de N e pigmentos fotossintéticos nas folhas e o teor de espilantol em plantas de jambu cultivadas em sistema hidropônico.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação situada na Universidade Federal Rural da Amazônia (Belém, Brasil), entre os meses de setembro e dezembro de 2019. O clima da região é classificado como Af (ALVARES *et al.*, 2013).

Durante o período de condução do experimento foi realizado o monitoramento da temperatura do ar e da umidade relativa do ar, diariamente, por meio de um termo higrômetro digital instalado na casa de vegetação a 2 m do solo. As médias de temperatura máxima e mínima do ar foram de 35,8 °C e 28,1 °C, respectivamente. A média de umidade relativa do ar foi de 77,1%.

Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por concentrações de N na solução nutritiva: 11, 13, 15, 17, 19 e 21 mmol L⁻¹. Utilizou-se a solução padrão 2 de

Hoagland e Arnon (1950), onde a concentração de N padrão da formulação equivale a 15 mmol L⁻¹.

Condições de cultivo e material utilizado

A variedade de jambu utilizada no estudo foi a flor amarela (GUSMÃO; GUSMÃO, 2013). O semeio foi realizado em bandejas de poliestireno de 128 células preenchidas com substrato à base pó de coco. Após a emergência, as bandejas foram transferidas para bancadas de madeira. A cada dois dias as bandejas foram irrigadas com solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) com 25% da concentração de nutrientes. Sete dias após a semeadura (DAS) realizou-se o desbaste, deixando-se uma plântula por célula. O transplântio das mudas ocorreu aos 21 DAS.

O cultivo das plantas foi realizado por meio de um sistema em substrato (sílica moída esterilizada). Foram utilizados vasos plásticos de 2 L revestidos com papel alumínio e preenchidos com sílica moída. Para os recipientes coletores de solução nutritiva, realizou-se a pintura com tinta metálica aluminizada. Cada vaso contendo uma planta de jambu representou a unidade experimental. Após o transplântio, as plantas de jambu passaram por um período de sete dias de aclimação ao sistema hidropônico, recebendo solução nutritiva a 50% da concentração de nutrientes (HOAGLAND; ARNON, 1950) e após este período, foram submetidas aos seus respectivos tratamentos.

Durante o experimento, as soluções nutritivas foram oxigenadas através da drenagem da solução no final da tarde e reposição no início da manhã, diariamente. As soluções foram renovadas semanalmente, sendo a água perdida no processo de evapotranspiração repostas, a fim de manter um volume diário de 400 mL por vaso. O pH das soluções foi monitorado diariamente por peagâmetro de bolso e mantido na faixa de 5,5 a 6,5. Quando necessário, realizou-se a correção deste mediante o uso de NaOH a 1N ou com ácido cítrico (C₆H₈O₇) a 1N.

Medição da produção de massa

As plantas foram colhidas aos 56 DAS, separadas em raiz, parte aérea (caule e folhas) e inflorescências, para serem analisadas as seguintes características: a) massa fresca da parte aérea (MFPA); b) massa seca da parte aérea (MSPA); c) massa fresca da raiz (MFR); d) massa seca da raiz (MSR); e) massa fresca das inflorescências (MFI); e f) massa seca das inflorescências (MSI).

As massas frescas foram determinadas a partir da separação de cada parte, sendo pesadas em balança de precisão. Para determinação da massa seca, as amostras de cada parte foram colocadas em sacos de papel e levadas para uma estufa com circulação de ar forçada à 65 °C por 72 h, momento que atingiram massa constante.

Determinação do teor de N foliar

Para a determinação do teor de N total, as amostras secas de folhas do jambu foram trituradas em moinho do tipo Willey, passadas em peneiradas de 20 mesh e armazenadas em sacos de papel. O método utilizado para a análise foi por digestão sulfúrica, sendo o teor de N determinado pelo método Kjeldahl (SILVA, 2009).

Determinação dos pigmentos fotossintéticos

Para análises de clorofilas e carotenoides, folhas frescas foram destacadas das plantas e, em sala sem exposição a luz solar, realizou-se a pesagem de 0,1 g das amostras. Logo após, estas foram maceradas em almofariz contendo 5 mL de acetona 80% e CaCO₃, sendo o extrato obtido neste processo filtrado para balões volumétricos de 25 mL que, posteriormente, completados com 20 mL de acetona 80%, conforme a metodologia de Lichthenthaler (1987). Após isso, foi retirada uma alíquota e procedeu-se com a leitura da absorbância nos comprimentos de 470, 646,8 e 663,2 nm para quantificação de carotenóides, clorofila 'a' e clorofila 'b', respectivamente, sendo os resultados dos teores expressos em base de massa de matéria fresca (mg g⁻¹ MF).

Procedimento de extração e quantificação do espilantol

Produção do extrato etanólico

Plantas de jambu foram lavadas sob água corrente abundante e depois com água destilada. Em seguida, foram separadas em parte aérea (folhas e caule), raízes e flores e, posteriormente, congeladas e liofilizadas. Após a liofilização, as amostras foram moídas em moinho de faca Willy e equipado com abertura de peneira de 10 mesh. Cada extração foi realizada em frasco de vidro com 95% de etanol (1:9, p/p) a 55 °C durante 1 h fechado com uma tampa de rosca (BAE *et al.*, 2010). O sobrenadante foi removido após centrifugação (4.500 rpm, 4 °C durante 15 min), saturado com N₂ e armazenado a -22 °C até a realização de etapa de remoção de clorofila.

A remoção da clorofila dos extratos de jambu foi realizada com base na influência relativa de íons salinos na desestabilização do pigmento (GRUSKIN, 1942; REBECCA *et al.*,

2014). Desse modo, uma extração exaustiva foi realizada na razão de 1:9 v/v com solução NaCl 0,16 M sob homogeneização constante por 30 segundos a 2800 rpm e centrifugação (14.000 rpm, 20 min a 25° C). Os sobrenadantes resultantes foram unificados, saturados com N₂ e armazenados a -22° C até a quantificação de espilantol por HPLC.

Quantificação de espilantol por HPLC

A identificação e quantificação do espilantol foi realizada em sistema UHPLC Thermo Scientific Ultimate 3000 (San José, CA, EUA) equipado com detector UV-VIS com faixa de varredura entre 200 - 400 nm, sendo 229 nm o comprimento de absorção máxima.

Os extratos foram filtrados em filtro de seringa de 0,22 µm (PVDF) e em seguida 5 µL injetados em coluna Kinetex EVO C18 100 Å, 1,7 µm 100 × 2,1 mm (Phenomenex, Torrance, CA, EUA). A fase móvel foi composta por água ultrapura (Solução A) e acetonitrila (Solução B), ambas filtradas em membrana de 0,22 µm (nylon). A eluição foi realizada em modo isocrático, com de 30% de solução B constante por 30 min.

Uma solução estoque de espilantol a 1 mg mL⁻¹ foi preparada diluindo o composto isolado com pureza de 96% (BAE *et al.*, 2010) em 80 % metanol. A partir da solução estoque, uma curva de calibração foi construída para a quantificação de espilantol nas amostras de jambu. O limite de detecção (LD), limite de quantificação (LQ) e o coeficiente de determinação da curva analítica (R²) foram calculados a partir dos coeficientes linear e angular (RIBANI *et al.*, 2004).

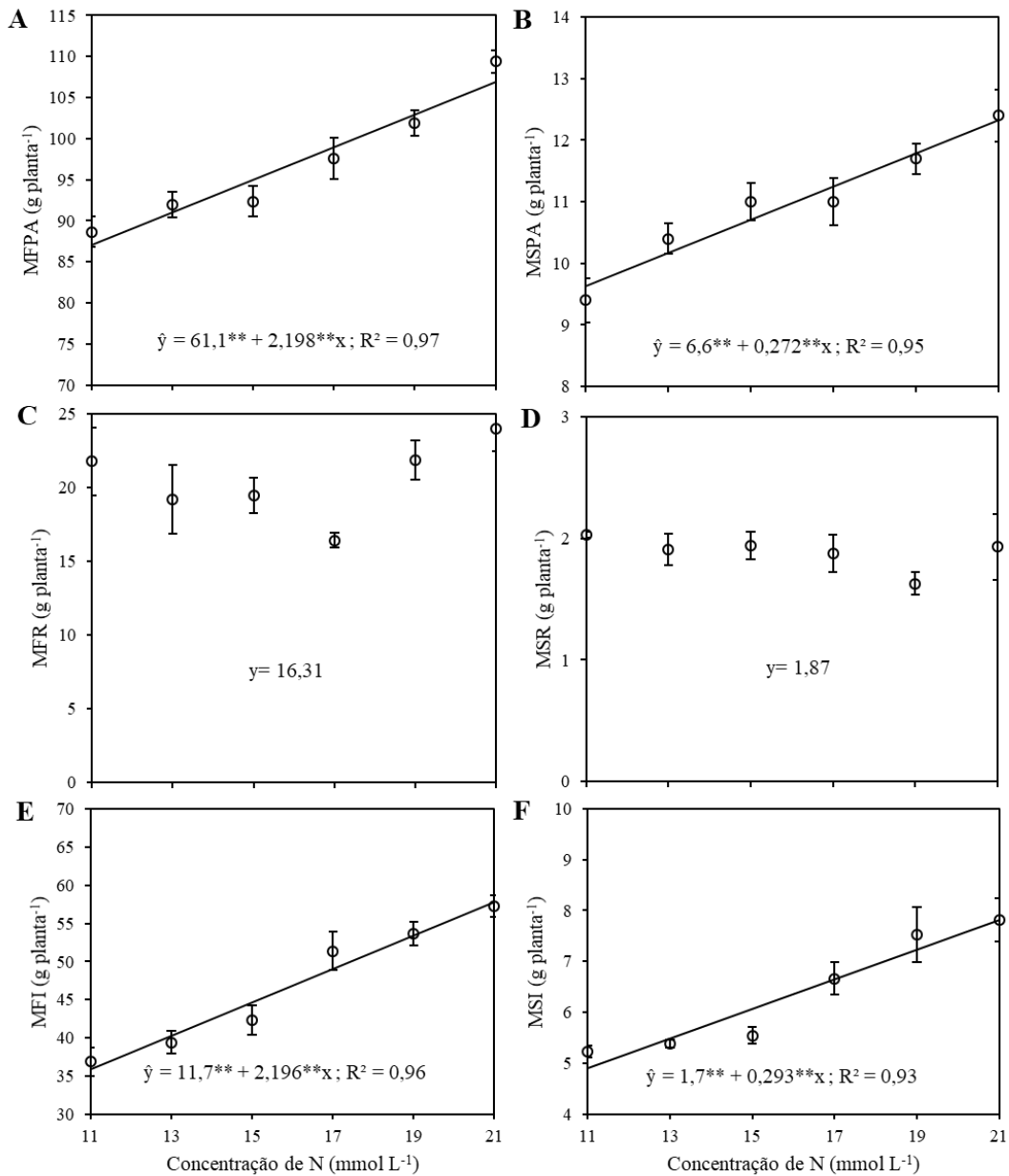
Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste F a 5% de significância e, quando significativo, ajustaram-se modelos de regressão para concentrações de N na solução nutritiva. As análises foram efetuadas por meio do *software* Sisvar® (FERREIRA, 2011). A escolha de cada modelo de regressão foi feita com base na significância dos parâmetros via teste 't-student' e no coeficiente de determinação (R² ≥ 0,70).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O suprimento de N em plantas de jambu afetou consideravelmente o acúmulo de biomassa da parte aérea e inflorescência, porém a massa fresca e seca da raiz não foram influenciadas pelas concentrações de N, verificando-se valores médios da ordem de 16,31 e 1,87 g planta⁻¹, respectivamente (Figura 1C e 1D).

