



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA

ISABELA OLIVEIRA DE SOUZA  
VANESSA KELLY DA COSTA RIBEIRO

**CRESCIMENTO E RESPOSTA FISIOLÓGICA DE PLANTAS DE JAMBU (*Acmella oleracea* L.) ESTIMULADAS PELO ÁCIDO 5-AMINOLEVULÍNICO**

BELÉM  
2024

ISABELA OLIVEIRA DE SOUZA  
VANESSA KELLY DA COSTA RIBEIRO

**CRESCIMENTO E RESPOSTA FISIOLÓGICA DE PLANTAS DE JAMBU (*Acmella oleracea* L.) ESTIMULADAS PELO ÁCIDO 5-AMINOLEVULÍNICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Agronomia como requisito para a obtenção de grau de Bacharel em Agronomia pela Universidade Federal Rural da Amazônia.

Orientador: Prof. Dr. Cândido Ferreira de Oliveira Neto.  
Coorientador: Prof. Dr. Glauco André dos Santos Nogueira.

BELÉM  
2024

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

---

S719c Souza, Isabela Oliveira de  
CRESCIMENTO E RESPOSTA FISIOLÓGICA DE PLANTAS DE JAMBU (*Acmella oleracea* L.)  
ESTIMULADAS PELO ÁCIDO 5-AMINOLEVULÍNICO / Isabela Oliveira de Souza, Vanessa Kelly da  
Costa Ribeiro. - 2024.  
42 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Agronomia, Campus Universitário de  
Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2024.  
Orientador: Prof. Dr. Cândido Ferreira de Oliveira Neto

1. Trocas gasosas. 2. Biometria. 3. Biomassa. I. Oliveira Neto, Cândido Ferreira de, *orient.* II. Título

---

CDD 630

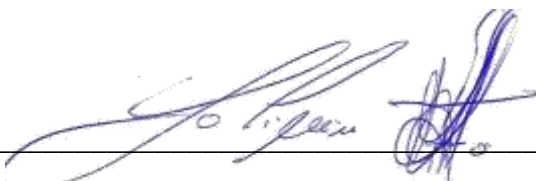
ISABELA OLIVEIRA DE SOUZA  
VANESSA KELLY DA COSTA RIBEIRO

**CRESCIMENTO E RESPOSTA FISIOLÓGICA DE PLANTAS DE JAMBU (*Acmella oleracea* L.) ESTIMULADAS PELO ÁCIDO 5-AMINOLEVULÍNICO**

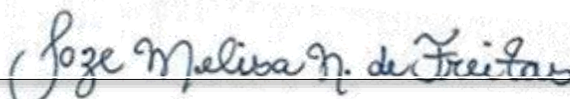
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Agronomia como requisito para a obtenção de grau de Bacharel em Agronomia pela Universidade Federal Rural da Amazônia.

Aprovado em: 03 / 04 / 2024.

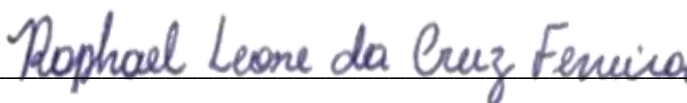
**BANCA EXAMINADORA:**



**Prof. Dr. Cândido Ferreira de Oliveira Neto – Orientador**  
Universidade Federal Rural da Amazônia



**Prof.ª Dr.ª Joze Melisa Nunes de Freitas – 1º Examinadora**  
Universidade Federal Rural da Amazônia



**Prof. Me. Raphael Leone da Cruz Ferreira – 2º Examinador**  
Instituto Federal do Amapá

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar ao Deus Pai Todo Poderoso que me sustentou até aqui, me deu sabedoria, perseverança e discernimento durante toda a jornada acadêmica e que, apesar de todos os obstáculos encontrados ao longo do curso, não me deixou desistir. Sem Sua orientação e graça, nada disso seria possível. Este trabalho é uma manifestação da Sua bondade e misericórdia em minha vida, e por isso, dedico-Lhe toda honra e glória.

Aos meus amados pais, Glória e Serley, por seu apoio incansável durante minha jornada acadêmica e a conclusão deste trabalho, por suas palavras de incentivo, paciência e amor incondicional que foram o meu alicerce nos momentos desafiadores. Cada conquista que alcancei é uma homenagem ao sacrifício e dedicação que vocês sempre demonstraram em meu benefício, eu não seria nada sem o apoio inabalável de vocês. Agradeço também a minha irmã, Gabriela, que por muitas vezes entendeu as minhas dificuldades sem nem eu precisar expressá-las, me ajudou e me acolheu, me dando amparo e força para continuar. Obrigada por serem minha inspiração constante e por acreditarem em mim quando eu mesma duvidei. Este diploma é por vocês e para vocês.

Aos meus familiares, avós, tias, tios, primas, primos, sobrinhas e pessoas próximas à família pelo encorajamento constante, compreensão e amor, que foram fundamentais para superar os desafios e alcançar este marco significativo em minha vida. Compartilho este sucesso com cada um de vocês, serei sempre grata por serem minha base sólida e por terem permanecido ao meu lado em todo trajeto.

Aos meus amigos queridos, em especial a Amanda, Quézia, Fabrício, Lucas e Thiago, que ao longo da jornada para a conclusão deste trabalho não mediram esforços para me ajudar. Suas palavras de ânimo, momentos de descontração e ombros amigos foram essenciais para manter minha motivação e superar os obstáculos que surgiram. Cada conversa, cada gesto de apoio fortaleceu meu compromisso e determinação, cada um teve papel crucial nessa conquista.

Ao meu orientador, Cândido Neto e coorientador Glauco Nogueira pelas instruções valiosas, apoio constante e sabedoria compartilhada ao longo da elaboração deste trabalho. Saibam que suas diretrizes foram fundamentais para o direcionamento da minha vida dentro e fora da Instituição e que agradeço sinceramente por investirem seu tempo e conhecimento em meu crescimento acadêmico e profissional. Expresso também a minha gratidão à Vanessa, minha dupla de faculdade, pelo trabalho em equipe, apoio mútuo e colaboração durante todo o curso. Obrigada por caminharmos juntas nesta jornada acadêmica.

Por fim, agradeço a Universidade Federal Rural da Amazônia por ter me recebido de braços abertos e proporcionado ensinamentos valiosos que levarei para o resto da minha vida.

*Isabela Oliveira de Souza*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, Pai, Filho e Espírito Santo, por me conceder a vida e ter guiado meus passos, por ter zelado e cuidado de mim, por ter me dado forças, amor e luz nos momentos de dificuldades enfrentadas ao longo dessa jornada acadêmica, por todas as conquistas e vitórias e agradeço a Nossa Sra. de Nazaré, por todas as graças, bênçãos e pedidos realizados.

Aos meus pais e melhores amigos, Valéria e Sérgio por toda dedicação na minha formação, onde desde cedo me ensinaram o valor da educação, por me conduzirem ao caminho correto, pela paciência, estímulo e todo apoio emocional dado nos momentos mais difíceis em que duvidei da minha capacidade, agradeço por viverem ao meu lado todas as minhas conquistas, sem o auxílio de vocês eu jamais conseguiria. Obrigado por serem meu alicerce, por me guiarem e me derem tanta força e amor, vocês são incríveis! De todo coração digo que essa vitória é nossa, essa vitória é para vocês!

Aos meus avós maternos, Terezinha Costa e Pedro Costa “*in memoriam*”, e paternos, Célia Ribeiro e Sérgio Ribeiro, por todos os ensinamentos, pela paciência nos momentos de ausência, por todo amor e incentivo ao longo desse trajeto. Aos meus tios, tias, primas, primos, madrinha e padrinho e toda família Costa e Ribeiro agradeço por todo apoio, confiança, conselho, amor, paciência e contribuição dados ao longo da minha vida e principalmente para a conclusão desse ciclo.

Ao meu namorado Walter Gomes, por todo incentivo desde o ensino médio até a graduação, por ter me encorajado a buscar a excelência e a superar meus próprios limites, por ser meu porto seguro durante toda essa estrada. Seu amor, paciência, conselho e apoio incondicional foram fundamentais para conclusão dessa etapa.

A minha dupla Isabela Oliveira, por todo apoio e companheirismo, sua presença foi inestimável para a conclusão dessa etapa, não tenho palavras para expressar o quanto sua amizade significa para mim.

Ao meu orientador, Dr. Cândido Neto, por sua dedicação, amizade, conselhos, paciência, empatia, apoio e confiança dados ao longo dessa jornada, que foram essenciais para meu crescimento pessoal e profissional.

Ao meu coorientador, Glauco Nogueira, onde expresso toda minha gratidão pelo apoio e orientação para a finalização dessa etapa tão importante.

A Universidade Federal Rural da Amazônia, e a todo corpo docente por me proporcionarem conhecimentos e experiências essenciais durante a graduação. Agradeço também a todos que contribuíram de maneira direta ou indireta para a realização desse sonho.

*Vanessa Kelly da Costa Ribeiro*

## RESUMO

O jambu, é uma erva típica da região amazônica, conhecida por suas propriedades culinárias e medicinais. Este trabalho objetiva analisar o crescimento e as respostas fisiológicas de plantas de jambu (*Acmella oleracea L.*) estimulados pelo ácido 5-aminolevulínico na produção. No experimento foram selecionadas 24 mudas (divididas em três grupos), sobre a qual foram executadas 3 análises diferentes. No tratamento controle (T0) não foi aplicada nenhuma dose de ácido. Em contrapartida, no tratamento T50, o ALA fora aplicado na proporção de 50 mg/L. No tratamento intitulado T100, o ALA fora aplicado na proporção de 100 mg/L. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e quando significativos, aplicou-se o teste Tukey para comparação das médias dos tratamentos a nível de 5% de probabilidade. As plantas tratadas com ALA apresentaram maior estatura e número de folhas, além de uma maior produção de matéria fresca e seca tanto na parte aérea quanto nas raízes, em comparação com o grupo de controle. A aplicação de ALA também resultou em melhorias na fotossíntese, na concentração interna de carbono, na condutância estomática e na transpiração das folhas, impactando positivamente na eficiência fotossintética e nas trocas gasosas das plantas. Os resultados indicaram que a dosagem de 50 mg/L foi o mais efetivo dentro das variáveis analisadas. Podemos expor que o estudo evidencia o potencial do ácido 5-aminolevulínico como um agente promissor para impulsionar o crescimento e a eficiência das plantas de jambu, contribuindo para o avanço da agricultura e da pesquisa científica.

