UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA
MESTRADO EM FITOTECNIA

BRENDA ADELINO DE MACÊDO CAMPELO

MELATONINA COMO AGENTE MITIGADOR DE ESTRESSE SALINO NO CRESCIMENTO INICIAL DE MAMOEIRO EM SISTEMAS HIDROPÔNICOS

MOSSORÓ
2025

BRENDA ADELINO DE MACÊDO CAMPELO

MELATONINA COMO AGENTE MITIGADOR DE ESTRESSE SALINO NO CRESCIMENTO INICIAL DE MAMOEIRO EM SISTEMAS HIDROPÔNICOS

Dissertação apresentada ao Mestrado em Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Fruticultura
Orientador: Vander Mendonça, Prof. Dr.
Co-orientador: Francisco de Assis de Oliveira, Prof. Dr.

MOSSORÓ
2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei n° 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei n° 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

C186m Campelo, Brenda Adelino de Macêdo.
Melatonina como agente mirtigador de estresse salino no crescimento inicial de mamoeiro em sistemas hidrôponicos / Brenda Adelino de Macêdo Campelo. - 2025.
44 f. : il.

Orientador: Vander Mendonça.
Coorientador: Francisco de Assis de Oliveira.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, 2025.

1. Atenuante de estresse. 2. Carica papaya L.. 3. Cultivo sem solo. 4. Salinidade. I. Mendonça, Vander , orient. II. Oliveira, Francisco de Assis de, co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automáto em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC´s) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

MELATONINA COMO AGENTE MITIGADOR DE ESTRESSE SALINO NO CRESCIMENTO INICIAL DE MAMOEIRO EM SISTEMAS HIDROPÔNICOS

Dissertação apresentada ao Mestrado em Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Fruticultura

Defendida em: 30 / 01 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br VANDER MENDONCA
Data: 30/04/2025 10:17:25-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Vander Mendonça, Prof. Dr. (UFERSA)

Presidente

Documento assinado digitalmente
gov.br LUCIANA FREITAS DE MEDEIROS MENDONCA
Data: 30/04/2025 09:54:37-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Luciana Freitas de Medeiros, Profª. Dra. (UFCG)

Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
gov.br LUANA MENDES DE OLIVEIRA
Data: 29/04/2025 20:03:02-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Luana Mendes de Oliveira Dra. (Externo)

Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
gov.br AGDA MALANY FORTE DE OLIVEIRA
Data: 29/04/2025 17:09:41-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Agda Malany Forte de Oliveira, Dra. (UEPB)

Membro Examinador

“*Se a educação sozinha não transforma a sociedade, sem ela tampouco a sociedade muda."*

Paulo Freire

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pela oportunidade e por nunca ter me abandonado, mesmo em momentos em que esqueci que Ele estava ali ao meu lado, protegendo meus caminhos.

A toda a minha família, em especial aos em especial a minha mãe Eliane que em nenhum momento mediu esforços para me ver bem e sempre acreditou em mim, me incentivando e aconselhando em todos os momentos da minha vida.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), pela oportunidade de cursar a Graduação e ao Programa de Pós-graduação em Fitotecnia (PPGFITO), pela oportunidade de cursar o Mestrado em Fitotecnia.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa e o apoio a pesquisa;

Ao meu orientador, Professor Dr. Vander Mendonça, a quem sou bastante grato por todos os conselhos e ensinamentos que foram indispensáveis para a minha formação.

Ao meu coorientador, Professor Dr. Francisco de Assis, pelas orientações, incentivos, acolhimento e paciência, que foram essenciais para o meu crescimento acadêmico e profissional.

Ao grupo de estudo, pesquisa e extensão em fruticultura, por toda ajuda e companheirismo, muito obrigada, em especial a Juliana, Agda, Raires, Alex e Luilson com vocês o fardo foi mais leve.