Figura 1 – Massa fresca da parte aérea (A), massa seca da parte aérea (B), massa fresca da raiz (C), massa seca da raiz (D), massa fresca das inflorescências (E) e massa seca das inflorescências (F) de plantas de jambu em função do aumento da concentração de nitrogênio na solução nutritiva. ** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. A barra representa o erro padrão (n = 4).



Fonte: Autor (2019).

A MFPA e MSPA, ajustaram-se a um modelo de regressão linear crescente em função do aumento da concentração de N na solução nutritiva, sendo as maiores respostas obtidas (109,4 e 12,4 g planta⁻¹, respectivamente) na concentração de 21 mmol L⁻¹ de N (Figura 1A, B).

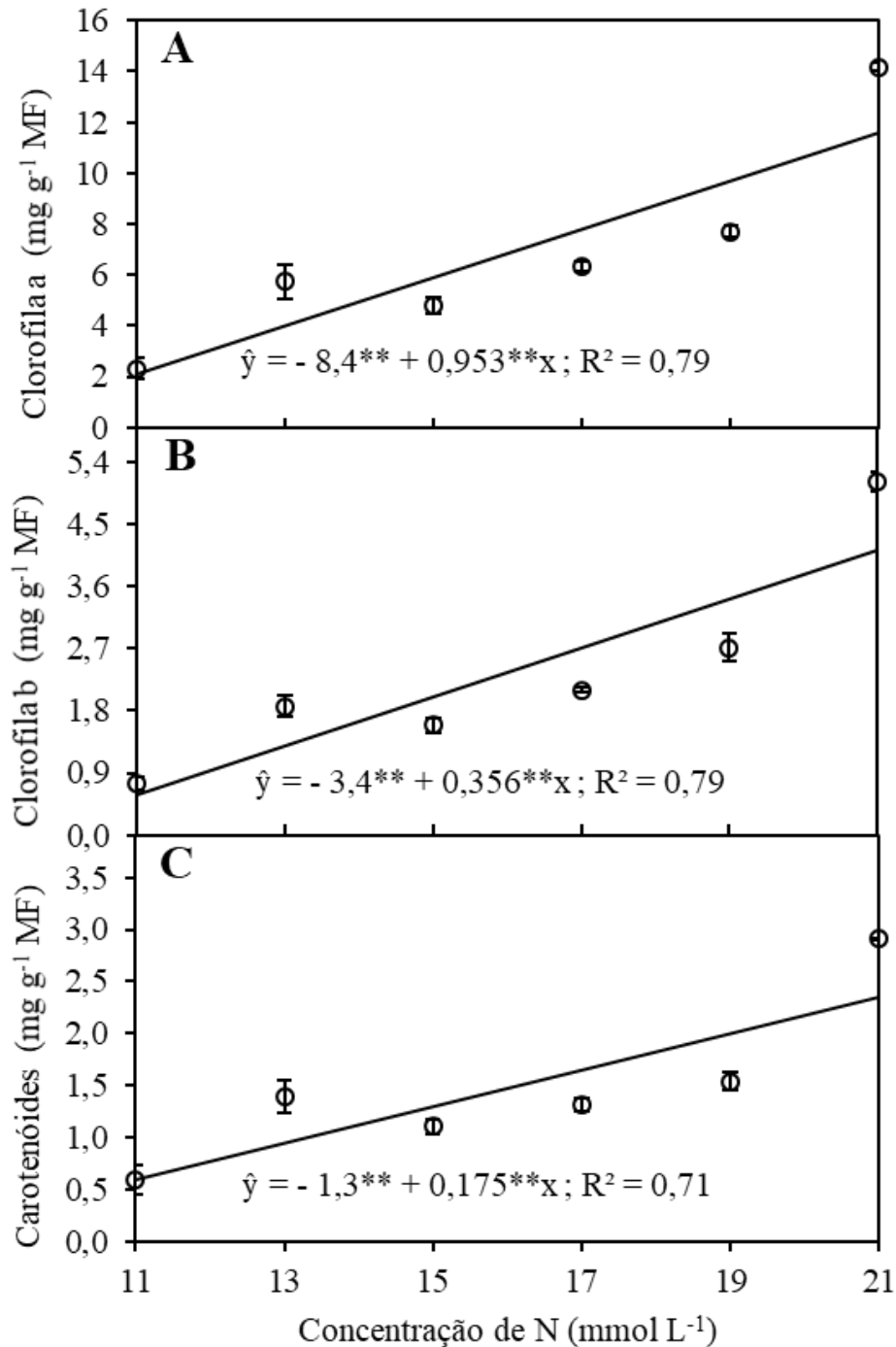
De modo semelhante, a MFI e MSI cresceram proporcionalmente com aumento da concentração de N na solução nutritiva, sendo observado maiores massas (57,3 e 7,8 g planta⁻¹, respectivamente) na concentração de 21 mmol L⁻¹ (Figura 1 E, F). Além disso, observou-se que sob baixas concentrações de N na solução (11 mmol L⁻¹) ocorrem reduções significativas de 23,1 e 31,9% no acúmulo de MFPA e MSPA e de 55,2 e 49,3% na MFI e MSI, respectivamente, em comparação a maior concentração de N testada (Figura 1). Assim, verifica-se que as respostas observadas na produção da biomassa fresca e seca da parte aérea e das inflorescências neste estudo foram intimamente relacionadas a disponibilidade de N na solução nutritiva.

Estudos anteriores demonstraram que a suplementação de N em cultivo em solo afeta significativamente acúmulo de biomassa vegetativa e reprodutiva do jambu (BORGES *et al.*, 2013; RODRIGUES *et al.*, 2014; SOUTO *et al.*, 2018; COSTA *et al.*, 2020). Em geral, estes estudos observaram aumentos na massa fresca e seca da parte aérea e das inflorescências no jambu à medida que se elevou a disponibilidade de N. Esses resultados, corroboram com os observados neste trabalho, demonstrando a importância do N na elevação do rendimento da cultura tanto na fase vegetativa como na reprodutiva.

O N é considerado o nutriente mais limitante para crescimento e desenvolvimento das plantas, devido ser substrato para síntese de compostos, como clorofilas, proteínas e ácidos nucléicos (UEDA *et al.*, 2017). Deste modo, deficiência de N nos tecidos vegetais resulta na escassez desses metabólitos-chave, o que ocasiona redução dos processos metabólicos vitais para os vegetais (SALONER; BERNSTEIN, 2020). Portanto, tais funções justificam que alterações quanto ao fornecimento de N tenham afetado consideravelmente o crescimento vegetativo e reprodutivo do jambu neste trabalho.

O conteúdo de clorofila 'a', clorofila 'b' e carotenoides aumentaram significativamente com a elevação do suprimento de N na solução nutritiva, observando-se maiores respostas na concentração de 21 mmol L⁻¹ (Figura 2).

Figura 2 – Conteúdo de clorofila ‘a’ (A), clorofila ‘b’ (B) e carotenóides (C) de folhas de jambu cultivada em hidroponia em função do aumento da concentração de nitrogênio na solução nutritiva. ** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. A barra representa o erro padrão (n = 4).



Fonte: Autor (2019).

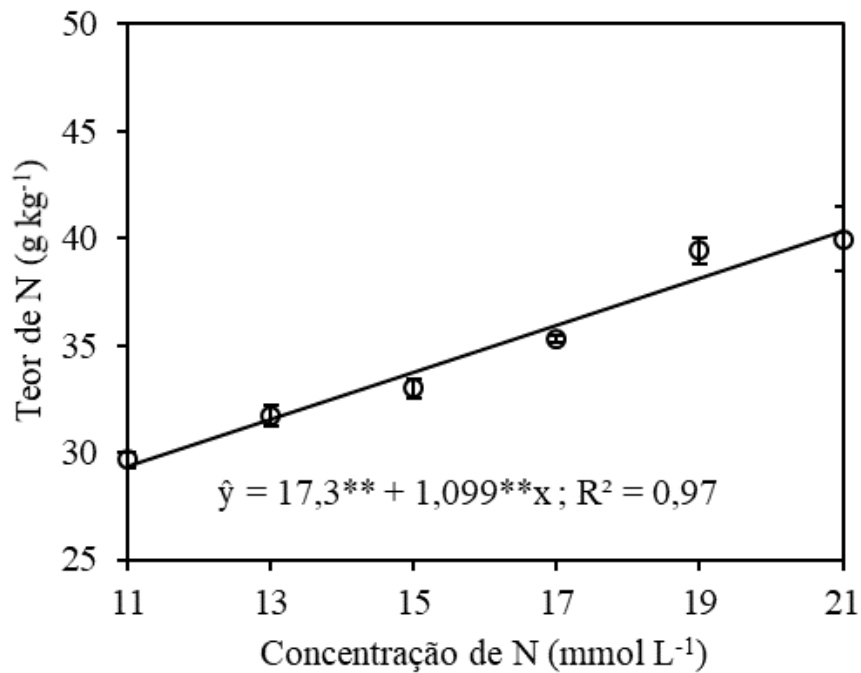
A síntese de clorofilas e carotenóides são dependentes da nutrição mineral (UEDA *et al.*, 2017), destacando-se a disponibilidade de N por ser vital na divisão celular e formação de pigmentos fotossintéticos ativos, na síntese de proteínas no estroma e tilacóide nas folhas,

assim como na formação de cloroplastos durante o crescimento da folha (SALONER; BERNSTEIN, 2020).