**Palavras-chave:** Trocas gasosas. Biometria. Biomassa.

## ABSTRACT

Jambu is a typical herb from the Amazon region, known for its culinary and medicinal properties. This work aims to analyze the growth and physiological responses of jambu plants (*Acmella oleracea* L.) stimulated by 5-aminolevulinic acid in production. In the experiment, 24 seedlings were selected (divided into three groups), on which 3 different analyzes were carried out. In the control treatment (T0) no dose of acid was applied. On the other hand, in the T50 treatment, ALA was applied in a proportion of 50 mg/L. In the treatment entitled T100, ALA was applied in a proportion of 100 mg/L. The data were subjected to analysis of variance using the F test, and when significant, the Tukey test was applied to compare treatment means at a 5% probability level. Plants treated with ALA showed greater height and number of leaves, in addition to a greater production of fresh and dry matter in both the aerial part and roots, compared to the control group. The application of ALA also resulted in improvements in photosynthesis, internal carbon concentration, stomatal conductance and leaf transpiration, positively impacting the photosynthetic efficiency and gas exchange of plants. The results indicated that the dosage of 50 mg/L was the most effective among the variables analyzed. We can state that the study highlights the potential of 5-aminolevulinic acid as a promising agent to boost the growth and efficiency of jambu plants, contributing to the advancement of agriculture and scientific research.

Keywords: Gas exchange. Biometry. Biomass.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Estrutura química do 5-aminolevulínico.....	16
Figura 2: Rota de formação metabólica do ácido 5-aminolevulínico.....	17
Figura 3 Localização da casa de vegetação, Laboratório de Análise de Sementes e do Laboratório de Estudos da Biodiversidade em Plantas Superiores. ....	21
Figura 4: Separação dos materiais impuros das sementes.....	21
Figura 5: Preenchimento das cédulas com substrato e plantio das sementes. ....	22
Figura 6: Monitoramento da germinação das sementes com cobertura de 50% com a rega feita uma vez ao dia. ....	22
Figura 7: Preparo do substrato com terra preta e cama de aviário na proporção de 3:1.....	23
Figura 8: Resultado da germinação das mudas. ....	23
Figura 9: Transplântio para os vasos definitivos das 50 mudas selecionadas. ....	23
Figura 10: Disposição, na bancada, das mudas selecionadas e etiquetadas aleatoriamente.....	24
Figura 11: Aplicação do ácido nas plantas de acordo com cada tratamento e suas dosagens..	25
Figura 12: Determinação dos valores de clorofilas a, b, e totais com o ClorofiLOG, análise de fotossíntese realizada com o IRGA, mensuração da massa fresca da raiz, massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea e massa seca da raiz com a utilização de balança analítica. .	26
Figura 13: Clorofila A, B e Total submetidos a diferentes concentrações de ácido 5-aminolevulínico. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). ....	28
Figura 14: Fotossíntese e Condutância submetidos a diferentes concentrações de ácido 5-aminolevulínico. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). ....	30
Figura 15: Transpiração e Concentração Interna de CO <sub>2</sub> (Ci) submetidos a diferentes concentrações de ácido 5-aminolevulínico. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). ....	32

Figura 16: Altura e Número de Folhas submetidos a diferentes concentrações de ácido 5-aminolevulínico. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). .....	34
Figura 17 Matéria Fresca da Parte Aérea (MFPA) e Matéria Fresca da Raiz (MFR) submetidos a diferentes concentrações de ácido 5-aminolevulínico. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). .....	35
Figura 18: Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA) e a Matéria Seca da Raiz (MSR) submetidos a diferentes concentrações de ácido 5-aminolevulínico. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). .....	37

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ALA – Ácido 5-aminolevulínico

Ci – Concentração Interna de Carbono

DIC – Delineamento Inteiramente Casualizado

DAS – Dia após o semeio

EBPS – Estudos da Biodiversidade em Plantas Superiores

ICA – Instituto de Ciências Agrárias

LABSEM – Laboratório de Análise de Sementes

MFPA – Matéria Fresca da Parte Aérea

MFR – Matéria Fresca da Raiz

MSPA – Matéria Seca da Parte Aérea

MSR – Matéria Seca da Raiz

UFRA – Universidade Federal Rural da Amazônia

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>15</b>
2.1 Descrição da espécie.....	15
2.2 O ácido 5-Aminolevulínico (ALA) .....	16
<b>3 OBJETIVOS .....</b>	<b>20</b>
3.1 Objetivo geral .....	20
3.2 Objetivos específicos.....	20
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>20</b>
4.1 Local do experimento .....	20
4.2 Beneficiamento das sementes e plantio .....	21
4.3 Preparação do substrato e transplântio para os vasos .....	22
4.4 Seleção das mudas para os tratamentos, identificação dos vasos e aplicação do ácido 5-aminolevulínico .....	24
4.5 Biometria, biomassa, pigmentos fotossintéticos e trocas gasosas .....	25
4.6 Delineamento experimental e análise estatística .....	26
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>28</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>39</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>40</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A história do jambu remonta às raízes da Amazônia, onde essa planta nativa carrega consigo a tradição cultural e o uso sustentável dos recursos naturais da região. A *Acmella oleracea* sp. (Linnaeus 1767), popularmente conhecida como jambu, é uma planta herbácea, perene que cresce em várias partes da Amazônia, incluindo o estado do Pará, no Brasil (Homma *et al.*, 2014). O jambu tem sido uma parte importante da cultura e da culinária indígena na região amazônica há séculos. Nos últimos anos, ele atraiu a atenção além das fronteiras da região amazônica, seu sabor e suas propriedades sensoriais únicas chamaram a atenção de chefs e entusiastas da culinária em todo o mundo, resultando em uma popularidade internacional (Lima, 2021).

No Pará, o jambu é predominantemente cultivado por agricultores familiares em municípios do interior do Estado, bem como por alguns produtores na região metropolitana de Belém. É comum observar o cultivo do jambu em áreas de pequena escala, frequentemente associado ao cultivo de outras hortaliças folhosas, como alface, cebolinha e coentro. A sua produção ainda enfrenta desafios significativos, notadamente relacionados à escassez de informações filotécnicas que possam promover sua eficácia no cultivo (Sampaio, 2017).

A bioeconomia da Amazônia é um campo vasto, abrangendo uma gama de cultivos que são de grande importância econômica para a região, como o Açaí (*E. oleracea*), Castanha-do-Brasil (*B. excelsa*), Cacau (*T. cacao*), os óleos essenciais e as plantas medicinais. O jambu não só considerado uma planta medicinal, mas também é realizada a extração de óleos essenciais das suas folhas, se enquadrando no panorama bioeconômico (Abramovay *et al.*, 2021). Nos últimos vinte anos, a economia paraense tem sido cada vez mais reconhecida pelo seu potencial de criação de valor e pela sua contribuição para o desenvolvimento sustentável, e a *A. oleracea* contribui com isso, apresentando notório interesse científico nas suas aplicações. Somente no site do *PubMed* são encontrados 76 postulados relacionados a aplicações na saúde e em tratamentos secundários e 13 estudos relacionados a importância do jambu para agricultura, seja na produção de pesticida ou em estímulo de metabólitos essenciais para o desenvolvimento do cultivo, evidenciando a importância dessa planta (PubMed, 2024).

A capacidade de alta plasticidade sob condições ambientais é uma característica da *A. oleracea*. No entanto, como todas as plantas, essa erva pode ser afetada por diversos estresses do ambiente e podem comprometer seu crescimento, desenvolvimento e produtividade (Homma *et al.*, 2014). Essa espécie apresenta uma preferência por temperaturas mais quentes, porém, temperaturas extremas podem causar estresse nessa planta. O calor excessivo pode levar

à queima das folhas e ao esgotamento hídrico, enquanto o frio extremo pode danificar os tecidos das plantas e retardar o crescimento. Ademais, em áreas sujeitas a inundações sazonais ou alagamentos, há o enfrentamento de estresses devido ao excesso de água no solo. A falta de oxigênio nas raízes, associada à inundação, pode levar ao apodrecimento das raízes e redução do crescimento das plantas (Gusmão; Gusmão, 2013).

O jambu é uma planta que requer luz solar adequada para o crescimento saudável. A falta de luz solar, seja devido à sombra de árvores ou estruturas próximas, pode resultar em crescimento fraco, folhas pálidas e menor produção de flores e folhas (Sampaio, 2017). Além disto, embora não seja um estresse ambiental direto, a infestação de pragas e o ataque de doenças podem causar danos significativos ao jambu. Pragas como ácaros, pulgões e besouros, bem como doenças fúngicas e bacterianas, podem comprometer a saúde das plantas e reduzir sua produtividade (Homma *et al.*, 2014).

A dominância pela *A. oleracea* é uma característica marcante dessa planta, isso porque os processos biológicos do jambu são expressivos na síntese de aminoácidos, proteínas e ácidos, configurando seu rápido crescimento. O 5-aminolevulínico (ALA) é um ácido intermediário na via biossintética que leva à formação de porfirinas nos organismos. Sendo um precursor essencial na síntese da clorofila, o pigmento responsável pela fotossíntese, com isso, estudos. Nos animais, incluindo os seres humanos, o ALA é um componente necessário na síntese da heme, que é um componente vital da hemoglobina e de outras proteínas associadas ao transporte de oxigênio (Rhaman *et al.*, 2021)

O ALA é utilizado em pesquisas relacionadas à biologia molecular para formas de imunoterapias (Jiang *et al.*, 2022). Também, estudos com objetivos de potencializar aplicações agrícolas com a utilização desse ácido vem crescendo nos últimos anos. Postulados recentes sugerem que a aplicação do ALA pode aumentar a resistência ao estresse ambiental e a eficiência fotossintética (Tan *et al.*, 2022).

O uso prático deste ácido na agricultura caminha em fase de pesquisas e desenvolvimentos, sua aplicação comercial pode variar dependendo das regulamentações locais e da disponibilidade de produtos formulados com o ALA (Tan *et al.*, 2022). Segundo Wu *et al.* (2018), sugere-se que a aplicação de 5-aminolevulínico nas plantas pode ter efeitos benéficos, estimulando o crescimento e a produção de clorofila.

No entanto, é importante notar que a eficácia e os efeitos específicos do ALA podem variar dependendo da planta, da concentração aplicada, do método de aplicação e das condições ambientais (Hotta *et al.*, 1997). Devido à sua natureza biológica e aos seus efeitos benéficos nas plantas, o ALA é considerado adequado para uso em sistemas de agricultura orgânica e

sustentável. Sua aplicação pode ajudar os agricultores a melhorar o desempenho e a resiliência das culturas sem comprometer os princípios de manejo ambientalmente (Rhaman *et al.*, 2021)

Tradicionalmente, a Amazônia é a região onde o jambu é cultivado e desempenha importância cultural (Homma *et al.*, 2011). Salienta-se que o comércio e aplicação generalizado desse ácido pode exigir mais estudos para entender completamente seus efeitos e desenvolver formulações e práticas de aplicação adequadas para maximizar seus benefícios nas plantas (Tan *et al.*, 2022). Portanto, é importante estudar o potencial do ácido 5-aminolevulínico na promoção do crescimento, melhoria da qualidade das culturas para que se tenha uma redução da dependência de insumos químicos na cultura de *A. oleracea*, contribuindo para uma agricultura mais produtiva, sustentável e resiliente às mudanças ambientais e climáticas.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Descrição da espécie

O jambu (*Acmella oleracea* L.), é uma hortaliça nativa da Amazônia, que pertence à família *Asteraceae*, também conhecido como “agrião-do-pará”, é amplamente cultivado no estado do Pará e bastante difundido, principalmente na gastronomia, compondo diversos pratos típicos do cotidiano e das festas regionais, onde os mais conhecidos são o tacacá, pato-no-tucupi (pratos de origem indígena) e a cachaça de jambu (Santos *et al.*, 2020).