Ao grupo de pesquisa em irrigação e nutrição de plantas, por toda ajuda durante o meu experimento em especial: muito obrigada, em especial a Maria Julia, Rayanne, Felipe, Valdegones, Vinicius, Vanessa, Laís e Sergio com vocês o fardo foi mais leve.

Por fim, a todos que de forma direta ou indiretamente contribuíram para a execução da pesquisa.

RESUMO

No semiárido nordestino, a escassez hídrica tem levado ao uso de águas salobras na agricultura, como na cultura do mamoeiro. Para mitigar os efeitos da salinidade, pesquisas têm avaliado estratégias como o uso de melatonina como atenuador de estresse salino. Diante disso, objetivou-se avaliar a eficiência do uso de melatonina como agente mitigador ao estresse salino em mamoeiro na fase inicial de crescimento em dois sistemas hidropônicos. O experimento foi conduzido em delineamento de parcelas subdivididas, com quatro repetições, sendo as parcelas compostas por dois sistemas hidropônicos (flutuante e semi-hidropônico) e as subparcelas por cinco tratamentos: C1 – solução nutritiva padrão (CE 2,5 dS m^{-1}); C2 – solução salinizada com NaCl (CE 5,0 dS m^{-1}); C3 – C2 + melatonina a 50 µM; C4 – C2 + melatonina a 100 µM; e C5 – C2 + melatonina a 200 µM. A melatonina foi aplicada via foliar, 20 dias após a indução do estresse salino. Aos 45 dias foi realizada análises de trocas gasosas, e aos 50 dias após o transplantio, foram avaliados os parâmetros de crescimento e acúmulo de fitomassa. A análise dos dados mostrou que o sistema hidropônico flutuante promoveu maior tolerância do mamoeiro à salinidade para as variáveis de CR, VR, parâmetros de biomassa e transpiração. Enquanto o sistema semi-hidropônico foi observado efeito deletério do estresse salino sobre o crescimento das plantas. Além disso, verificou-se que a aplicação de melatonina na concentração a partir de 50µM reduz o efeito negativo da salinidade sobre as plantas. A melatonina é eficiente para mitigar o efeito do estresse salino em mudas de mamoeiro.

Palavras-chave: Atenuante de estresse, *Carica papaya* L.; Cultivo sem solo; Salinidade.

ABSTRACT

the use of melatonin as a salinity stress alleviator. Therefore, this study aimed to evaluate the effectiveness of melatonin as a mitigating agent against salt stress in papaya during the initial growth phase under two hydroponic systems. The experiment was conducted in a split-plot design with four replicates, where the plots consisted of two hydroponic systems (floating and semi-hydroponic), and the subplots consisted of five treatments: C1 – standard nutrient solution (EC 2.5 dS m^{-1}); C2 – nutrient solution salinized with NaCl (EC 5.0 dS m^{-1}); C3 – C2 + melatonin at 50 µM; C4 – C2 + melatonin at 100 µM; and C5 – C2 + melatonin at 200 µM. Melatonin was applied via foliar spray 20 days after the induction of salt stress. At 45 days, gas exchange analyses were performed, and at 50 days after transplanting, growth and biomass accumulation parameters were evaluated. Data analysis showed that the floating hydroponic system promoted greater salt stress tolerance in papaya for root length, root volume, biomass parameters, and transpiration. In contrast, in the semi-hydroponic system, salt stress had a deleterious effect on plant growth. Furthermore, it was observed that foliar application of melatonin at concentrations from 50 µM reduced the negative effects of salinity on plants. Melatonin is effective in mitigating the effects of salt stress in papaya seedlings.