O aumento no fornecimento de N estimulou a produção dos pigmentos fotossintéticos no jambu (Figura 2), semelhantemente ao demonstrado para várias espécies de plantas (MAMPHOLO *et al.*, 2018; LEE *et al.*, 2019; SAMPAIO *et al.*, 2020). Assim, a elevação dos pigmentos fotossintéticos com maiores suprimentos de N na solução nutritiva pode ter atuado positivamente no aumento da capacidade fotossintética das plantas do jambu, o que consequentemente, resultou em maior acúmulo de biomassa da parte aérea (Figura 1A, B) e de inflorescência (Figura 1E, F) observados neste trabalho. Resultados semelhantes foram observados por Saloner e Bernstein (2020) que demonstraram haver correlação positiva entre os teores de pigmentos e o aumento da capacidade fotossintética da planta de *cannabis*, o que promoveu maior fixação de carbono e, consequentemente, acúmulo de massa na planta.

Como demonstrado para o acúmulo de massa e de pigmentos fotossintéticos, o aumento da concentração de N na solução nutritiva resultou em maior teor de N total nas folhas do jambu. Como resultado, plantas cultivadas na concentração de 21 mmol L⁻¹ de N possuem conteúdo de N total nas folhas 34,8% maior que o encontrado em plantas cultivadas com 11 mmol L⁻¹ de N (Figura 3).

Figura 3 – Teor de N em folhas de jambu em função do aumento da concentração de nitrogênio na solução nutritiva. ** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. A barra representa o erro padrão (n = 4).

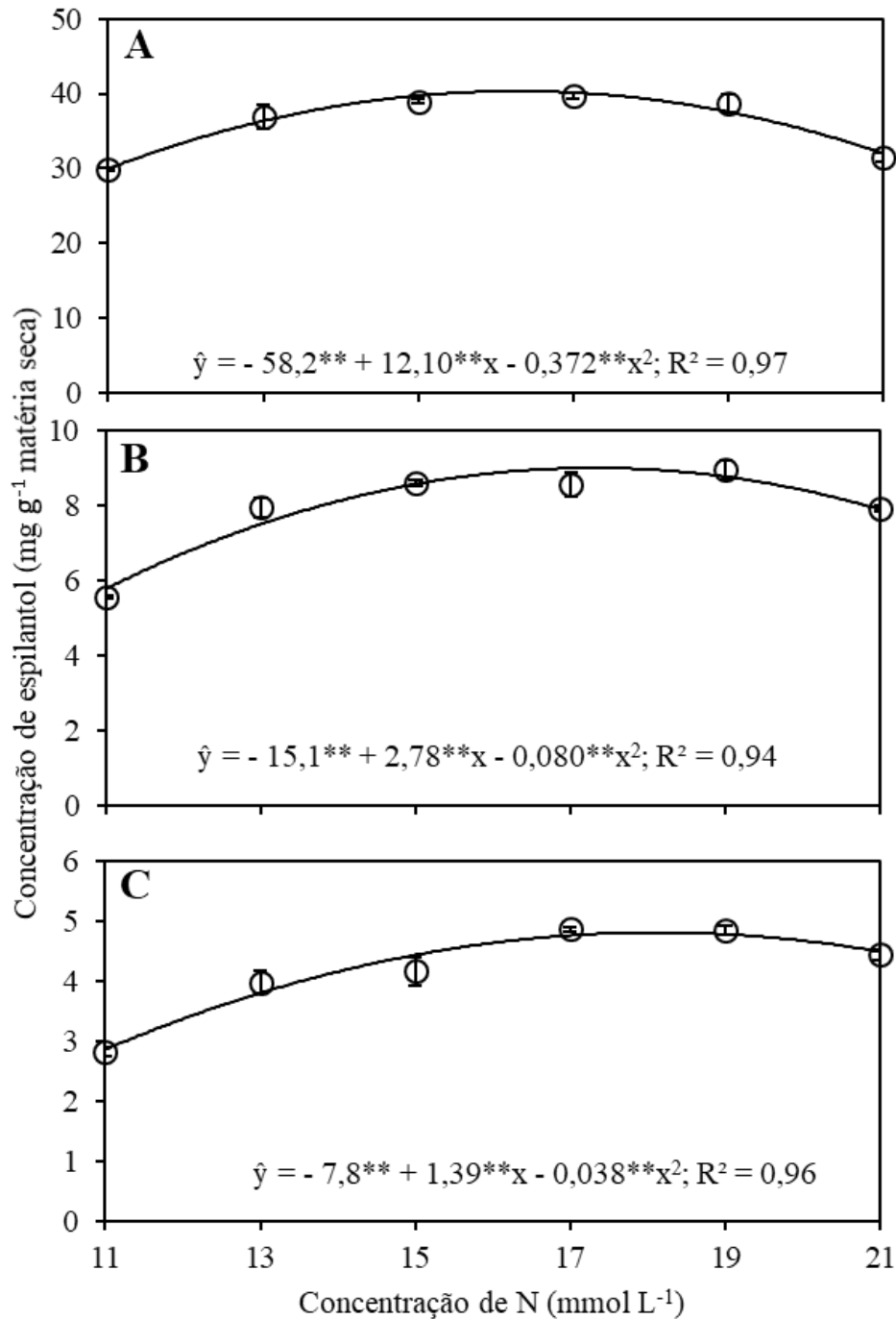


Fonte: Autor (2019).

Assim, verificou-se que neste trabalho o maior teor de N total nas folhas se relacionou fortemente com a síntese de pigmentos fotossintéticos (Figura 2) e a produção de biomassa do jambu (Figura 1). O N fornecido em concentrações adequadas promoveram aumentos significativos na quantidade de pigmentos fotossintéticos e nas trocas gasosas nas folhas do jambu (SAMPAIO *et al.*, 2020; COSTA *et al.*, 2020).

Foi possível verificar a presença de espilantol nos órgãos das plantas de jambu (inflorescências, parte aérea e raiz) cultivadas em hidroponia, observando-se variações significativas quanto ao teor de espilantol sob suplementação de N na solução nutritiva (Figura 4).

Figura 4 - Concentração de espilantol na inflorescência (A), na parte aérea (B) e raiz (C) de plantas de jambu em função do aumento da concentração de nitrogênio na solução nutritiva. ** significativo a 1% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade pelo teste t. A barra representa o erro padrão (n = 4).



Fonte: Autor (2019).

O conteúdo de espilantol nos órgãos da planta aumentou com a disponibilidade de N na solução nutritiva, com máximo de 40,2; 9,0; e 4,9 mg g⁻¹ matéria seca na inflorescência, caule e raiz, respectivamente (Figura 4A, B, C). Além disso, verificou-se que menores

suprimentos de N na solução nutritiva () reduziram significativamente as concentrações de espilantol na planta de jambu independente do órgão.

O metabolismo primário é uma fonte importante de precursores para a síntese de metabólitos secundários, sendo este estimulado positivamente pelo suprimento de nutrientes (BECHER *et al.*, 2015; LU *et al.*, 2017; SALONER; BERNSTEIN, 2020). Contudo, quando este metabolismo central destina altos níveis de recursos para o crescimento e desenvolvimento da planta, como observado nas respostas produtivas do jambu (Figura 1), a síntese de metabólitos secundários pode ser limitada por ausência de substrato e/ou energia (LU *et al.*, 2017), como é o caso do espilantol.

Portanto, condições de deficiência ou o excesso de nutrientes podem promover menor ou maior produção de compostos relacionados ao metabolismo primário da planta, como proteínas e carboidratos, com efeitos diretos na síntese de metabólitos secundários, como observado por Becker *et al.* (2015) em plantas de alface (*Lactuca sativa* L.). Assim, os resultados obtidos neste trabalho, demonstram a importância do manejo nutricional para cultura do jambu na elevação da produção de biomassa (BORGES *et al.*, 2013; SOUTO *et al.*, 2018; SAMPAIO *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2020) e no aumento da concentração de compostos bioativos, como o espilantol, nos órgãos da planta. Portanto, suprimentos adequados de N devem ser considerados como uma ferramenta indispensável para o manejo nutricional do jambu. Além disso, em última análise, a influência do N para o jambu demonstrada neste estudo constitui um pano de fundo para realização de novas pesquisas para entender quais mecanismos fisiológicos e bioquímicos são afetados em condições de deficiência e/ou excesso de N e sua relação quanto a síntese de espilantol.

Quanto a distribuição do conteúdo de espilantol nos diferentes órgãos da planta de jambu, verificou-se que os valores decresceram da seguinte forma: inflorescências > parte aérea (folha e caule) > raiz. Estudos anteriores têm demonstrado que as inflorescências do jambu possuem maior concentração de espilantol do que folha e o caule (BARBOSA *et al.*, 2016; BALIEIRO *et al.*, 2020; DIAS *et al.*, 2012). Contudo, vale destacar que há poucos estudos que mencionem a presença do espilantol na raiz da planta. Neste sentido, verificou-se que neste trabalho a raiz respondeu por aproximadamente 10,1% do conteúdo total presente na planta tendo por base as respostas obtidas nas inflorescências, parte aérea e raiz (31,5, 7,9, e 4,5 mg de espilantol g⁻¹ matéria seca, respectivamente) na maior concentração de N. Assim, embora o jambu seja comercializado com raiz e inflorescências (SAMPAIO *et*

al., 2018), muitos pratos típicos da região norte do Brasil utilizam apenas as folhas e os caules (parte aérea), ocorrendo, muitas vezes, descarte total das raízes e parcial das flores devido ao maior conteúdo de espilantol presente (fato que mascara o sabor da comida). Portanto, esses resultados podem contribuir para um maior aproveitamento da espécie, pois indicam potencial do uso de toda a planta pela indústria (BALIEIRO *et al.*, 2020).