O mesmo, apresenta uma grande diversidade de usos culinários, sendo utilizado não apenas em pratos tradicionais, mas também em diversas receitas contemporâneas que exploram sua singularidade sensorial. Suas folhas, flores e até mesmo seus talos podem ser incorporados em saladas, sopas, molhos e até mesmo em sobremesas, conferindo um sabor peculiar e uma leve sensação de dormência na boca, característica marcante do jambu (Cardoso; Garcia, 1997).

Além disso, também é utilizado na medicina popular como uma erva medicinal, pois a mesma possui propriedades terapêuticas e pode ser utilizada como chás e xaropes que tem indicações contra anemia, problemas hepáticos e das vias respiratórias, é uma cultivar rica em ferro, vitamina C, fibras e sais minerais (Abey Siri *et al.*, 2013). Além disso, ele é indicado para ações cicatrizantes, anestésica e afrodisíaca, essas indicações são originadas de uma substância conhecida como Espilantol, que fornece ao Jambu sua característica mais marcante, anestésica, a qual promove uma sensação de formigamento (França *et al.*, 2016).

A *Acmella oleracea*, é uma planta herbácea de pequeno porte, 20 a 30 cm de altura, com caule cilíndrico, carnoso, decumbente e ramificado. A inflorescência é em capítulo globoso terminal de coloração amarela e roxa, com flores hermafroditas (Poltronieri; Muller; Poltronieri, 2000). A flor é considerada como auto polinizadora ocorrendo quando o estilete cresce e ultrapassa as anteras e ao despontar no exterior os estigmas já se encontram cheios de pólen. Possui folhas longas e pecioladas de disposição oposta, ovadas e de ápice agudo. O fruto é um aquênio de tamanho reduzido, com pericarpo na cor cinza escuro, parcialmente envolvido por páleas membranosas (Gilbert; Favoreto, 2010).

Indica-se que o interesse do cultivo de *A. oleracea* sp. vem crescendo e sua cultura está ganhando expressivo destaque, expandindo-se para diversas regiões do Brasil. Esse aumento no interesse se deve, em grande parte, ao crescente reconhecimento dos benefícios gastronômicos e medicinais do jambu (Caldas, 2018). A demanda por ingredientes regionais e pela busca por uma culinária mais autêntica e diversificada tem impulsionado a popularidade

do jambu não apenas em áreas tradicionais de cultivo, como o Pará, mas também em outras partes do país. Além disso, o potencial econômico do cultivo do jambu tem despertado o interesse de agricultores e empreendedores (Homma *et al.*, 2014).

A crescente demanda por alimentos exóticos e a valorização da biodiversidade alimentar brasileira têm incentivado investimentos na produção e comercialização do jambu. No entanto, é importante ressaltar que o cultivo do jambu é bem característico de clima tropical e subtropical, o que limita sua produção em regiões com condições climáticas diferentes (Silva *et al.*, 2020). Com isso, esforços estão sendo feitos para adaptar técnicas de cultivo e promover a disseminação da planta em novas áreas, visando ampliar sua disponibilidade e contribuir para a diversificação da agricultura brasileira, programas de melhoramento genético vem contribuindo para o beneficiamento da agricultura no norte do Brasil (Souza *et al.*, 2012).

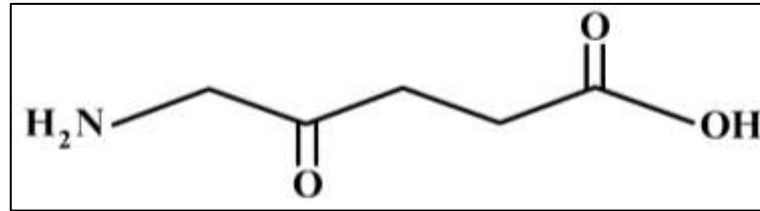
O interesse no cultivo do jambu reflete não apenas uma valorização crescente de ingredientes regionais e da cultura gastronômica local, mas também a busca por novas oportunidades econômicas e a promoção da diversidade agrícola no Brasil. De maneira geral, a espécie mostra-se um ótimo desenvolvimento vegetativo e um crescimento constante, principalmente em regiões Amazônicas com clima quente e úmido. O jambu pode ser propagado por sementes, método mais utilizado, onde elas podem ser obtidas de plantas que foram cultivadas em canteiros nos quais obtiveram um maior desenvolvimento (Singh *et al.*, 2011).

Para garantir a sanidade das sementes de *A. oleracea* se faz necessário que o produtor escolha plantas saudáveis para colher as mesmas, evitando a sua produção em épocas chuvosas, pois a umidade acaba as tornando vulneráveis à ação de microrganismos, levando a perdas consideráveis e apresentando baixa germinação, as sementes também podem ser adquiridas em casas agropecuárias, outro tipo de propagação seria a de estacas dos ramos (Homma *et al.*, 2011).

## 2.2 O ácido 5-Aminolevulínico (ALA)

O ácido 5-aminolevulínico (ALA) é um composto orgânico que desempenha um papel crucial na biossíntese de clorofila nas plantas, sua fórmula química é representada por  $C_5H_9NO_3$  e sua conformação estrutural está representada na figura 1. Ele é um precursor essencial na via de síntese de clorofila, que é responsável pela captura de energia luminosa durante a fotossíntese (Zhong *et al.*, 2023).

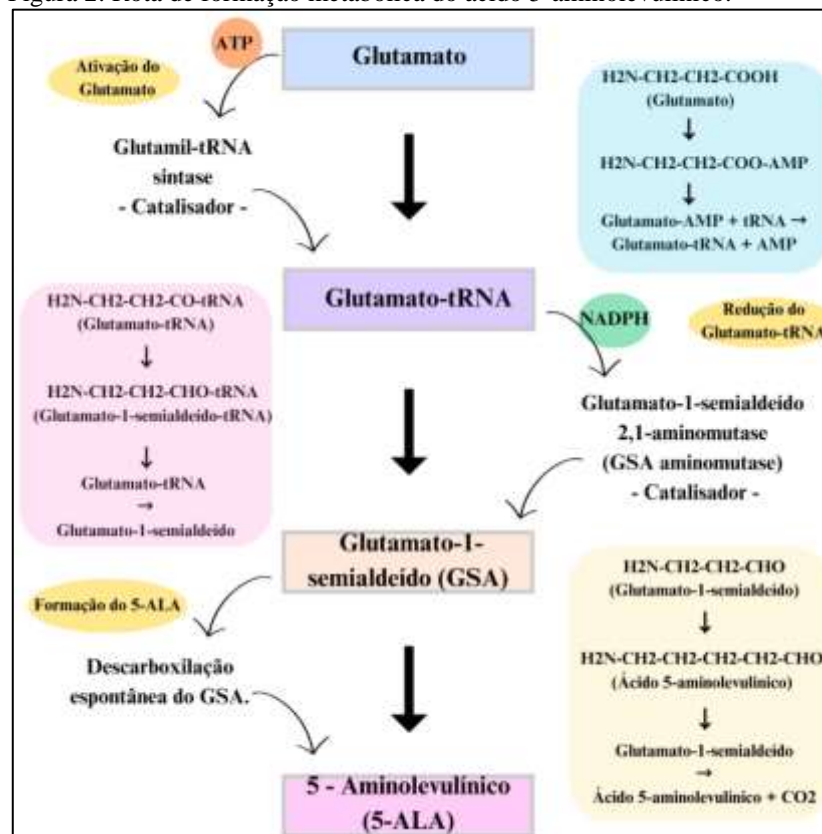
Figura 1: Estrutura química do 5-aminolevulínico.



Fonte: Própria, 2023.

A via metabólica do ALA em plantas é conhecida como a rota do ácido glutâmico. Esta via desempenha uma função vital na síntese de tetrapirróis, que incluem moléculas fundamentais como clorofilas, hemes e citocromos. O processo começa com a ativação do glutamato através da ligação a um grupo tRNA (RNA de transferência) específico, resultando na formação de glutamato-tRNA, numa reação catalisada pela enzima glutamyl-tRNA sintetase. Em seguida, o glutamato-tRNA é reduzido a glutamato-1-semialdeído (GSA) numa reação que requer NADPH, mediada pela enzima glutamato-1-semialdeído 2,1-aminomutase (GSA aminomutase). Por fim, o GSA é convertido em 5-ALA através de uma reação de descarboxilação espontânea, representada na figura 2 como parte crucial da via metabólica para a formação deste ácido (Buchanan *et al.*, 2015).

Figura 2: Rota de formação metabólica do ácido 5-aminolevulínico.



Fonte: Própria, 2024.

O ALA pode influenciar diretamente o crescimento das plantas, estimulando a divisão celular, o alongamento das células e a diferenciação tecidual. Isso pode resultar em um aumento

na produção de biomassa e na promoção do desenvolvimento vegetal, incluindo a formação de raízes mais fortes e um sistema radicular mais extenso, o que pode melhorar a absorção de nutrientes e água do solo (Jiang *et al.*, 2022). Ademais, o ALA desempenha um papel fundamental na regulação de várias vias metabólicas nas plantas, incluindo a fotossíntese, a respiração celular e a síntese de proteínas. Ao promover uma maior eficiência nessas vias, o ALA pode aumentar a produção de energia, a fixação de carbono e a síntese de compostos essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Khan; Prithiviraj; Smith, 2003).

Destarte, o ácido 5-aminolevulínico tem sido estudado por seu potencial em melhorar a resistência das plantas a uma variedade de estresses ambientais, como seca, salinidade, temperaturas extremas, patógenos e herbívoros. Ele pode induzir a produção de antioxidantes e outros compostos de defesa nas plantas, ajudando a mitigar os efeitos negativos do estresse e a aumentar a sua capacidade de sobrevivência e adaptação (Zhong *et al.*, 2023). Além disso, a aplicação de ALA pode resultar em melhorias significativas na qualidade de frutas e flores. Isso pode incluir um aumento na concentração de pigmentos, como clorofila, carotenoide e antocianinas, que afetam a cor e o valor nutricional dos produtos. Além disso, o ALA pode influenciar positivamente o teor de açúcares, ácidos orgânicos e compostos voláteis responsáveis pelo sabor e aroma das frutas e flores (Jiang *et al.*, 2022).