Keywords: Stress reliever, Carica papaya; Soilless cultivation; Salinity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema hidropônico flutuante (A) e semi-hidropônico (B) utilizados no experimento. Mossoró/RN. UFERSA, 2022/2023. **Fonte:** A autora 17

Figura 2 - Análise de troca gasosa utilizando o irga. Mossoró/RN. UFERSA, 2022/2023. **Fonte:** A autora 18

Figura 3 - Determinação do volume de raiz. Mossoró/RN. UFERSA, 2022/2023. **Fonte:** A autora 19

Figura 4 - Comprimento de raiz (A) e volume de raiz (B) de mamoeiro cultivado em dois sistemas hidropônicos e submetido a combinações de salinidade e melatonina. Mossoró/RN. UFERSA, 2022/2023. **Fonte:** A autora..... 22

Figura 5 - Altura (A) e diâmetro do caule (B) de mamoeiro cultivado em dois sistemas hidropônicos e submetido a combinações de salinidade e melatonina. Mossoró/RN. UFERSA, 2022/2023. **Fonte:** A autora..... 24

Figura 6 - Número de folhas (A) e Área foliar (B) de mamoeiro cultivado em dois sistemas hidropônicos e submetido a combinações de salinidade e melatonina. Mossoró/RN. UFERSA, 2022/2023. **Fonte:** A autora..... 26

Figura 7 - Massa seca da folha (A), massa seca do caule (B), massa seca da raiz (C) e massa seca de total (D) de mamoeiro cultivado em dois sistemas hidropônicos e submetido a combinações de salinidade e melatonina. Mossoró/RN. UFERSA, 2022/2023. **Fonte:** A autora..... 29

Figura 8 - Transpiração de mamoeiro cultivado em dois sistemas hidropônicos e submetido a combinações de salinidade e melatonina. Mossoró/RN. UFERSA, 2022/2023. **Fonte:** A autora..... 33

Figura 9 - Fotossíntese de mamoeiro cultivado em dois sistemas hidropônicos e submetido a combinações de salinidade e melatonina. Mossoró/RN. UFERSA, 2022/2023. **Fonte:** A autora..... 34

Figura 10 - Condutância estomática de mamoeiro cultivado em dois sistemas hidropônicos e submetido a combinações de salinidade e melatonina. Mossoró/RN. UFERSA, 2022/2023. **Fonte:** A autora..... 35

Figura 11 Concentração intracelular de CO_2 de mamoeiro cultivado em dois

- sistemas hidropônicos e submetido a combinações de salinidade e melatonina. Mossoró/RN. UFERSA, 2022/2023. **Fonte:** A autora 36

Figura 12 - Eficiência do uso da água (A/E) de mamoeiro cultivado em dois sistemas hidropônicos e submetido a combinações de salinidade e melatonina. Mossoró/RN. UFERSA, 2022/2023. **Fonte:** A autora 37

Figura 13 - Eficiência de carboxilação de mamoeiro cultivado em dois sistemas hidropônicos e submetido a combinações de salinidade e melatonina. Mossoró/RN. UFERSA, 2022/2023. **Fonte:** A autora 38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização química da solução nutritiva, para ambos os sistemas hidrropônicos..... 16

Tabela 2 - Resumo da análise de variância para comprimento radicular (CR), volume radicular (VR), altura de planta (ALT), diâmetro de caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF) de mamoeiro cultivado em dois sistemas hidropônicos e submetido a combinações de salinidade e melatonina..... 21

Tabela 3 - Resumo da análise de variância para matéria seca de folha (MSF), matéria seca de caule (MSC), matéria seca de raiz (MSR) e matéria seca total (MST) de mamoeiro cultivado em dois sistemas hidropônicos e submetido a combinações de salinidade e melatonina..... 28

Tabela 4 - Resumo da análise de variância para Transpiração (E), Fotossintese (A), Condutância estomática (Gs), concentração intracelular de CO2 (Ci), eficiência de carboxilação (ECi), e eficiência do uso da água (EUA) de mamoeiro cultivado em dois sistemas hidropônicos e submetido a combinações de salinidade e melatonina..... 32

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO ..... **Erro! Indicador não definido.**