5.4 CONCLUSÕES

O suprimento de N na solução nutritiva afeta o desempenho produtivo e qualitativo no jambu. Assim, a concentração de 21 mmol L⁻¹ de N na solução nutritiva, resultou em maior produção de biomassa da parte aérea e inflorescências, teor de N nas folhas, pigmentos fotossintéticos e espilantol no jambu.

AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (Fapespa) pela concessão de doutorado acadêmico, ICAAF n° 009/2017, ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ABEYSINGHE, D. C.; WIJERATHNE, S. M. N. K.; DHARMADASA, R. M. Secondary metabolites contents and antioxidant capacities of *Acmella oleracea* grown under different growing systems. **Word Journal of Agricultural Research**, v. 2, n. 4, p. 163-167, 2014.
- ARGYROPOULOU, K.; SALAHAS, G.; HELA, D.; PAPASAVVAS, A. Impact of nitrogen deficiency on biomass production, morphological and biochemical characteristics of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) plants, cultivated aeroponically. **Agriculture & Food**, v. 3, n. 1, p. 1314-8591, 2015.
- BAE, S. EHRMANN, B. M.; ETTEFAGH, K. A.; CECH, N. B. A validated Liquid Chromatography – electrospray ionization – mass spectrometry method for quantification of Spilanthol in *Spilanthes acmella* (L.) Murr. **Phytochemical Analysis**, v. 21, n. 5, p. 438–443, 2010.
- BALIEIRO, O. C.; PINHEIRO, M. S. S.; SILVA, S. Y. S.; OLIVEIRA, M. N.; SILVA, S. C.; GOMES, A. A.; PINTO, L. Analytical and preparative chromatographic approaches for extraction of spilanthol from *Acmella oleracea* flowers. **Microchemical Journal**, v. 157, p. 1-8, 2020.
- BARBOSA, A. F.; CARVALHO, M. G.; SMITH, R. E.; SABAA-SRUR, A. U. O. Spilanthol: occurrence, extraction, chemistry and biological activities. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 26, p. 128-133, 2016.
- BORGES, L. S., A. C. GUERRERO, R. GOTO, AND G. P. P. LIMA. Produtividade e acúmulo de nutrientes em plantas de jambu, sob adubação orgânica e mineral. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 1, p. 83–94, 2013.

- COSTA, V. C. N.; SILVA JÚNIOR, M. L.; SAMPAIO, I. M. G.; BITTENCOURT, R. F. P. M.; FIGUEIREDO, S. P. R.; SANTOS, G. A. M.; SOUZA, L. R. OLIVEIRA, E. S. Nitrogen fertilization and liming improves growth, production, gas exchange and post-harvest quality of yellow flower jambu. **Journal of Agricultural Studies**, v. 8, n. 3, p. 756-774, 2020.
- DIAS, A. M. A.; SANTOS, P. SEABRA, I. J.; JÚNIOR, R. N. C.; BRAGA, M. E. M.; SOUSA, H. C. Spilanthol from *Spilanthes acmella* flowers, leaves and stems obtained by selective supercritical carbon dioxide extraction. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 61, p. 62-70, 2012.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 160, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- GIOGI, A.; MINGOZZI, M.; MADEO, M.; SPERANZA, G.; COCUCCHI, M. Effect of nitrogen starvation on the phenolic metabolism and antioxidant properties of yarrow (*Achillea Becker ex Rchb.*). **Food Chemistry**, v. 114, n. 1, p. 204-211, 2009.
- GRUSKIN, B. Purification of chlorophyll by floating off impurities with the aid of salt solution. assignator: Lakeland foundation, patent No. 2,434,649. Deposit: January 20, 1948. Concession: April 20, 1948.
- GUSMÃO, M. T. A.; GUSMÃO, S. A. L. **Jambu da Amazônia: *Acmella oleracea* [(L.) R. K. Jansen]: características gerais, cultivo convencional, orgânico e hidropônico**. Belém: Edufra, 2013. 135 p.
- HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. The water culture method for growing plants without soil. Circular. **California agricultural experiment station**, v. 347, n. 2nd edit, 1950.
- ISAH, T. Stress and defense responses in plant secondary metabolites production. **Biological Research**, v. 39, p.1-25, 2019.
- LALTHANPULL, P. B.; ZOKLML, Z.; LALCHHANDAMA, K. The toothache plant (*Acmella oleracea*) exhibits anthelmintic activity on both parasitic tapeworms and roundworms. **Pharmacognosy Magazine**, v. 16, n. 68, p. 193-198, 2020.
- LEE, Y., KWEON, H. J., PARK, M. Y.; LEE, D. Field Assessment of Macronutrients and Nitrogen in Apple Leaves Using a Chlorophyll Meter. **HortTechnology**, v. 1, n. , p. 1-8, 2019.
- LICHTHENTHALER, H. K. Chlorophyll and carotenoids-pigments of photosynthetic biomembranes, **Methods in Enzymology**, v. 148, p. 350-382, 1987.
- LU, N.; BERNARDO, E. L.; TIPPAYADARAPANICH, C.; TAKAGAKI, M.; KAGAWA, N.; YAMORI, W. Growth and Accumulation of Secondary Metabolites in *Perilla* as Affected by Photosynthetic Photon Flux Density and Electrical Conductivity of the Nutrient Solution. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 1-12, 2017.
- MAMPHOLO, B. M.; MABOKO, M. M.; SOUNDY, P.; SIVAKUMAR, D. Variety-specific responses of lettuce grown in a gravel-film technique closed hydroponic system to N supply on yield, morphology, phytochemicals, mineral content and safety. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 17, n. 11, p. 2447-2457, 2018.
- POMPEU, D. R.; MOURA, F. G.; SILVA, E. M.; ROGEZ, H. Equilibria, kinetics, and mechanisms for the adsorption of four classes of phenolic compounds onto synthetic resins. **Separation Science and Technology**, v. 45, n. 5, p. 700-709, 2010.

REBECCA, L. J.; SHARMILA, S.; DAS, M.; SESHIAHL, C. Extraction and purification of carotenoids from vegetables. **Journal of Chemical and Pharmaceutical Research**, v. 6, n. 4, p. 594–598, 2014.

RIBANI, M.; BOTTOLI, C.; COLLINS, C.; JARDIM, I.; MELO, L. Validação em métodos cromatográficos e eletroforéticos. **Química Nova**, v. 27, n. 5, p. 771–780, 2004.

RODRIGUES, D. S.; CAMARGO, M. S.; NOMURA, E. S.; GARCIA, V. A.; CORREA, J. N.; VIDAL, T. C. M. Influence of the fertilization with nitrogen and phosphorus in the production of jambu (*Acmella oleracea* (L) RK Jansen). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 16, n. 1, p. 71- 76, 2014.

SAMBO, P.; NICOLETTO, C.; GIRO, A.; PII, Y.; VALENTINUZZI, F.; MIMMO, T.; LUGLI, P.; ORZES, G.; MAZETTO, F.; ASTOLFI, S.; TERZANO, R.; CESCO, S. Hydroponic Solutions for Soilless Production Systems: Issues and Opportunities in a Smart Agriculture Perspective. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1-17, 2019.

SAMPAIO, I. M. G.; GUIMARÃES, M. A.; LEMOS NETO, H. S.; MAIA, C. L.; VIANA, C. S.; GUSMÃO, S. A. L. Pode o uso de mudas agrupadas e a maior densidade de plantio aumentar a produtividade de jambu?. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 61, p. 1-8, 2018.

SANCHEZ, I. A. V.; VILAFRANCA, M. C. R.; LAZARO-LLANOS, N. Estimation of chlorophyll content in local *Caulerpa seaweeds* using acetone, DMSO and Methanol. **Research Journal of Chemical Sciences**, v. 8, n. 10, p. 1–5, 2018.

SANTOS, O. V.; SOARES, S. D.; VIEIRA, E. L. S.; MARTINS, M. G.; NASCIMENTO, F. C. A.; COSTA, B. E. T. Physicochemical properties and bioactive composition of the lyophilized *Acmella oleracea* powder. **Journal of Food Processing and Preservation**, p.1-8, 2021.

SALONER, A.; BERNSTEIN, N. Response of medical Cannabis (*Cannabis sativa* L.) to nitrogen supply under long photoperiod. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p.1-15, 2020.

SAVIC, S.; PETROVIC, S.; SAVIC, S.; CEKIC, N. Identification and photostability of N-alkylamides from *Acmella oleracea* extract. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, v. 195, p. 1-7, 2020

SILVA, E. M.; ROGEZ, H.; SILVA, I. Q.; LARONDELLE, Y. Improving the desorption of *Inga edulis* flavonoids from macroporous resin: Towards a new model to concentrate bioactive compounds. **Food Bioproducts Processing**, v. 91, n. 4, p. 558–564, 2013.

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

SILVA, L. C.; SAMPAIO, I. M. G.; BITTENCOURT, R. F. P. M.; ARAUJO, M. R.; FIGUEIREDO, S. P. R.; GUSMÃO, S. A. L.; COSTA, A. S. Influence of temperature on the germination and root size of *Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen. **Revista Agro@ambiente Online**, v. 14, p. 1-10, 2020.

SINGH, M.; CHATUVENDI, R. Evaluation of nutrient uptake and physical parameters on cell biomass growth and production of spilanthol in suspension cultures of *Spilanthes acmella* Murr. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, v. 35, p.943-951, 2012.

SOUTO, G. C.; GRANGEIRO, L. C.; GUSMÃO, S. A. L.; SOUSA, V. F. L.; CAVALCANTE, A. E. C.; FRANÇA, F. D. Agronomic performance of jambu (*Acmella oleracea*) using organic fertilization. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 1, p. 151-156, 2018.

UEDA, Y.; KONISHI, M.; YANAGISAWA, S. Molecular basics of the nitrogen response in plants. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 64, n. 4, p. 329-341, 2017.

6. AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO MÉTODO NÃO DESTRUTIVO PARA ESTIMAR O CONTEÚDO DE NITROGÊNIO EM PLANTAS DE JAMBU CRESCIDAS EM SISTEMA HIDROPÔNICO

Artigo publicado na Journal Of Agricultural Studies, v. 8, n. 2, 2020

DOI: 10.5296/jas.v8i2.16380

ABSTRACT

O jambu é considerado uma hortaliça folhosa com expressiva relevância nas regiões que compõem a Amazônia brasileira. No entanto, existem desafios quanto ao seu cultivo, principalmente para o manejo nutricional, visto que existem poucas informações técnicas que permitam um aumento na eficiência de sua produção. Nesse sentido, o nitrogênio (N) ganha destaque, visto que está relacionado ao aumento da produtividade e da qualidade das hortaliças folhosas, sendo necessário, portanto, seu monitoramento. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência da utilização do índice SPAD para estimar o teor de N das folhas de jambu, a concentração de clorofila total, bem como sua relação com o acúmulo de massa seca devido ao aumento da concentração de nitrogênio na solução nutritiva. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado com oito repetições. Os tratamentos foram seis concentrações de nitrogênio na solução nutritiva (11, 13, 15, 17, 19 e 21 mmol L⁻¹). Após 21 dias do transplante, o índice SPAD foi medido. Em seguida, essas plantas foram coletadas para quantificar o teor de clorofila total, massa seca e nitrogênio. Em geral, as variáveis foram explicadas por modelos lineares crescentes. Houve correlação positiva entre o índice SPAD e as demais características avaliadas. Com base nos resultados, destaca-se a melhor resposta na concentração de 21 mmol L⁻¹ na solução nutritiva. Além disso, o índice SPAD tem potencial para ser usado no diagnóstico do estado de nitrogênio em folhas de jambu.

Keywords: *Acmella oleracea* (L.), Hortaliça folhosa, Manejo nutricional, Índice SPAD, Status de Nitrogênio

6. EVALUATION OF THE NON-DESTRUCTIVE METHOD EFFICIENCY OF ESTIMATING NITROGEN CONTENT IN JAMBU PLANTS GROWN IN HYDROPONIC SYSTEM

ABSTRACT

Jambu is considered a leafy vegetable with expressive relevance in the regions that compose the Brazilian Amazon. However, there are challenges regarding its cultivation, particularly for the nutritional management, since there is little technical information that allows an increase in the efficiency of its production. In this sense, nitrogen (N) gains prominence, since it is related to the increased yield and quality of leafy vegetables, therefore its monitoring of N content in plants is necessary. The objective of this study was to evaluate the efficiency of using the SPAD index to estimate the N content of jambu leaves, total chlorophyll concentration, as well as its relationship with dry mass accumulation due to the increase of nitrogen concentration in the nutrient solution. The design used was completely randomized with eight replications. The treatments were six nitrogen concentrations in the nutrient solution (11, 13, 15, 17, 19 and 21 mmol L⁻¹). After 21 days of transplantation, the SPAD index was measured. Then, these plants were collected to quantify the total chlorophyll, dry mass and nitrogen content. In general, the variables were explained by increasing linear models. There was a positive correlation between the SPAD index and the other characteristics evaluated. Based on the results, the best response at the concentration of 21 mmol L⁻¹ in the nutrient solution stands out. In addition, the SPAD index has potential to be used in the diagnosis of nitrogen status in jambu leaves.

Keywords: *Acmella oleracea* (L.), Leafy Vegetable, Nutrient Management, SPAD index, Nitrogen Status

6.1 INTRODUCTION

Belonging to Asteraceae family, the jambu (*Acmella oleracea* (L.) R.K Jansen) it is considered a leafy vegetables of significant importance at the regions that compose the Brazilian Amazon, mainly the Pará State, and is gaining importance in national and international scale due to your peculiar properties, as the momentary anesthetic sensation, due to the bioactive compound named spilanthol whose has been a target of many patents to the production of products for both the pharmaceutical and cosmetics industry (GUSMÃO; GUSMÃO, 2013).

Albeit, there are challenges in relation of jambu cultivation, once that the technical information about your management are scarce, mainly to nutritional aspect (SAMPAIO *et al.*, 2018). In this sense, the nitrogen (N) stands out, once that it possesses relation with the production increase and the quality of leafy vegetables (FILGUEIRA, 2013). This is due to the nutrient be found in many organics compounds from the plants, as the amino acids and nucleic acids (DNA and RNA), being a core element at chlorophyll biosynthesis, which involves the photosynthesis directly. Therewithal, it's participated of many physiologic processes of vegetable circle of life, as well as the elements absorption, cellular breathing, multiplication and differentiation (TAIZ *et al.*, 2017).

Research with many cultures has been revealed that the increase on N availability in plants promote higher productivity and quality (MILHOMENS *et al.*, 2015; RÓS *et al.*, 2016). Studies with jambu culture (BORGES *et al.*, 2013; RODRIGUES *et al.*, 2014; SOUTO *et al.*, 2018) shown favourable response to nitrogen supplementation through soil, demonstrating high demand of N to production maintenance and quality. Although studies with jambu, linking the variation in N supply with the production of dry mass at the aerial and inflorescence part on systems more technics, as in hydroponics, which use nutritive solution instead of soil (KHAN *et al.*, 2018), are inexistent. For this reason, independent of the production system, the monitoring of N contents become indispensable. However, the determination of N predominantly occurs by laboratory methods which, although accurate, are destructive, time-consuming and relatively costly (LEE *et al.*, 2019).

In this regard, the monitoring of N content in the plants through the SPAD index has been largely used in many cultures for being a cheap method, fast and non-invasive (LEE *et al.*, 2019; MENDONZA-TAFOLLA *et al.*, 2019). The SPAD index indirectly quantifies the chlorophyll contents in leaves in loco (MILAGRES *et al.*, 2019). Studies have demonstrated that SPAD units possess direct

relation with N and chlorophyll contents in leaves of vegetables cultures, as potato (COELHO *et al.*, 2012), the zucchini (PÔRTO *et al.*, 2011) and the lettuce (MENDONZA-TAFOLLA *et al.*, 2019). Thus, proving that the N content has been estimated by SPAD units in plants (LEE *et al.*, 2019; MENDONZA-TAFOLLA *et al.*, 2019), it is proposed as a primary hypothesis that the SPAD index can be a value that evaluates the status of N in jambu leaves. Therefore, it was aimed to evaluate the efficiency of the SPAD index to estimate the N content in jambu leaves, the total chlorophyll contents, as well as its relation with the dry mass accumulation as a function of the increased N concentration in the nutritive solution.

6.2 MATERIALS AND METHODS

Experimental Area

The experiment was conducted at the green house, located at the Soil Science Area of the Agricultural Sciences Institute of Federal Rural University of Amazon, Belém campus. The region weather is classified as Af according to Köppen classification (ALVARES *et al.*, 2013).

During the execution of the experiment the temperature and humidity were determined daily through hygrometer term installed in the green house. The averages markings obtained showed averages of 35.3 °C and 28.1 °C as maximum and minimum, respectively, the average humidity during the period was 77.1%.

Seedling Production

It was used the variety yellow flower of the jambu (*A. oleracea*) (GUSMÃO; GUSMÃO, 2013), which was obtained in the active germplasm database of the Federal Rural University of Amazon, Belém campus, in the horticulture sector of the Agrarian Sciences Institute (ASI).

The seedlings were produced in polystyrene trays of 128 cells filled with coconut powder substrate, and then the seeds were sown at a density of six to eight seeds per cell. After the germination, the trays were transferred to benches, where they were watered with nutritive solution proposed by Hoagland and Arnon (1950) in 25% of ionic force every two days. With seven days after the germination it was made the thinning, leaving one plant per cell.

With 21 days after the germination, it was made the transplantation to vases filled with sterile ground silica. After the transplantation, the jambu plants went through a seven-day

period of acclimatization to the hydroponic system, receiving as source of water and nutrients, the solution of Hoagland and Arnon (1950), in half of ionic force. After this period, the plants were submitted to your respective treatments. The experimental units consisted in plastic vases with 2 L of capacity containing one seedling of jambu.

Experimental Design and Nutritive Solutions

The experimental design adopted was of completely randomized, composed of six concentrations of N in the nutritive solution (11, 13, 15, 17, 19 and 21 mmol L⁻¹) with eight repetitions. It has been used the standard solution 2 of Hoagland and Arnon (1950) which contains 15 mmol L⁻¹, where the compositions of each treatment presented in table 1.

Table 1. Composition of nutritive solutions (ml L⁻¹) used to prepare the treatments

Stock Solution (1 M)	Treatments (mmol L ⁻¹)					
	11	13	15	17	19	21
NH ₄ H ₂ PO ₄	1	1	1	1	1	1
KNO ₃	2	4	6	6	6	6
Ca(NO ₃) ₂	4	4	4	4	5	4
MgSO ₄	2	2	2	2	2	2
KCl	4	2	-	-	-	-
NaNO ₃	-	-	-	-	2	4
NH ₄ NO ₃	-	-	-	1	1	1
Micro ¹	1	1	1	1	1	1
Fe-EDTA ²	1	1	1	1	1	1

¹Stock solution of Micronutrients: 2.86 g L⁻¹ of H₃BO₃, 1.81 g L⁻¹ of MnCl₂. 4H₂O, 0.22 g L⁻¹ of ZnSO₄. 5H₂O, 0.08 g L⁻¹ of CuSO₄.5H₂O, and 0.02 g L⁻¹ of H₂MoO₄.H₂O.

²Fe-EDTA: 21.6 g L⁻¹ of EDTA, 286 ml L⁻¹ of KOH 1M and 24.9 g L⁻¹ FeSO₄.7H₂O.

Source: Author (2019).

During the experiment, the nutritive solutions were oxygenated, through the drainage of the solution at the afternoons end and reposition at the beginning of morning, this procedure was made daily. The solutions were renewed weekly. The pH of the solutions was daily monitored through the use of a pocket PH-meter model GroLine – HI98118 from HANNA company and maintained in range of 5.5 to 6.5. When necessary, it was made the

correction, by using a solution of NaOH 1N or with citric acid ($C_6H_8O_7$) 1N. In addition, the evaporated water was daily replaced, by the use of distilled water.