Ressalta-se que o ALA tem sido utilizado em diversas culturas agrícolas como uma estratégia para aumentar a produtividade e a qualidade das colheitas. Ele pode ser aplicado em diferentes estágios de crescimento das plantas, desde o plantio até a maturação, dependendo dos objetivos específicos da aplicação. Além disso, o ALA pode ser combinado com outros produtos agrícolas para potencializar os seus efeitos e proporcionar benefícios adicionais às plantas (Hotta *et al.*, 1997).

Não obstante, importa ressaltar que os efeitos do ácido 5-aminolevulínico podem variar dependendo da espécie vegetal, das condições ambientais e da dosagem aplicada. Portanto, é essencial realizar pesquisas adicionais e avaliações de campo para determinar as melhores práticas de utilização do ALA em diferentes sistemas de produção agrícola (Jiang *et al.*, 2022). Este ácido é encontrado naturalmente em uma variedade de organismos, incluindo plantas, animais e microorganismos. Ele é um intermediário chave na biossíntese de porfirinas, que são precursores de moléculas importantes como a clorofila em plantas e a hemoglobina em animais (Tanaka; Tanaka, 2007).

Neste sentido, o ALA pode ser sintetizado em animais e seres humanos, como parte da via biossintética do heme, que é um componente crítico da hemoglobina e de outras proteínas envolvidas no transporte de oxigênio - a síntese de ALA em animais ocorre no citosol e é um

processo regulado (Dailey; Meissner, 2013). Além do mais, também é produzido por uma variedade de microrganismos, incluindo bactérias, fungos e algas onde, em muitos casos, a produção de ALA por esses microrganismos está relacionada à sua capacidade de sintetizar porfirinas para a formação de pigmentos e cofatores enzimáticos (Kobayashi; Masuda, 2016).

A clorofila é o pigmento responsável por absorver a energia luminosa durante o processo de fotossíntese, convertendo-a em energia química que é utilizada para alimentar as reações bioquímicas que sustentam a vida das plantas. Dito isto, o ácido 5-aminolevulínico desempenha um papel fundamental na captação luminosa das plantas através da sua participação na biossíntese de clorofila (Murchie; Lawson, 2013).

Além disso, o ALA também pode influenciar indiretamente a captação luminosa ao promover um crescimento vegetal mais vigoroso e saudável. Plantas mais robustas tendem a ter uma maior área foliar e uma distribuição mais uniforme das folhas, o que pode aumentar a superfície disponível para a absorção de luz solar (Murchie; Lawson, 2013). É importante ressaltar que o efeito do ALA na captação luminosa das plantas pode variar dependendo da espécie vegetal, das condições ambientais e da concentração aplicada. Portanto, é fundamental realizar pesquisas adicionais para entender melhor os mecanismos pelos quais tal aminoácido influencia a captação de luz pelas plantas e para determinar as melhores práticas de utilização desse composto para otimizar a produção vegetal (Rhaman *et al.*, 2021).

O heme é uma molécula essencialmente encontrada em organismos animais e microbianos e nas plantas, o equivalente funcional ao heme é a fitocromobilina, que desempenha funções semelhantes em processos fisiológicos relacionados à percepção da luz, crescimento e desenvolvimento (Quail, 2002). A fitocromobilina é fundamental para a regulação de uma variedade de respostas de desenvolvimento das plantas, desde a germinação, alongação do caule, a abertura de estômatos e a formação de folhas (Franklin; Quail, 2010).

Sendo assim, destaca-se a relação do ALA na biossíntese de porfirinas, que são precursores essenciais para a produção de várias moléculas importantes (Jiang *et al.*, 2022). Portanto, esse composto é crucial para uma variedade de processos biológicos vitais em plantas, animais e microrganismos. À vista disso, o ALA pode ser produzido de várias maneiras, tanto através de processos sintéticos em laboratório, sendo utilizado em diversas aplicações industriais, médicas e agrícolas devido às suas propriedades biológicas únicas, quanto por meio de processos biológicos (Voet; Voet; Pratt, 2016).

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 Objetivo geral

- Avaliar o crescimento e as respostas fisiológicas em plantas de jambu (*Acmella oleracea*) sobre diferentes dosagens de ácido 5-aminolevulínico.

#### 3.2 Objetivos específicos

- Determinar a biometria (altura e número de folhas) e a biomassa (matéria fresca da parte aérea, matéria seca da parte aérea, matéria fresca da raiz, matéria seca da raiz) de plantas de jambu (*Acmella oleracea*) sob diferentes dosagens do ácido 5-aminolevulínico;
- Determinar as respostas fisiológicas da aplicação do ácido 5-aminolevulínico nas trocas gasosas (fotossíntese, condutância estomática, transpiração, concentração interna de carbono) e na clorofila A, B e total em plantas de jambu.

### 4 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 4.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido na casa de vegetação da Prof.<sup>a</sup> Selma Ohashi, localizada no Instituto de Ciências Agrárias (ICA), da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), campus Belém-PA (1°27'15.3"S 48°26'15.6"W), no período entre outubro/2023 e fevereiro/2024. O beneficiamento das sementes foi feito no Laboratório de Análise de Sementes (LABSEM) e as análises biométricas, de biomassa, e de trocas gasosas, realizadas no Laboratório de Estudos da Biodiversidade em Plantas Superiores (EBPS).

Figura 3 Localização da casa de vegetação, Laboratório de Análise de Sementes e do Laboratório de Estudos da Biodiversidade em Plantas Superiores.



Fonte: Google Maps, 2024.

## 4.2 Beneficiamento das sementes e plantio

As sementes de jambu da cultivar Nazaré (*Acmella oleracea*) foram dispostas e selecionadas para remoção das impurezas, visando auxiliar a qualidade da germinação. Após o beneficiamento, as sementes foram plantadas em uma sementeira de 128 células contendo o substrato “Tropstrato Hortaliças HT”, e foram colocadas 5 sementes em cada célula. Posteriormente foi feito o plantio das sementes, onde foram regadas uma vez ao dia e monitoradas na sementeira com cobertura 50% com um sombrite<sup>8</sup>, por um período de 9 dias após o semeio (DAS).

Figura 4: Separação dos materiais impuros das sementes.



Fonte: Própria, 2023.

Figura 5: Preenchimento das cédulas com substrato e plantio das sementes.



Fonte: Própria, 2023.

Figura 6: Monitoramento da germinação das sementes com cobertura de 50% com a rega feita uma vez ao dia.



Fonte: Própria, 2023.

#### 4.3 Preparação do substrato e transplântio para os vasos

Para a preparação do substrato, foi utilizado terra preta peneirada e cama de aviário na proporção de 3:1. Após a mistura, 50 vasos de polietileno com a capacidade de 3L foram preenchidos para a realização do experimento, logo após a preparação dos vasos com o substrato, as mudas foram transferidas da sementeira para os vasos definitivos. Foram feitas a seleção de 50 mudas, conforme o vigor, tamanho padrão e sem quaisquer visualizações de ataques de pragas e doenças. As mesmas foram diariamente irrigadas até atingir a capacidade de campo juntamente com a retirada de invasoras através da monda e o monitoramento de pragas e doenças.

Figura 7: Preparo do substrato com terra preta e cama de aviário na proporção de 3:1.



Fonte: Própria, 2023.

Figura 8: Resultado da germinação das mudas.



Fonte: Própria, 2023.

Figura 9: Transplântio para os vasos definitivos das 50 mudas selecionadas.



Fonte: Própria, 2023.

#### 4.4 Seleção das mudas para os tratamentos, identificação dos vasos e aplicação do ácido 5-aminolevulínico

Foram selecionadas 24 mudas sadias e com o mesmo padrão biométrico (altura e número de folhas) do total de 50. Após a seleção, os vasos já contendo as plantas selecionadas foram dispostos na bancada, colocados aleatoriamente e etiquetados.

Após 33 dias após o semeio, iniciou-se o tratamento das 24 plantas, onde foram divididos em 3 tratamentos: 8 plantas controles sem aplicação, 8 plantas com aplicação de 50 mg/L do ALA e 8 plantas com concentração de 100 mg/L do ALA. Foram feitos 4 tempos de aplicação a cada 3 dias, sendo assim, a primeira aplicação ocorreu no dia 09/01, a segunda no dia 12/01, a terceira no dia 15/01 e a quarta no dia 18/01. Após 11 dias da última aplicação, as plantas foram retiradas para as análises de crescimento e trocas gasosas.

Todas as aplicações aconteceram no final da tarde onde a temperatura se encontrava mais amena com intuito de promover uma maior efetividade da aplicação do ALA. Para as aplicações, foi utilizada a técnica de pulverização com um borrifador, onde concentramos a sua direção na área folhear das plantas para uma maior absorção, e a todo momento evitando contato com as demais plantas.

Figura 10: Disposição, na bancada, das mudas selecionadas e etiquetadas aleatoriamente.



Fonte: Própria, 2023.

Figura 11: Aplicação do ácido nas plantas de acordo com cada tratamento e suas dosagens.



Fonte: Própria, 2023.

#### 4.5 Biometria, biomassa, pigmentos fotossintéticos e trocas gasosas

Após o término do experimento, foi determinado a altura da planta com medição da base até o ápice caulinar e a contagem do número de folhas (Benincasa, 2003).

Os pigmentos fotossintéticos (clorofila a, b e total) foram determinados na folha do terço médio das plantas em cada unidade experimental, com auxílio de um clorofilômetro digital ClorofiLOG modelo CFL 2060, marca Falker, no período da manhã entre 08:00 e 9:00 h, os resultados obtidos no equipamento são expressos como Índice Falker (IF).

As medidas de trocas gasosas foram realizadas um dia antes da retirada do experimento no intervalo entre 08:00 e 10:00 h, período que favorece taxas de fotossíntese máximas e quase constantes. Uma folha completamente expandida do terço médio foi selecionada em todas as unidades experimentais de cada tratamento, usando um tratamento por vez. Para tanto, foi utilizado um medidor de fotossíntese, modelo LI- 6400XT da LI-COR, Inc. Lincoln, acoplado com câmara foliar 2 x 3 cm (Li6400-40) em concentração de CO<sub>2</sub> de 400  $\mu\text{mol}^{-1}$  com fonte de luz artificial de fluxo de 1000  $\mu\text{mol}$  fótons  $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Foi quantificado a taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A) ( $\mu\text{mol}$  CO<sub>2</sub>  $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), condutância estomática (gs) ( $\text{mol}$  H<sub>2</sub>O  $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), transpiração (E) ( $\text{mmol}$  H<sub>2</sub>O  $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), concentração de CO<sub>2</sub> intercelular (Ci) ( $\mu\text{mol}$  CO<sub>2</sub> molar<sup>-1</sup>), razão entre carbono

Para as determinações das matérias frescas e secas as plantas de cada tratamentos foram levadas ao Laboratório de Estudos da Biodiversidade em Plantas Superiores (EBPS),

localizado na UFRA, onde foram separadas em raiz e parte aérea. Para obtenção da matéria fresca o material após retirado do vaso foi levado diretamente para balança analítica e pesado. Já na obtenção da matéria seca, o material foi colocado em sacos de papel de massa conhecida para posterior secagem em estufa de ventilação forçada à 65° C até a obtenção da massa constante. Cada parte da planta foi pesada em uma balança analítica para determinação da: matéria fresca da parte aérea (MFPA), matéria fresca da raiz (MFR), matéria seca da raiz (MSR) e a matéria seca da parte aérea (MSPA).