2. MATERIAL E MÉTODOS 13

2.1. Caracterização da área experimental 15

2.2. Delineamento experimental 15

2.3. Instalação e condução do experimento 16

2.4. Variáveis analisadas 17

2.5. Análise estatística 20

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO 21

4. CONCLUSÕES 40

5. REFERÊNCIAS 41

1. INTRODUÇÃO

O mamoeiro (*Carica papaya* L.), pertencente à família Caricaceae, é amplamente cultivado nas regiões tropicais e subtropicais devido à sua elevada importância econômica e qualidade nutricional (SERAFINI et al., 2021). Essa cultura destaca-se tanto por seu valor comercial quanto pela versatilidade de uso, com aplicações que vão desde o consumo in natura até em preparações medicinais e industriais (SINGH et al., 2020). O Brasil ocupa o terceiro lugar no ranking mundial como maior exportador, entretanto, a produção nacional, especialmente na região Nordeste, evidencia o papel estratégico da cultura na geração de emprego e renda no campo (LUCENA et al, 2021; IBGE, 2022; FAOSTAT, 2023).

A fase de produção de mudas é considerada uma etapa decisiva para o sucesso do cultivo. Mudas bem desenvolvidas são determinantes para o estabelecimento inicial no campo, influenciando diretamente a produtividade (NAJM, ARAN, BOOGAR, 2024). Diversos fatores afetam essa fase, como a qualidade do substrato, a disponibilidade hídrica, o manejo nutricional e as condições ambientais do cultivo (SOUZA et al., 2021). Além disso, a necessidade de renovação periódica dos pomares, devido ao ciclo produtivo relativamente curto do mamoeiro, aumenta a demanda por mudas de elevada qualidade genética e fitossanitária (SILVA et al., 2019; VAN TRI et al., 2024).

No entanto, a crescente escassez de água doce, especialmente em regiões semiáridas, tem levado ao uso de águas salinas para irrigação. Essa prática, embora necessária, impõe desafios significativos ao desenvolvimento vegetal, uma vez que a salinidade excessiva compromete o crescimento, a absorção de nutrientes e o equilíbrio fisiológico das plantas (TAIZ et al., 2017; ARIF et al., 2020). O mamoeiro, apesar de ser moderadamente tolerante à salinidade (CAVALCANTE, 2016), apresenta redução expressiva no crescimento vegetativo quando submetido a níveis elevados de sais no solo, pois desencadeia estresse oxidativo ao gerar espécies reativas de oxigênio, que danificam compostos celulares e pigmentos fotossintéticos (NASCIMENTO et al., 2024; HASANUZZAMAN et al. 2021).

Diante disso, torna-se necessário buscar estratégias agronômicas capazes de atenuar os efeitos deletérios da salinidade. Estudos destacam o uso de reguladores vegetais com ação antioxidante e protetora, como a melatonina (N-acetil-5-

metoxitriptamina), uma molécula com múltiplas funções, destacando-se como reguladora do crescimento e bioestimuladora da tolerância a diversos estresses abióticos, como salinidade, seca e temperatura extrema (SHARMA et al., 2024). Além disso, em condições de estresse a melatonina interage com hormônios como óxido nítrico (NO) e auxina (IAA), regulando o metabolismo e promovendo o crescimento vegetal (COLOMBAGE et al., 2023). Essa interação melhora a produtividade e fortalece as respostas morfofisiológicas das plantas, sendo um elemento-chave na tolerância das plantas ao estresse (BAI et al., 2020; Ahmad et al., 2023).

Estudos recentes demonstram que a aplicação exógena desse hormônio pode melhorar a tolerância das plantas ao estresse salino, promovendo maior acúmulo de biomassa e desenvolvimento mais uniforme, principalmente em fases iniciais do cultivo (ZHAN et al., 2019; LI et al., 2019).