Evaluated Parameters

SPAD Index Readings and Total Chlorophyll Content

After 21 days of the transplantation, occasion that the plants were in the beginning of flowering phase, between 7 and 9 A.M, it was made the measurement of SPAD index, using the portable chlorophyllometer 502 from Minolta company. The measurements were made in the second pair of leaves of the main stem from the apex, measuring 20 readings in long of the leaf, avoiding the central rib, and the average of the readings represented the repetition. Following, were collected and stored to total chlorophyll quantification.

To the determination of total chlorophyll, it was performed the homogenization in the dark of 0,1 of leaf tissue in in mortar with 5 ml of 80% acetone, the extract obtained in this process being filtered into 25 ml volumetric flasks, the volume of the flask being completed by the addition of 20 ml of 80% acetone. Right after, the pigments were quantified using a spectrophotometer (Femto, model 700 S), according to the methodology of Lichtenthaler (1987). The results were expressed on the basis of fresh matter mass ($mg\ g^{-1}\ MF$).

Leaf Dry Mass

To determine the dry mass accumulation of the leaves, the seedlings were removed from the pots and separated into aerial part and roots. Then, the leaves of the plants were washed with deionized water and dried with paper towels. From there they were placed in paper bags and then taken to the greenhouse at $65\pm 5\ ^\circ C$ for about 72 hours, when the plants achieved constant weight. After that, the dry material weighed on a precision scale (0.001 g).

Total N and N Accumulation

The leaf samples were crushed in a Wiley type mill, passed through a 20 mesh sieve and stored in paper bags to determine the total nitrogen content according to Silva (2009). The accumulation of N was performed based on the product calculation of the dry mass of the sheets and the N content in the jambu sheets.

Statistical Analysis

The data were submitted to variance analysis by the F test at 5% of probability and, when it's significant, it was adjusted the regression models to N concentrations in the nutritive solution, being the model and your coefficients tested by the 't – student' test. It was

conducted the study of correlation between the SPAD index and others analyzed variables as well. The analysis were made through the statistical program SAS (SAS INSTITUTE, 2001).

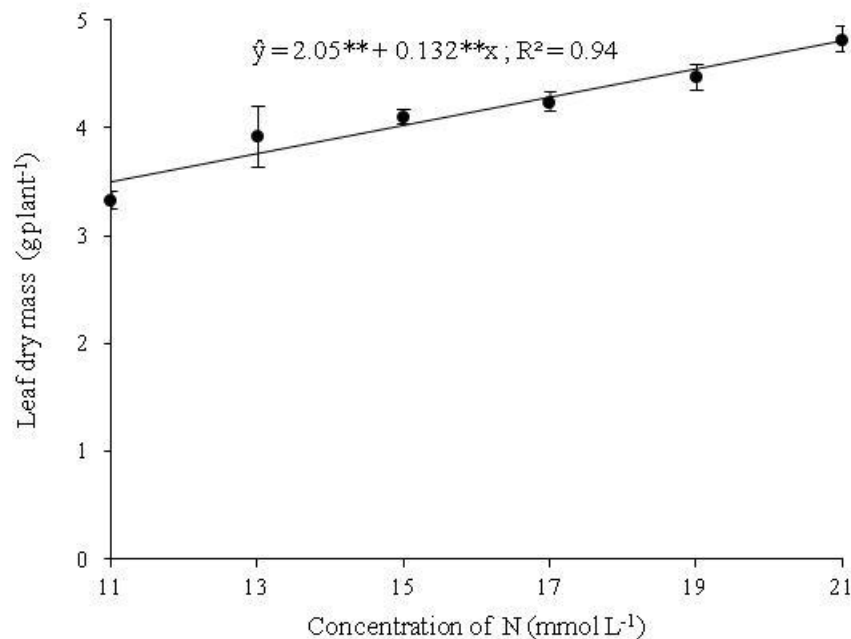
6.3 RESULTS AND DISCUSSION

The increase in N concentration in the nutrient solution influenced ($p < 0.05$) the dry mass of the leaf, the N content and accumulation, the SPAD index and the total chlorophyll content. In addition, the responses to N concentration in the solution were adjusted to a positive linear model.

Leaf Dry Mass

The leaves dry mass increased linearly with the elevation of N concentration in the nutritive solution. The largest accumulation of dry mass was observed in the largest N concentration (21 mmol L^{-1}) (Figure 1).

Figure 1 - Leaf dry mass of jambu in function of the increase of the nitrogen concentration in nutritive solution ** significant in 1% of probability; * significant in 5% of probability through t test.



Source: Author (2019).

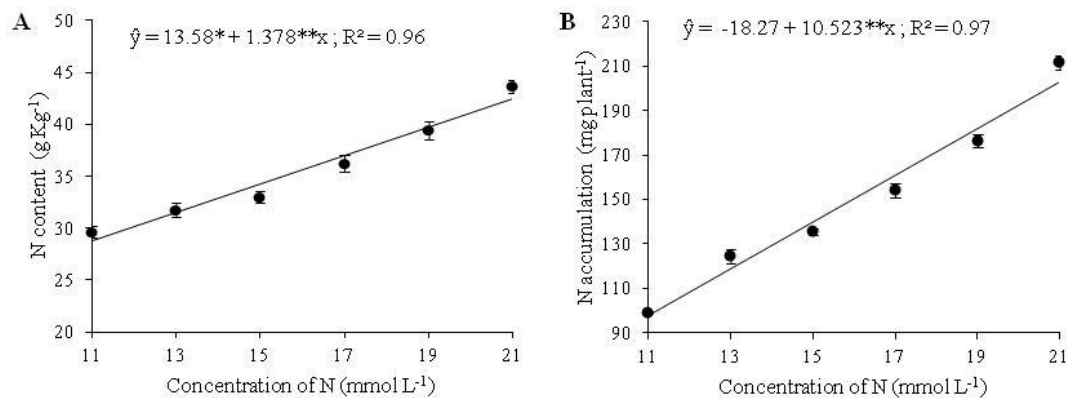
The N are related to various plant physiological process, acting in significant manner at the photosynthesis, respiration, ionic absorption and other process related to growing and development vegetal (MAHLANGU *et al.*, 2016; MARSCHNER, 2012; TAIZ *et al.*, 2017). In general, vegetables have large necessity of N due to your short cycle, as demonstrated in lettuce studies, jambu same family specie (MAHLANGU *et al.*, 2016).

Results from researches have revealed that the increase of N disponibility to plants promote more accumulation of biomass (MILHOMENS *et al.*, 2015; RÓS *et al.*, 2016). To jambu, Borges *et al.* (2013) and Rodrigues *et al.* (2014) observed significant answers at the production, in function of the increase of nitrogen fertilization in soil. In this context, the linear increase of biomass production suggests that the specie can still respond to higher concentrations of this nutrient in nutritive solution, which indicates high responsiveness from plant to element.

Total N Content and N accumulation in Leave

About the level and accumulation of N, it was verified that both adjusted to a linear positive model in function of N concentration increase in the nutritive solution. As the concentration of N was elevated in the nutritive solution, there was an increase in N levels in the jambu leaves, with the maximum level being (43.7 g kg^{-1}) determined in concentration of 21 mmol L^{-1} . To the N accumulation variable, as observed to leaf dry mass accumulation (Figure 1), it was noted an increase in the N accumulation rates as the N concentration in solution increased, observing the order variation from 99.1 to $211.6 \text{ mg plant}^{-1}$ in relation to minor (11 mmol L^{-1}) to the larger dose of N (21 mmol L^{-1}), respectively (Figure 2A and 2B).

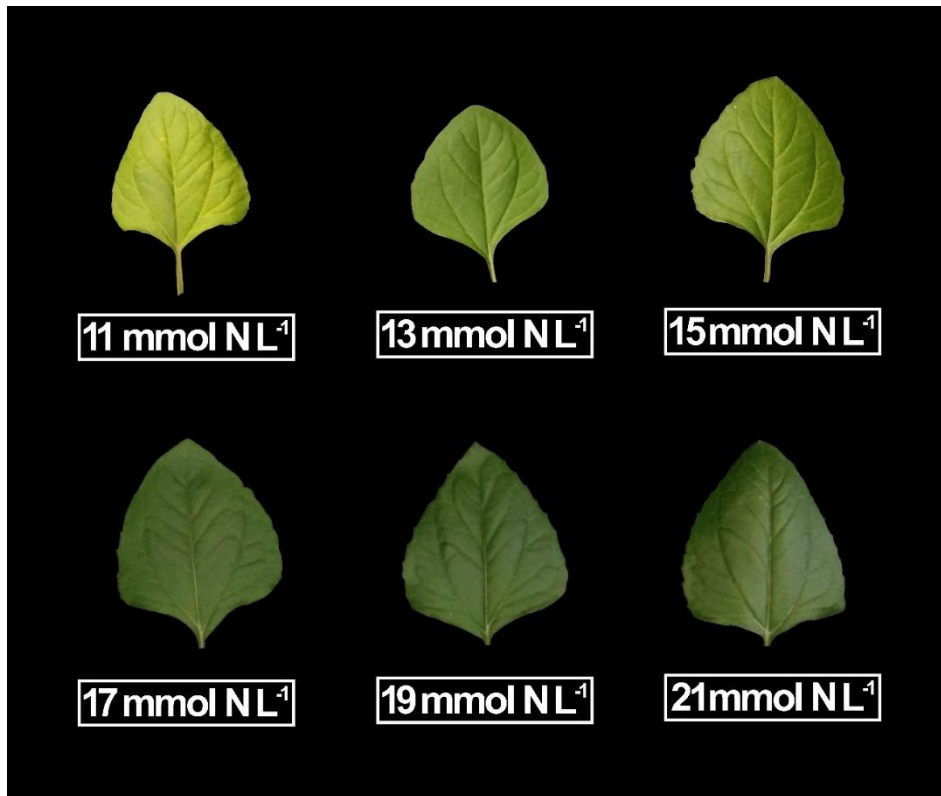
Figure 2 - Content (A) and N accumulation (B) in jambu leaves in function of the increase of nitrogen concentration in the nutritive solution ** significant to 1% of probability; * significant to 5% of probability by t test.



Source: Author (2019).