Figura 12: Determinação dos valores de clorofilas a, b, e totais com o ClorofiLOG, análise de fotossíntese realizada com o IRGA, mensuração da massa fresca da raiz, massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea e massa seca da raiz com a utilização de balança analítica.



Fonte: Própria, 2024.

#### 4.6 Delineamento experimental e análise estatística

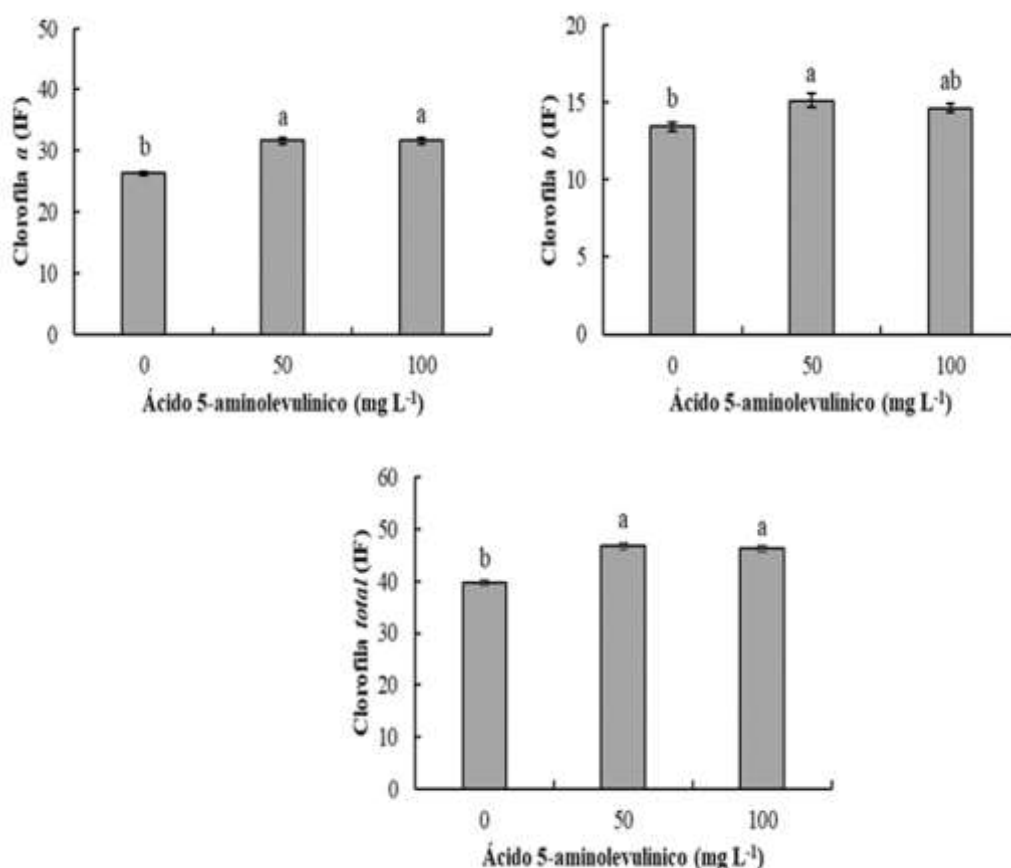
O experimento foi do tipo delineamento inteiramente casualizado (DIC), com duas concentrações de ácido 5-aminolevulínico (50 e 100 mg/L) de oito repetições, totalizando 24 unidades experimentais, sendo que cada unidade experimental consistia em uma planta por

vaso. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e quando significativos, aplicou-se o teste de Tukey para comparação das médias dos tratamentos a nível de 5% de probabilidade. Os dados coletados foram analisados no programa estatístico AgroEstat (Barbosa, Maldonado Junior, 2014).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A aplicação do ácido 5-aminolevulínico (ALA) em plantas de jambu apresentou efeitos significativos na concentração de clorofila e em parâmetros fisiológicos relevantes. Ao utilizar o método de Tukey para análise estatística dos resultados obtidos, identificamos diferenças estatisticamente significativas entre os grupos experimentais em relação à concentração de clorofila A, clorofila B e clorofila total. Essa abordagem estatística permitiu uma avaliação robusta das diferenças entre os grupos, fornecendo informações valiosas sobre os efeitos do ALA nas plantas de jambu.

Figura 13: Clorofila A, B e Total submetidos a diferentes concentrações de ácido 5-aminolevulínico. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).



Fonte: Própria, 2024.

Com base nos resultados do experimento com o jambu, observamos que a aplicação do ácido em diferentes doses teve impactos significativos no aumento de clorofila nas plantas. Em relação à clorofila A, observou-se na figura 13 que a aplicação de 50 mg/L de ALA resultou em um aumento de 20,45% na produção dessa clorofila em comparação com as plantas não tratadas. Por sua vez, a aplicação de 100 mg/L de ALA resultou em um aumento de 20,25% na

produção de clorofila A em relação ao grupo de controle. No que diz respeito à clorofila B, observou-se que a aplicação de 50 mg/L de ALA resultou em um aumento de 12,66% na produção dessa clorofila, enquanto a aplicação de 100 mg/L de ALA resultou em um aumento de 8,91%.

Quanto à clorofila total, os resultados mostraram um aumento de 17,81% na produção com a aplicação de 50 mg/L de ALA e um aumento de 16,42% com a aplicação de 100 mg/L de ALA, em comparação com o grupo de controle. Esses resultados indicam que o ALA teve um efeito estimulante na produção de clorofila nas plantas de jambu, sendo que doses mais baixas mostraram uma eficácia comparável ou até mesmo superior em alguns casos em relação às doses mais altas.

Os resultados indicam um aumento consistente na concentração de clorofila nas folhas das plantas de jambu com a aplicação do ácido. Os grupos que receberam as doses de ácido (50 e 100 mg/L) apresentaram valores médios significativamente superior em comparação com o grupo de controle que não recebeu ácido. Os resultados também indicam que houve diferenças estatisticamente significativas na concentração de clorofila A, clorofila B e clorofila total entre os grupos que receberam diferentes doses de ácido e o grupo de controle que não recebeu.

Os gráficos ilustrados na figura 13 mostram que os grupos que receberam as doses de ácido (50 e 100 mg/L), identificados pela letra "a", apresentaram valores médios superiores em comparação com o grupo de controle que não recebeu ácido, identificado pela letra "b". Isso sugere que a aplicação do ácido teve um impacto positivo na concentração de clorofila nas folhas das plantas de jambu.

Infer-se que o grupo que recebeu 100 mg/L de ácido, identificado pela letra "ab", não apresentou diferença significativa em relação ao grupo que recebeu 50 mg/L de ácido. Isso sugere que pode haver uma saturação dos efeitos do ácido em doses mais elevadas, onde doses adicionais não resultam em aumentos adicionais na concentração de clorofila.

Com relação aos efeitos da concentração de clorofila e eficiência fotossintética nas plantas de jambu, ao examinar os gráficos da figura 13 que representam a concentração de clorofila A, clorofila B e clorofila total nos grupos tratados com diferentes doses de ALA, observamos padrões distintos que fornecem informações valiosas sobre a resposta fisiológica das plantas ao tratamento.

Nota-se que os grupos tratados com doses de 100 e 50 mg/L de ALA apresentaram uma tendência de aumento na concentração de clorofila. Especificamente, tanto a clorofila A, quanto a clorofila B e a clorofila total mostraram aumentos significativos nos grupos tratados com ALA em relação ao grupo de controle, conforme evidenciado nos gráficos

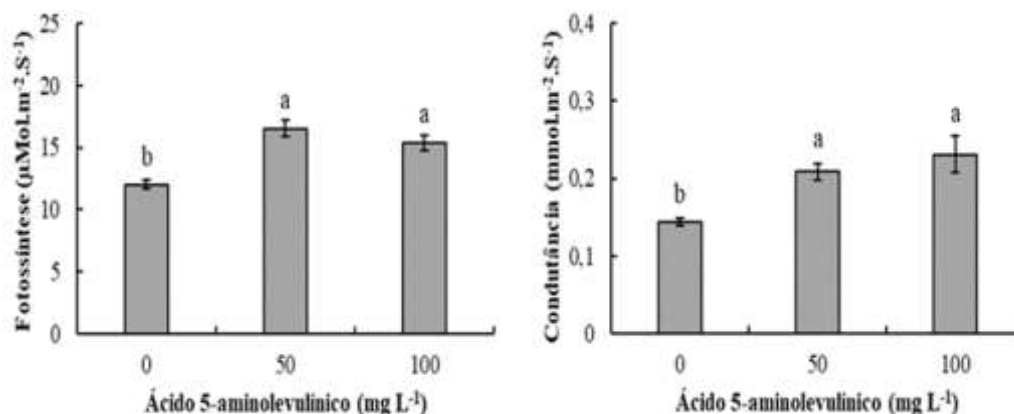
correspondentes. Segundo Wu *et al.* (2018) o aumento na concentração de clorofila sugere uma maior capacidade das plantas para realizar a fotossíntese, o que resulta em um aumento na produção de biomassa e crescimento vegetal.

Além disso, ao correlacionar os resultados da concentração de clorofila com outros parâmetros fisiológicos, como taxa de fotossíntese e biomassa, podemos inferir uma relação direta entre o aumento da clorofila e uma maior eficiência fotossintética (Tan *et al.*, 2022). Este padrão é especialmente evidente nos grupos tratados com doses mais elevadas de ALA (100 mg/L), onde observamos os maiores aumentos na concentração de clorofila e, conseqüentemente, uma resposta fisiológica mais robusta das plantas.

Isto sugere que a aplicação do ácido 5-aminolevulínico estimulou a produção de clorofila e melhorou a eficiência fotossintética das plantas de jambu. Esse aumento na capacidade fotossintética teve importantes implicações para o crescimento e desenvolvimento das plantas, potencialmente resultando em maiores rendimentos e qualidade delas (Wu *et al.*, 2018). No entanto, é importante ressaltar que mais estudos são necessários para compreender completamente os mecanismos subjacentes e otimizar as práticas de aplicação de ALA na agricultura.

Com relação aos resultados referentes à fotossíntese e condutância estomática, os gráficos abaixo apresentam as seguintes análises:

Figura 14: Fotossíntese e Condutância submetidos a diferentes concentrações de ácido 5-aminolevulínico. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).



Fonte: Própria, 2024.

Com base nos dados apresentados sobre a fotossíntese e a condutância nas plantas de jambu após a aplicação do ácido 5-aminolevulínico (ALA), podemos destacar os seguintes pontos importantes. Em relação à fotossíntese, verificou-se na figura 14 que a aplicação de 50 mg/L de ALA resultou em um aumento de 37,69% na capacidade fotossintética das plantas em

comparação com as plantas não tratadas. Por sua vez, a aplicação de 100 mg/L de ALA resultou em um aumento de 27,80% na fotossíntese em relação ao grupo de controle.

Quanto à condutância, observou-se ainda na figura 14 que a aplicação de 50 mg/L de ALA resultou em um aumento de 44,88% na condutância das plantas em comparação com as plantas não tratadas. Já a aplicação de 100 mg/L de ALA resultou em um aumento ainda mais significativo, com 60,55% a mais de condutância em relação ao grupo de controle.

Ambos os gráficos (figura 14) mostram que os grupos que receberam as doses de ácido (50 e 100 mg/L), identificados pela letra "a", apresentaram valores médios superiores de fotossíntese e condutância em comparação com o grupo de controle que não recebeu ácido, identificado pela letra "b". Isso sugere que a aplicação do ácido teve um impacto positivo na eficiência fotossintética e na capacidade de troca gasosa das folhas das plantas de jambu.

Observa-se que não houve uma diferença significativa na fotossíntese e condutância entre os grupos que receberam 50 e 100 mg/L de ácido, indicando que ambas as doses podem ter efeitos semelhantes. Isso sugere que pode haver uma faixa de dosagem na qual os efeitos do ácido são otimizados, e doses mais elevadas podem não resultar em melhorias adicionais na fotossíntese e condutância das folhas.

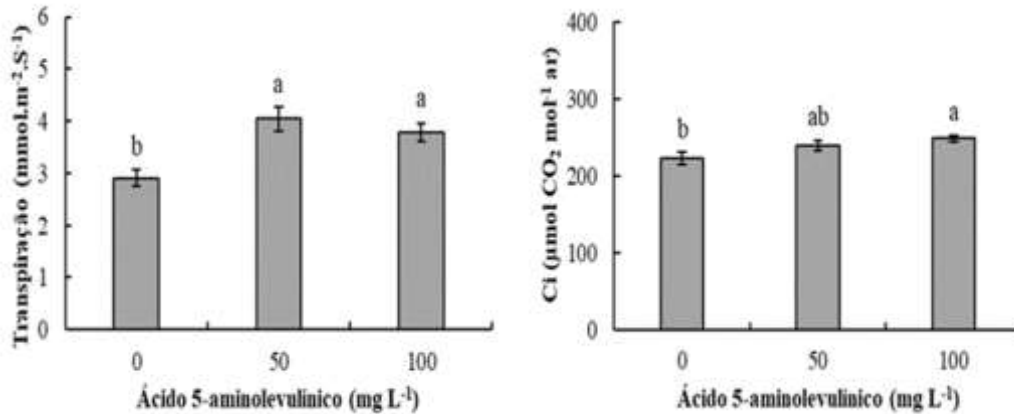
Com relação à fotossíntese e condutância estomática, podemos inferir várias informações, pois houve diferenças significativas na eficiência fotossintética entre os grupos com diferentes aplicações de ALA (50 e 100 mg/L), como observado na figura 14. Verificou-se um aumento na taxa de fotossíntese nos grupos tratados com ALA em comparação com o grupo de controle, ou seja, o ácido estimulou a fotossíntese e, conseqüentemente, a produção de carboidratos nas plantas.

A condutância estomática está relacionada à abertura dos estômatos que controla a troca gasosa das plantas com o ambiente. Uma maior condutância estomática indica uma abertura mais eficiente dos estômatos, permitindo uma maior entrada de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) para a fotossíntese e uma maior saída de oxigênio ( $\text{O}_2$ ) e vapor d'água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) (Pacheco; Lazzarini; Alvarenga, 2021). Isso resultou em uma maior taxa de fotossíntese e transpiração nas plantas que foram tratadas com ALA.

Uma correlação positiva entre a eficiência fotossintética e o crescimento das plantas sugere-nos que o aumento na fotossíntese pode ter contribuído para o aumento no crescimento vegetal observado nos grupos tratados com ALA (Tanaka; Tanaka, 2007).

Os gráficos abaixo apresentam resultados relacionados à transpiração e concentração interna de carbono ( $\text{C}_i$ ).

Figura 15: Transpiração e Concentração Interna de CO<sub>2</sub> (Ci) submetidos a diferentes concentrações de ácido 5-aminolevulínico. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).



Fonte: Própria, 2024.

Com base nos dados coletados sobre a transpiração e a concentração interna de carbono (Ci) nas plantas de jambu após a aplicação do ácido (ALA), podemos fazer algumas observações. Em relação à transpiração, na figura 15 observou-se que a aplicação de 50 mg/L de ALA resultou em um aumento de 39,27% na taxa de transpiração das plantas. Por outro lado, a aplicação de 100 mg/L de ALA resultou em um aumento de 30,23% na taxa de transpiração em relação ao grupo de controle.

Quanto à concentração interna de carbono (Ci), ainda na figura 15 verificou-se que a aplicação de 50 mg/L de ALA resultou em um aumento de 7,24% na concentração de Ci nas plantas. Por sua vez, a aplicação de 100 mg/L de ALA resultou em um aumento ainda mais significativo, com 11,28% a mais de Ci em relação ao grupo de controle.

Essas porcentagens indicam que o ALA teve um efeito estimulante tanto na transpiração quanto na concentração interna de carbono nas plantas de jambu. O aumento na transpiração pode ser interpretado como uma resposta fisiológica das plantas à aplicação do ALA, possivelmente devido a uma maior abertura dos estômatos e aumento da taxa de evaporação da água. Quanto ao aumento na concentração interna de carbono, isso sugere uma maior eficiência na assimilação de carbono pelas plantas, o que pode contribuir para o crescimento e desenvolvimento saudáveis das mesmas.

Os resultados apresentados nos gráficos indicam que houve diferenças estatisticamente significativas na transpiração entre os grupos que receberam diferentes doses de ácido e o grupo de controle que não recebeu. Ambos os gráficos na figura 15 mostram que os grupos que receberam as doses de ácido (50 e 100 mg/L), identificados pela letra "a", apresentaram valores médios superiores de transpiração em comparação com o grupo de

controle que não recebeu ácido, identificado pela letra "b". Isso sugere que a aplicação do ácido teve um impacto positivo na taxa de transpiração das folhas das plantas de jambu.

Constata-se que o grupo que recebeu 100 mg/L de ácido apresentou valores estatisticamente mais expressivos na Ci em comparação com o grupo de controle, enquanto o grupo que recebeu 50 mg/L não apresentou diferença significativa em relação aos outros grupos. Isso sugere que a dose mais elevada do ácido pode otimizar os efeitos na concentração interna de carbono, resultando em um possível aumento na eficiência fotossintética.

Os resultados sugerem que a aplicação do ácido pode ter influenciado tanto a taxa de transpiração quanto a concentração interna de carbono das folhas das plantas de jambu, indicando uma possível regulação positiva da atividade estomática e fotossintética.

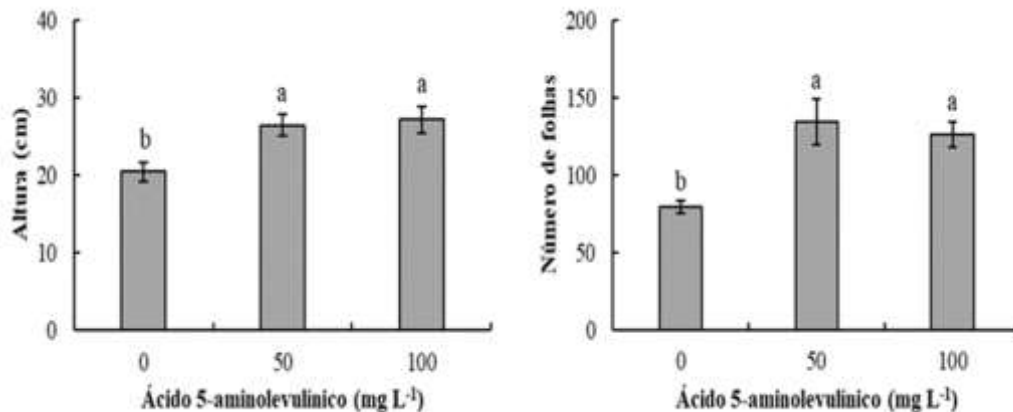
Analisando os resultados da transpiração e da concentração interna de carbono (Ci) em relação à aplicação do ALA, com base nos resultados da figura 15, pode-se observar que houve variações significativas na taxa de transpiração entre os grupos tratados com diferentes doses de ALA (100 e 50 mg/L) e o grupo de controle. Um aumento na transpiração nos grupos tratados com ALA indicou uma resposta fisiológica positiva à aplicação do ácido, possivelmente relacionada a uma maior abertura estomática e atividade metabólica.

Ao analisar os resultados da Ci, é possível avaliar que houve diferenças significativas na disponibilidade de CO<sub>2</sub> entre os grupos tratados com doses de 100 e 50 mg/L de ALA e o grupo de controle. Um aumento na Ci nos grupos tratados com ALA indicou uma maior absorção de CO<sub>2</sub> pelas plantas, o que levou a uma maior taxa de fotossíntese e crescimento vegetal.

Pesquisas realizadas por Tanaka; Tanaka, (2007) nos levam a inferir que os resultados indicaram um aumento na transpiração e na Ci nos grupos tratados com ALA, isso indica que o ácido estimulou a atividade metabólica e a eficiência fotossintética das plantas, resultando em um melhor desempenho fisiológico e crescimento vegetal.

Passa-se a apresentação dos resultados estatísticos da altura (cm) das plantas e do número de folhas, conforme se verifica na figura abaixo:

Figura 16: Altura e Número de Folhas submetidos a diferentes concentrações de ácido 5-aminolevulínico. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).



Fonte: Própria, 2024.

Com base nos dados fornecidos sobre a altura e o número de folhas das plantas de jambu após a aplicação do ácido 5-aminolevulínico (ALA). Os dados sobre a altura das plantas de jambu após a aplicação do ácido 5-aminolevulínico (ALA) revelam um aumento significativo. A figura 16 evidencia que com a aplicação de 50 mg/L de ALA, as plantas apresentaram um incremento de aproximadamente um terço (29,45%) em sua altura em relação ao grupo não tratado. Esse efeito foi ainda mais pronunciado com a aplicação de 100 mg/L de ALA, resultando em um aumento de cerca de um terço e um quarto (32,85%).