It was verified, also, the concentrations below of 15 mmol L^{-1} , the leaves have expressed generalized chlorosis, becoming yellowish green, first on the older leaves (Figure 3) and then on all the leaves of the plant.

Figure 3 - Jambu leaf pigmentation levels taken of the second pair of leaves from the apex to basis of the main stem at the end of the vegetative phase.



Source: Author (2019).

This fact is due to N be a nutrient that possess high mobility in the plant phloem and, when in deficiency, is easily redistributed from the oldest leaves to the newest leaves, which are beginning their metabolic process (MARSCHNER, 2012). It is also observed in the figure 3, a pigmentation gradient, as the concentration of N in the nutritive solution has increased, which indicates that in concentrations under 210 mg L^{-1} (15 mmol L^{-1}) in the nutritive solution will occur N deficiency in the plants. Such hypothesis is not only sustained by symptom manifestation itself, as well as the differences in the levels and accumulation of N in the leaves (Figures 2A and 2B), as the dry mass accumulation (Figure 1), which obtained significant decrease in compare of 15 mmol L^{-1} concentrations.

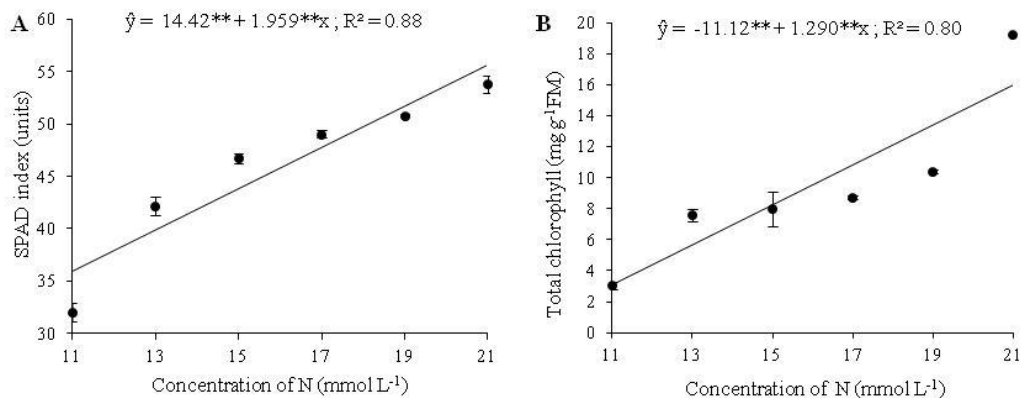
Similarly with the symptoms found on this work, Peçanha *et al.* (2019), working with omission of macro and micro nutrients in jambu plants in nutritive solution, observed generalized chlorosis in old leaves of that vegetable, in addition to significant reductions in the inflorescence numbers, leaves number, leaf area and root dry mass, presenting average levels of N in the leaves of 26.6 g kg^{-1} , values close to those found in these study to 11 mmol L^{-1} (29 g kg^{-1}) concentrations.

The relation of nitrogen fertilization and the N accumulation in jambu plants was demonstrated for Borges *et al.* (2013), where it was observed increasing of N accumulation when it was elevated the doses of urea in soil. In vegetables, N supports the vegetative development, resulting in leaf area expansion, in addition of influence the productive potential (FILGUEIRA, 2013).

SPAD Index and Total Chlorophyll

Regarding the SPAD values, obtained in function of the total chlorophyll concentration in the jambu leaves (Figure 4A and 4B), similar to that observed for the other variables, it was verified that there was a linear increase with the elevation of N concentration in nutritive solution.

Figure 4 - SPAD index (A) and total chlorophyll content (B) of jambu plants as a function of increased nitrogen concentration in the nutrient solution. ** significant at 1% probability; * significant at 5% probability by t-test.



Source: Author (2019).

The SPAD index varied from 32 to 54 units. When comparing the lower concentration of N (11 mmol L⁻¹) with the higher concentration (21 mmol L⁻¹) it can be seen that the increase in N supply promoted an increase of approximately 69% in SPAD units (Figure 4A). Similarly, the total chlorophyll content varied with respect to the lower (11 mmol L⁻¹) and the higher N dose (21 mmol L⁻¹), and plants submitted to higher concentrations had higher total chlorophyll content (Figure 4B), a result that indicates the potential of the chlorophyll meter in determining the chlorophyll and total N contents in jambu leaves.

The leaf is the organ in which a large amount of nitrogen compounds, such as proteins and pigments, are concentrated, like chlorophyll (TAIZ *et al.*, 2017). Thus, early diagnosis, in real time, provided by the SPAD values, is important, because it enables the decision on adjustments as the application of N both via soil and in the nutritive solution, reducing the probability of compromising production (MILAGRES *et al.*, 2018).

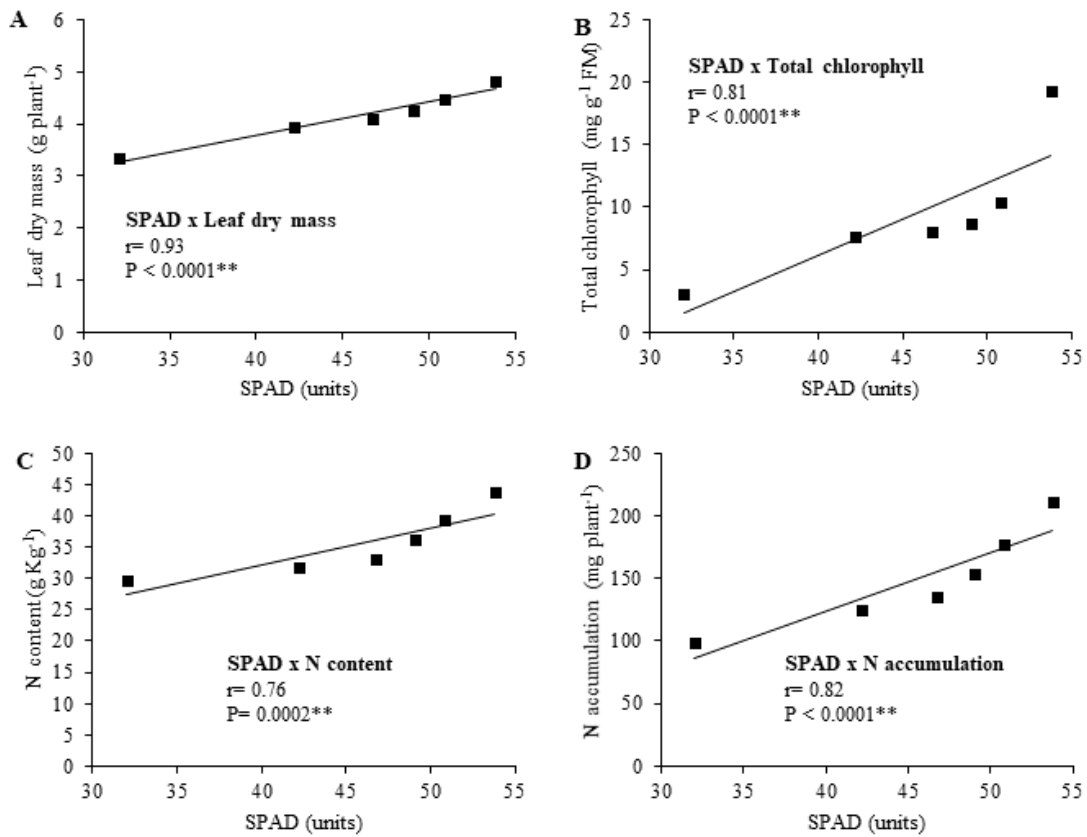
Moreover, the results for the adopted cultivation system suggest that values below 46 SPAD units indicate total chlorophyll and N levels below the ideal for the culture, thus allowing the detection of nitrogen deficiency in jambu leaves (Figure 3). In research developed by Pôrto *et al.* (2014), involving nitrogen fertilization in tomatoes, it was noted a trend of linear increase in the SPAD index as a function of the N doses applied. Other studies present results similar to those obtained in this research for this variable, in some crops, such as lettuce (MENDONZA-TAFOLLA *et al.*, 2019) and kaki (CHOI *et al.*, 2011) and potato (COELHO *et al.*, 2012).

Mampholo *et al.* (2018), when working with two lettuce cultivars, observed that the total chlorophyll content in the leaves of these vegetable crops increased as the N supply in the soil increased. This is due to the structural function of N, which is required for the synthesis of chlorophyll molecules; therefore, larger supplies of N favor the production of chlorophylls (LEE *et al.*, 2019).

Correlation of the SPAD index, leaf dry mass, total Chlorophyll, N content and N Accumulation

In relation between the SPAD unit values and others variables, it was observed positive significant correlation (Figure 5).

Figure 5 - Pearson correlation between SPAD indices and leaf dry mass (A), total chlorophyll (B), N content (C) and N accumulation (D). ** Significant at 1% of probability by t test.



Source: Author (2019).

It was observed high linear positive correlation ($r = 0.93$) between the variables of leaf dry mass and SPAD units (Figure 5A). Madakadze *et al.* (1999), observed a positive correlation between SPAD units and leaf dry mass accumulation in *Panicum virgatum*, thus demonstrating the potential of SPAD units to determine leaf dry mass accumulation.

For total chlorophyll, there was a strong correlation with SPAD units ($r = 0.81$) (Figure 5B). This proves the efficiency of measuring total chlorophyll using a SPAD chlorophyll meter in estimating the chlorophyll content of leaves. Results reported by Mendoza-Tafolla *et al.* (2019) working with lettuce observed a correlation between SPAD units and the chlorophyll content in the leaves of this species.

The association between total chlorophyll content and dry mass accumulation occurs due to the role of chlorophyll in photosynthesis; thus, the higher the chlorophyll index the greater the capacity of the plant to perform photosynthesis and, consequently, higher biomass production (TAIZ *et al.*, 2017), as observed by Shadchina and Dmitrieva (1995), which showed a correlation between the chlorophyll content in the leaves and the dry matter of wheat plants.