No que diz respeito ao número de folhas, observou-se também na figura 16 um impacto significativo com a aplicação de ALA. Com 50 mg/L de ALA, as plantas apresentaram um aumento de 69,13% no número de folhas em comparação com o grupo não tratado. Embora ligeiramente menor, a aplicação de 100 mg/L de ALA ainda resultou em um aumento substancial de 59,21% no número de folhas em relação ao grupo controle.

Na primeira coluna dos gráficos identificados pela letra "b" e com um valor mais baixo no gráfico, representa o grupo de controle que não recebeu a aplicação do ácido. A altura das plantas desse grupo foi menor em comparação com os grupos que receberam as doses de ácido. Nos grupos que receberam 50 e 100 mg/L de ALA, identificados pela letra "a" e com valores superiores ao grupo b no gráfico, representam os grupos que receberam diferentes doses de ácido. A altura das plantas e o número de folhas nesses grupos foram superiores em relação ao grupo de controle que não recebeu aplicação do ácido, indicando que o ALA teve um impacto positivo no crescimento das plantas de jambu.

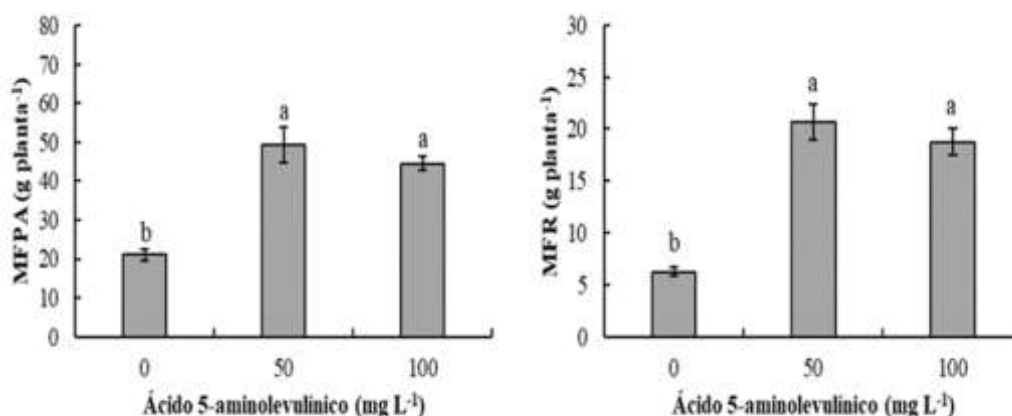
A diferença nas letras identificadoras nos grupos sugere que houve uma diferença estatisticamente significativa entre os grupos que receberam as doses de ácido 5-aminolevulínico e o grupo de controle que não recebeu. No entanto, como ambos os grupos 50

e 100 mg/L foram identificados com a mesma letra "a", não parece haver uma diferença estatisticamente significativa entre esses dois grupos em termos de altura e número de folhas das plantas de jambu.

Os resultados da aplicação do ácido 5-aminolevulínico na altura e na números de folhas das plantas de jambu (figura 16) indicaram um aumento significativo em ambos os parâmetros (50 e 100 mg/L) em relação ao grupo de controle que não recebeu o ácido. Esse aumento na altura e no número de folhas é atribuído ao ALA, que também atua como um regulador do crescimento vegetal, influenciando a síntese e o transporte de hormônios vegetais, como auxinas e citocininas. Esses hormônios desempenham um papel crucial no alongamento e na divisão celular, que são processos fundamentais para o crescimento e o desenvolvimento das plantas (Jiang *et al.*, 2022). Assim, pelos resultados apresentados, notou-se um aumento na absorção de nutrientes pelas raízes das plantas, o que contribuiu para o crescimento vegetativo e a produção de novas folhas.

Os gráficos abaixo apresentam resultados referentes à matéria fresca da parte aérea (MFPA) e matéria fresca da raiz (MFR).

Figura 17 Matéria Fresca da Parte Aérea (MFPA) e Matéria Fresca da Raiz (MFR) submetidos a diferentes concentrações de ácido 5-aminolevulínico. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).



Fonte: Própria, 2024.

Com base nos dados apresentados relativos à massa fresca da parte aérea (MFPA) e da raiz (MFR) das plantas de jambu após a aplicação do ácido 5-aminolevulínico (ALA), pode-se observar um incremento substancial nessas variáveis em resposta ao tratamento com ALA. Para a MFPA, a figura 17 mostra que a aplicação de 50 mg/L de ALA resultou em um aumento de 134,19% em relação ao grupo controle não tratado, enquanto a aplicação de 100 mg de ALA levou a um aumento de 111,77% na MFPA em relação ao mesmo grupo de controle.

Em relação à MFR, também na figura 17 verificou-se um aumento ainda mais expressivo. A aplicação de 50 mg/L de ALA resultou em um incremento de 232,62% em relação ao grupo controle, enquanto a aplicação de 100 mg/L de ALA resultou em um aumento de 201,65% na MFR em comparação com o grupo não tratado.

Esses resultados indicam claramente que o tratamento com ALA desempenhou um papel significativo no aumento da biomassa tanto da parte aérea quanto das raízes das plantas de jambu. Tal evidência sugere a potencial influência do ALA no estímulo ao crescimento vegetativo e no aprimoramento da capacidade de absorção de nutrientes pelas raízes das plantas, o que pode ser crucial para otimizar a produtividade e a robustez das culturas.

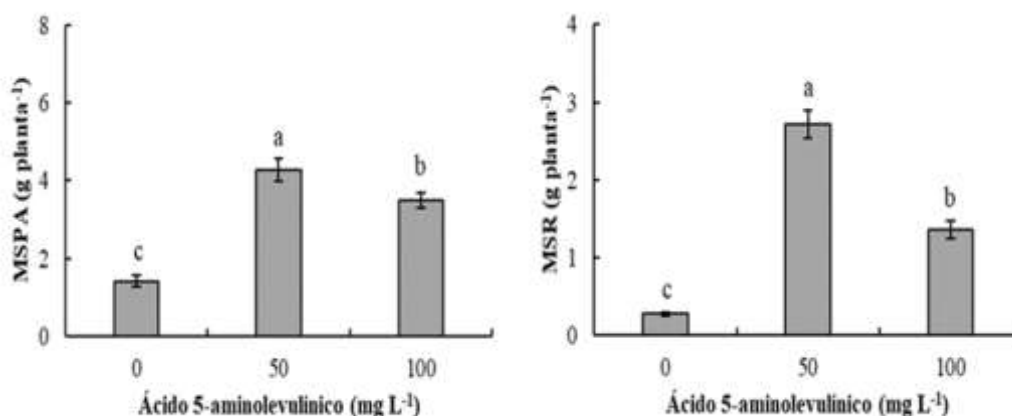
Ambos os gráficos (figura 17) mostram que os grupos que receberam as doses de ácido (50 e 100 mg/L), identificados pela letra "a", apresentaram valores médios superiores de MFPA e MFR em comparação com o grupo de controle que não recebeu ácido, identificado pela letra "b". Isso sugere que a aplicação do ácido teve um impacto positivo no crescimento das plantas, resultando em maior produção de matéria fresca tanto na parte aérea quanto na raiz. Essa conclusão é suportada pelas letras atribuídas aos grupos, onde grupos com letras diferentes indicam diferenças significativas entre as médias.

Observa-se uma tendência de aumento na MFPA e MFR com o aumento da dose do ácido. O grupo que recebeu a dose menos elevada de ALA (50 mg/L) apresentou valores mais altos de MFPA e MFR em comparação com o grupo que recebeu a dose mais alta do ácido (100 mg/L). Isso sugere uma possível relação inversa de dose-resposta, onde doses menos elevadas do ácido podem levar a um aumento proporcionalmente maior na produção de matéria fresca das plantas.

Com relação a matéria fresca da parte aérea (MFPA) e a matéria fresca da raiz (MFR) das plantas de jambu, evidenciou-se nos resultados da figura 17 um aumento significativo nas métricas quando aplicado 50 e 100 mg/L de ALA em relação ao grupo de controle que não recebeu o ácido. Esse aumento na matéria fresca pode ser explicado por vários fatores. Ao aumentar a eficiência fotossintética das plantas, o ácido promoveu a produção de biomassa tanto na parte aérea quanto nas raízes, resultando em um aumento na matéria fresca e ao estimular o crescimento das raízes e o desenvolvimento da parte aérea das plantas, o que contribuiu para o aumento na matéria fresca (Jiang *et al.*, 2022).

Sobre a matéria seca da parte aérea (MSPA) e a matéria seca da raiz (MSR), os gráficos abaixo apresentam os seguintes resultados:

Figura 18: Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA) e a Matéria Seca da Raiz (MSR) submetidos a diferentes concentrações de ácido 5-aminolevulínico. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).



Fonte: Própria, 2024.

Com base nos dados fornecidos sobre a resposta das plantas de jambu à aplicação do ácido 5-aminolevulínico (ALA) em relação à massa seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR), destacam-se alguns pontos. Observou-se na figura 18 um aumento significativo na MSPA em resposta ao tratamento com ALA. A aplicação de 50 mg/L de ALA resultou em um incremento substancial de 202,25% em relação ao grupo controle não tratado, enquanto a aplicação de 100 mg/L de ALA proporcionou um aumento de 146,60% na MSPA em relação ao mesmo grupo de controle.

Quanto à MSR, os resultados foram ainda mais expressivos, como demonstrado na figura 18. A aplicação de 50 mg/L de ALA resultou em um aumento marcante de 881,90% em relação ao grupo controle, enquanto a aplicação de 100 mg/L de ALA apresentou um aumento notável de 392,76% na MSR em comparação com o grupo de controle.

Esses resultados sugerem que o ALA desempenhou um papel significativo no aumento tanto da parte aérea quanto das raízes das plantas de jambu. Tal evidência aponta potencialidades sobre a promoção do crescimento vegetativo e uma possível melhoria na absorção de nutrientes pelas raízes das plantas tratadas com ALA (Teixeira, 2023). Essas descobertas têm implicações importantes para o desenvolvimento e a produtividade das culturas de jambu.

Os resultados indicam que houve diferenças estatisticamente significativas na MSPA e MSR entre os grupos que receberam diferentes doses de ácido e o grupo de controle que não recebeu. Nos dois gráficos (figura 18), observamos que os efeitos do ácido na MSPA e MSR foram variáveis dependendo da dose aplicada. Enquanto o grupo que recebeu 50 mg/L de ácido, identificado pela letra "a", apresentou valores maiores de MSPA e MSR em comparação com

o grupo de controle identificado pela letra "c", o grupo que recebeu 100 mg/L de ácido, identificado pela letra "b", apresentou resultados inferiores ou semelhantes em comparação com o grupo de controle.

Ao contrário da tendência observada nos gráficos anteriores, não parece haver uma relação linear entre a dose de ácido e a produção de matéria seca da parte aérea e da raiz das plantas. Em vez disso, os resultados indicam que pode haver um ponto de saturação ou limite acima do qual doses mais elevadas de ácido não resultam em aumentos adicionais na produção de matéria seca.

A análise dos resultados da aplicação do ALA na matéria seca da parte aérea (MSPA) e na matéria seca da raiz (MSR) das plantas de jambu, demonstrado na figura 18, revelou importantes dados sobre os efeitos desse ácido. As plantas responderam de maneira diferente à aplicação do ALA em relação à produção de matéria seca na parte aérea e nas raízes, essa disparidade sugere diferentes mecanismos de ação do ácido nessas variáveis da planta.

Houve um aumento significativo na MSPA e na MSR com a aplicação do ALA na dose de 50 mg/L, isso indica uma redistribuição da biomassa entre a parte aérea e as raízes das plantas, essa redistribuição teve implicações importantes para o crescimento, a saúde e a adaptação das plantas. A queda nos valores de matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca da raiz (MSR) no grupo que recebeu 100 mg/L de ácido sugere que a dose mais elevada pode ter levado a efeitos negativos nas plantas, como saturação ou até mesmo toxicidade. Isso é indicado pela redução ou ausência de diferença significativa entre os grupos de 100 mg/L de ácido e o grupo de controle (Tan *et al.*, 2022).

Podemos inferir que o grupo que recebeu 50 mg/L de ALA teve o melhor resultado em termos estatísticos quando comparado com os demais grupos. Entretanto, entre o grupo que não recebeu o ácido e os outros dois grupos, ficou evidente que o ALA apresentou diferenças significativas na produção do jambu em todos os aspectos. Realizando uma breve comparação entre os dois grupos que receberam a aplicação do ácido, embora o grupo que recebeu 50 mg/L tenha apresentado médias percentuais superiores ao grupo que recebeu 100 mg/L, segundo o método de Tukey, na maioria das variáveis, não há uma diferença estatística significativa.

Isso nos leva a inferir que ao visar a melhor utilização do ácido, o experimento indicou que 50 mg/L foi o mais efetivo, uma vez que, por não ter uma diferença estatística expressiva em relação às aplicações mais concentradas. Assim, utilizando-se doses menores e mais controladas, além de haver melhores resultados, a aplicação de 50 mg/L ainda poderá ser utilizada mais vezes.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após uma análise detalhada dos resultados obtidos neste experimento, é possível destacar diversos aspectos que contribuem para uma compreensão mais abrangente dos efeitos da aplicação do ácido 5-aminolevulínico (ALA) no crescimento e na fisiologia das plantas de jambu. Os dados estatísticos revelaram que a administração de doses de ALA resultou em um aumento significativo na produtividade das plantas de jambu e teve uma resposta positiva em todas as variáveis analisadas. Cabe salientar que, estatisticamente, a aplicação de 100 mg/L do ALA não apresentou diferença significativa com a dose de 50 mg/L segundo os parâmetros de Tukey, desse modo, a concentração de 50 mg/L é suficiente para aumentar a produção do jambu, já que seu custo é menor.

A dosagem de 50 mg/L teve o impacto mais positivo em dez das treze variáveis analisadas (Clorofila A, B e Total, fotossíntese, transpiração, número de folhas, MFPA, MFR, MSPA e MSR). Em suma, os resultados deste estudo fornecem evidências sólidas de que a aplicação de ALA é uma estratégia eficaz para promover o crescimento e a fisiologia das plantas de jambu. Essas descobertas têm implicações significativas para a agricultura, fornecendo informações valiosas para o desenvolvimento de práticas de cultivo mais sustentáveis e eficientes.

## REFERÊNCIAS

- ABEYSIRI, G. *et al.* Screening of phytochemical, physico-chemical and bioactivity of different parts of *Acmella oleraceae* Murr. (Asteraceae), a natural remedy for toothache. **Industrial Crops and Products**, 50, 852-856, 2013.
- ABRAMOVAY, R. *et al.* **The new bioeconomy in the Amazon: Opportunities and challenges for a healthy standing forest and flowing rivers.** Amazon Assessment Report 2021, 2021.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JUNIOR, W. **AgroEstat - Sistema para Análises Estatísticas de Ensaios Agronômicos.** Jaboticabal, 2014.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas.** 2. ed. Jaboticabal: Funep, 2003.
- BUCHANAN, B. B. *et al.* **Biochemistry & Molecular Biology of Plants.** Wiley, 2015.
- CALDAS, P. L. **Plantas alimentícias não-convencionais da Restinga: Ocorrência e uso no Município de Marauá, Bahia, Brasil.** 2018. 59 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Conservação da Biodiversidade e Desenvolvimento Sustentável) –Escola Superior de Conservação Ambiental e Sustentabilidade, Serra Grande, 2018.
- CARDOSO, M. O.; GARCIA, L. C. **Jambu (*Spilanthes oleracea* L.),** 1997.
- DAILEY, H. A.; MEISSNER, P. N. Erythroid heme biosynthesis and its disorders. **Cold Spring Harbor perspectives in medicine**, v. 3, n. 4, 2013.
- FRANÇA, J. *et al.* **Distinct growth and extractive methods of *Acmella oleracea* (L.) R.K. Jansen rising different concentrations of spilanthol: An important bioactive compound in human dietary.** Food research international, 89 Pt 1, 781-789, 2016.
- FRANKLIN, K. A.; QUAIL, P. H. Phytochrome functions in Arabidopsis development. **Journal of experimental botany**, v. 61, n. 1, p. 11-24, 2010.
- GILBERT, B.; FAVORETO, R. *Acmella oleracea* (L.) RK Jansen (Asteraceae)-Jambu. **Revista Fitos**, v. 5, n. 01, p. 83-91, 2010.
- GUSMÃO, M. T. A.; GUSMÃO, S. A. L. **Jambu da Amazônia (*Acmella oleracea*):** Características gerais, cultivo convencional, orgânico e hidropônico. EDUFRA, 1ª ed., 2013.
- HOMMA, A. K. O. *et al.* Etnocultivo do jambu para abastecimento da cidade de Belém, estado do Pará. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, Belém, PA, v. 6, n. 12, p. 125-141, jan./jun. 2011.
- HOMMA, A. K. O. *et al.* **Extrativismo vegetal na Amazônia: história, ecologia, economia e domesticação.** Brasília, DF: Embrapa, 2014.
- HOTTA, Y. *et al.* New physiological effects of 5-aminolevulinic acid in plants: the increase of photosynthesis, chlorophyll content, and plant growth. **Bioscience, biotechnology, and biochemistry**, v. 61, n. 12, p. 2025-2028, 1997.

JIANG, M. *et al.* Natural 5-aminolevulinic acid: Sources, biosynthesis, detection and applications. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 10, 2022.

KHAN, W.; PRITHIVIRAJ, B.; SMITH, D. L. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. **Journal of plant physiology**, v. 160, n. 5, p. 485-492, 2003.

KOBAYASHI, K.; MASUDA, T. Transcriptional regulation of tetrapyrrole biosynthesis in *Arabidopsis thaliana*. **Frontiers in plant science**, v. 7, p. 1811, 2016.

LIMA, J. S. C. **Produção de jambu sob sistema agroflorestal e a pleno sol com diferentes níveis de adubo orgânico**. 57 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural e Gestão de Empreendimentos Agroalimentares). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - IFPA, 2021.

MURCHIE, E. H.; LAWSON, T. Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. **Journal of experimental botany**, v. 64, n. 13, p. 3983-3998, 2013.

PACHECO, F.; LAZZARINI, L. E.; ALVARENGA, I. Metabolismo relacionado com a fisiologia dos estômatos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 18, n. 36, 2021.

POLTRONIERI, M. C.; MÜLLER, N. R. M.; POLTRONIERI, L. S. **Recomendações para a produção de jambu: cultivar nazaré**. Circular Técnica n° 11. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000.

PubMed [Internet]. National Center for Biotechnology Information (US). Bethesda (MD): **National Library of Medicine** (US). Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/> Acesso em: 31 mar. 2024.

QUAIL, P. H. Phytochrome photosensory signalling networks. **Nature reviews Molecular cell biology**, v. 3, n. 2, p. 85-93, 2002.

RHAMAN, M. *et al.* **Respostas adaptativas das plantas mediadas pelo ácido 5-aminolevulinico ao estresse abiótico**. Relatório de células vegetais, 40, 1451 – 1469, 2021.

SAMPAIO, I. M. G. **Métodos de propagação, espaçamento e densidade de plantio de jambu**. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia). Universidade Federal do Ceará - UFC, Pós-Graduação em Agronomia (Fitotecnia), Fortaleza, 2017.

SANTOS, Í. C. S. *et al.* Resposta produtiva do jambu à aplicação de Biofertilizante em cobertura. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e613985918-e613985918, 2020.

SILVA, L. *et al.* **Influência da temperatura na germinação e tamanho de raízes de *Acmella oleracea* (L.) RK Jansen.**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v14i0.5789>. Acesso em: 22 mar. 2024.

SINGH, S. *et al.* Micropropagation of *Spilanthes acmella* Murr.: A step towards efficient conservation of a medicinal herb showing antimalarial activity. **Pharmacognosy Magazine**, v. 7, n. 26, p. 193-198, 2011.

SOUZA, A. *et al.* Contribuição das instituições da região Norte do Brasil para o desenvolvimento de cultivares de plantas e seu impacto na agricultura. **Melhoramento de culturas e biotecnologia aplicada**, 12, 47-56.

TAN, S. *et al.* Advances in 5-Aminolevulinic Acid Priming to Enhance Plant Tolerance to Abiotic Stress. **International Journal of Molecular Sciences**, 2022. Disponível em:

TANAKA, R.; TANAKA, A. Tetrapyrrole biosynthesis in higher plants. *Annu. Rev. Plant Biol.*, v. 58, p. 321-346, 2007.

TEIXEIRA, K. B. S. **Aplicação do ácido 5-aminolevulinico como atenuador de estresse salino em plântulas de milho (zea mays L.)**. Orientador: OLIVEIRA NETO, Cândido Ferreira de. 2023. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal da Amazônia, Campus Belém, PA, 2023.

VOET, D.; VOET, J. G.; PRATT, C. W. Fundamentals of biochemistry: life at the molecular level. **John Wiley & Sons**, 2016.

WU, Y. *et al.* 5-Aminolevulinic acid (ALA) biosynthetic and metabolic pathways and its role in higher plants: a review. **Plant Growth Regul** **87**, 357–374, 2019.

ZHONG, Y. *et al.* Exogenous 5-aminolevulinic acid promotes osmotic stress tolerance of walnuts by modulating photosynthesis, osmotic adjustment and antioxidant systems. **Forests**, v. 14, n. 9, p. 1789, 2023.