The N content in the leaf presented a positive correlation with SPAD units ($r= 0.76$), with the highest value obtained (58 units) coinciding with the highest N content (43.7 g kg^{-1}) (Figure 5C). Since N is an important component of the chlorophyll molecule, the lack of this element causes a decrease in the green intensity of the leaves of the plants, interfering in the process of photosynthesis, being characterized by chlorosis (PÔRTO *et al.*, 2014), relationships observed in this study, observing characteristic symptoms of N deficiency in levels below 33.0 g kg^{-1} N and 46 SPAD units (Figure 2).

A study by Mendoza-Tafolla *et al.* (2019) showed a high correlation ($r= 0.95$) between N contents in Roman lettuce leaf and SPAD units. In other plant species, high correlation between the two variables was demonstrated, as in oregano ($r= 0.64$) (MEDELLÍN *et al.*, 2016) and kaki ($r= 0.97$) (CHOI *et al.*, 2011). In general, these studies proved that SPAD has strong correlations with the N content in the leaf, which correlated with increased photosynthesis and productivity, as observed by Mahlangu *et al.* (2016). This reaffirms the efficiency of the SPAD chlorophyll meter for diagnosing the N level in jambu plants, as well as for predicting yield, as observed by Milagres *et al.* (2018) in potato cultivation.

For the accumulation of N high linear correlation with SPAD units was observed ($r= 0.82$). This relationship can be established due to the role played by N as a structural element, composing amino acids and proteins (TAIZ *et al.*, 2017), as well as being directly linked to chlorophyll synthesis, as proven in this study and other studies (MEDELLÍN *et al.*, 2016; MENDOZA-TAFOLLA *et al.*, 2019). Due to this, when this element is deficient, physiological disorders occur in chloroplasts, causing leaf chlorosis (TAIZ *et al.*, 2017). This relationship is mainly due to the fact that more than 70% of the total N of the leaves integrate enzymes associated with chloroplasts (DANTAS *et al.*, 2012), where the chlorophylls are inserted.

6.4 CONCLUSIONS

The N concentrations in the nutrient solution influence the variables evaluated, and the 21 mmol L^{-1} concentration of N promoted the best response. In addition, the SPAD index is indicated to indirectly estimate the chlorophyll content, the N content and the amount of N accumulated in jambu leaves.

ACKNOWLEDGMENT

The Amazon Foundation for the Support of Studies and Research (Fapespa) for granting an academic doctorate, ICAAF No. 009/2017, to the first author

REFERENCES

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- BORGES, L. S., A. C. GUERRERO, R. GOTO, AND G. P. P. LIMA. Produtividade e acúmulo de nutrientes em plantas de jambu, sob adubação orgânica e mineral. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 1, p. 83-94, 2013.
- CHOI, S. T.; PARK, D. S.; KANG, S. M.; PARK, S. J. Use of a chlorophyll meter to diagnose nitrogen status of 'Fuyu' persimmon leaves. **HortScience**, v. 46, n. 5, p. 821-824, 2011.
- COELHO, F. S.; FONTES, P. C. R.; FINGER, F. L.; CECON, P. R. Evaluation of potato nitrogen status based on polyphenol and chlorophyll leaf content. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 4, p. 584-592, 2012.
- DANTAS, P. A. S.; SOUZA JÚNIOR, J. O.; GOMES, F. P.; RIBEIRO, D. O. Non destructive estimation of foliar nitrogen in cocoa tree using chlorophyll meter. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 3, p. 669-677, 2012.
- FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. rev. e ampl. Viçosa: UFV, 2013, 472 p.
- GUSMÃO, M. T. A.; GUSMÃO, S. A. L. **Jambu da Amazônia: Acmella oleracea [(L.) R. K. Jansen]: características gerais, cultivo convencional, orgânico e hidropônico**. Belém: Edufra, 2013. 135 p.
- HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. The water culture method for growing plants without soil. Circular. **California agricultural experiment station**, v. 347, n. 2nd edit, 1950.
- KHAN, F. A.; KURKLU, A.; GHAFOR, A.; ALI, Q.; UMAIR, M.; SHAHZAIB. A review on hydroponic greenhouse cultivation for sustainable agriculture. **International Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences**. v. 2, n. 2, p. 59-66, 2018.
- LEE, Y., KWEON, H. J., PARK, M. Y., LEE, D. Field Assessment of Macronutrients and Nitrogen in Apple Leaves Using a Chlorophyll Meter. **HortTechnology**, v. 1, p. 1-8, 2019.
- LICHTHENTHALER, H. K. Chlorophyll and carotenoids-pigments of photosynthetic biomembranes, **Methods in Enzymology**, v. 148, p. 350-382, 1987.
- MADAKADZE, I. C.; STEWART, K. A.; MADAKADZE, R. M.; PETERSON, P. R.; COULMAN, B. E.; SMITH, D. L. Field evaluation of the chlorophyll meter to predict yield and nitrogen concentration of switchgrass. **Journal of Plant Nutrition**, v. 22, n. 6, p. 1001-1010, 2012.
- MAHLANGU, R. I.; MABOKO, M. M.; SIVAKUMAR, D.; SOUNDY, P. Lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth, yield and quality response to nitrogen fertilization in a non-circulating hydroponic system. **Journal of Plant Nutrition**, v. 39, n. 12, p. 1766-1775, 2016.
- MAMPHOLO, B. M.; MABOKO, M. M.; SOUNDY, P.; SIVAKUMAR, D. Variety-specific responses of lettuce grown in a gravel-film technique closed hydroponic system to N supply

on yield, morphology, phytochemicals, mineral content and safety. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 17, n. 11, p. 2447-2457, 2018.

MARSCHNER, H. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. 3ed. London: Elsevier, 2012, 643 p.

MEDELLÍN, L. A. C.; ROZO, A. M. B.; TRUJILLO, M. M. P. Ensayo preliminar sobre la utilización de un medidor portátil de clorofila para estimar el nitrógeno foliar en orégano (*Origanum vulgare* L.). **Revista Facultad de Ciencias Básicas**, v. 7, n. 2, p. 150-165, 2016.

MENDOZA-TAFOLLA, R. O.; JUAREZ-LOPEZ, P.; ONTIVEROS-CAPURATA, R. E.; SANDOVAL-VILLA, M.; IRAN, A. T.; ALEJO-SANTIAGO, G. Estimating Nitrogen and Chlorophyll Status of Romaine Lettuce Using SPAD and at LEAF Readings. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 47, n. 3, p. 751-756, 2019.

MILAGRES, C. D. C.; FONTES, P. C. R.; SILVEIRA, M. V. D.; MOREIRA, M. A.; LOPES, I. P. D. C. Nitrogen indexes and model to prognostic the potato tubers production. **Revista Ceres**, v. 65, n. 3, p. 261-270, 2018.

MILHOMENS, K. K. B.; NASCIMENTO, I. R.; TAVARES, R. C.; FERREIRA, T. A.; SOUZA, M. E. Evaluation of agronomic traits of lettuce cultivars under different nitrogen levels. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 1, p. 143-148, 2015.

PEÇANHA, D. A.; FREITAS, M. S. M.; VIEIRA, M. E.; LIMA, T. C. Characterization of deficiency symptoms and mineral nutrient content in *Acmella oleracea* cultivated under macronutrient and boron omissions. **Journal of Plant Nutrition**, v. 42, n. 8, p. 879-890, 2019.

PÔRTO, M. L. A.; PUIATTI, M.; FONTES, P. C. R.; CECON, P. R.; DO CARMO ALVES, J. SPAD index for diagnosis of nitrogen status in the Japanese cucumber plants under protected cultivation. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 3, p. 292-296, 2014.

PÔRTO, M. L.; PUIATTI, M.; FONTES, P. C. R.; CECON, P. R.; ALVES, J. C.; ARRUDA, J. A. SPAD index for nitrogen status diagnosis of zucchini plants. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 3, p. 311-315, 2011.

RODRIGUES, D. S.; CAMARGO, M. S.; NOMURA, E. S.; GARCIA, V. A.; CORREA, J. N.; VIDAL, T. C. M. Influence of the fertilization with nitrogen and phosphorus in the production of jambu (*Acmella oleracea* (L) RK Jansen). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 16, n. 1, p. 71- 76, 2014.

RÓS, A. B.; NARITA, N.; REIS, A. S. Production of sweet potato branches in suspended pots depending on nitrogen fertilization. **Científica**, v. 44, n. 2, p. 170-175, 2016.

SAMPAIO, I. M. G.; GUIMARÃES, M. A.; LEMOS NETO, H. S.; MAIA, C. L.; VIANA, C. S.; GUSMÃO, S. A. L. Pode o uso de mudas agrupadas e a maior densidade de plantio aumentar a produtividade de jambu?. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 61, p. 1-8, 2018.

SAS, S. STATUsersGuide for Personal Computers. **Release**, v. 6, n. 12, 2002.

SHADCHINA, T. M.; DMITRIEVA, V. V. Leaf chlorophyll content as a possible diagnostic mean for the evaluation of plant nitrogen uptake from the soil. **Journal of Plant Nutrition**, v. 18, n. 7, p. 1427-1437, 1995.

SILVA, F. C. D. S. (ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009, 627 p.

SOUTO, G. C.; GRANGEIRO, L. C.; GUSMÃO, S. A. L.; SOUSA, V. F. L.; CAVALCANTE, A. E. C.; FRANÇA, F. D. Agronomic performance of jambu (*Acmella oleracea*) using organic fertilization. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 1, p. 151-156, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal** (L. Taiz, E. Zeiger, I. M. Moller, & A. Murphy (eds.); 6th ed.). Artmed Editora, 2017, 888 p.

CONCLUSÕES GERAIS

Os genótipos de jambu demonstraram bom desempenho no sistema hidropônico, bem como observou-se que a elevação da concentração iônica da solução nutritiva aumenta a produtividade do jambu. Além disso, o N afeta significativamente a produção, qualidade pós-colheita e acúmulo de espilantol nos órgãos da espécie. Assim, para obter alta produção tanto no crescimento do jambu quanto no acúmulo de metabólitos secundários, deve ser feito o fornecimento de N em nível adequado na solução nutritiva.

O índice SPAD possui potencial na predição do *status* de nitrogênio nas plantas, bem como em prognosticar o desempenho produtivo da cultura em sistema hidropônico de cultivo.

Portanto, os resultados obtidos nesta pesquisa fornecem informações significativas para o cultivo hidropônico do jambu com alta produção e boa qualidade das plantas.