Nesse contexto, destaca-se a importância dos sistemas de cultivo utilizados na fase de produção de mudas, pois influenciam diretamente o desempenho das plantas a condições adversas. Entre os métodos alternativos ao cultivo convencional, os sistemas hidropônicos vêm se consolidando como estratégias promissoras, especialmente em regiões de escassez hídrica (Naresh et al., 2024). Dentre eles, o sistema flutuante e o semi-hidropônico apresentam características distintas que podem interferir na resposta das plantas ao estresse salino e à aplicação de bioestimulantes.

Dessa forma, considerando os impactos negativos da salinidade no crescimento inicial do mamoeiro, especialmente em regiões semiáridas onde o uso de água salina na irrigação é recorrente, e reconhecendo os efeitos benéficos da melatonina na mitigação de estresses abióticos, hipotetiza-se que a aplicação exógena de melatonina pode atenuar os efeitos deletérios do estresse salino sobre o desenvolvimento inicial e fisiologia de mudas de mamoeiro. Assim como, que essa resposta varie em função do sistema de cultivo utilizado.

Diante disso, este estudo teve como objetivo de avaliar o efeito da aplicação foliar de melatonina como agente mitigador ao estresse salino em mamoeiro Formosa Tainung nº 1, na fase inicial de crescimento em dois sistemas hidropônicos (flutuante e semi-hidropônico).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado de dezembro de 2023 a fevereiro de 2024, em casa de vegetação tipo túnel (7,0 × 18,0 × 3,0 m), coberta com polietileno transparente de baixa densidade (0,15 mm) e laterais em sombrite 50%, localizada no setor de produção de mudas da UFERSA, em Mossoró-RN (5º11’ S, 37º20’ W, 18 m de altitude).

O clima da região é BSh (semiárido, quente e seco), com média anual de 27,4 °C, 673,9 mm de chuva e 68,9% de umidade (DINIZ; PEREIRA, 2015). Durante o experimento, as temperaturas máxima, mínima e média foram 42,58 °C, 21,80 °C e 35,70 °C; a umidade relativa do ar apresentou máxima de 87,78% e mínima de, 29,51%, registrados através do termo-hidrômetro (model SH-122 from J-Prolab).

2.2. Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento de parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas corresponderam a dois sistemas hidropônicos: flutuante e semi-hidropônico, este último utilizando areia lavada como substrato. As subparcelas foram compostas por cinco tratamentos, definidos pela combinação de estresse salino e aplicação de melatonina:

C1: Solução nutritiva padrão (condutividade elétrica de 2,5 dS m^{-1});
C2: Solução salinizada com NaCl (CE de 5,0 dS m^{-1});
C3: 5,0 dSm m^{-1} + melatonina a 50 μM;
C4: 5,0 dSm m^{-1} + melatonina a 100 μM;
C5: 5,0 dSm m^{-1} + melatonina a 200 μM.

A solução nutritiva utilizada como base para todos os tratamentos foi formulada com os fertilizantes cujas concentrações estão especificadas na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química da solução nutritiva, para ambos os sistemas hidropônicos.

Fertilizantes	g $1000L^{-1}$
Nitrato de cálcio*	750
Nitrato de potássio	500
Fósfato monoamônico	150
Sulfato de magnésio	400g
Dripsol Micro Rexene Equilíbrio**	30
Dripsol Micro Ferro Q48***	30

*Furlani et al., (1999); **Composto de micronutrientes (magnésio, 1,1%; boro, 0,85%; cobre (Cu-EDTA), 0,5%; ferro (Fe-EDTA), 3,4 %; manganês (Mn-EDTA), 3,2%; molibdênio, 0,05%; zinco, 4,2%); ***Fonte de ferro Q48 (Quelato de ferro Q48 EDDHA 6%, Dripsol SQM Vitas®).

2.3. Instalação e condução do experimento

O experimento foi iniciado com a aquisição de sementes de mamoeiro (*Carica papaya* L.), cultivar Formosa Tainung nº1. As mudas foram produzidas em bandejas de PVC, utilizando substrato comercial à base de fibra de coco. Três sementes foram semeadas por célula e, após a emergência, foi realizado desbaste, mantendo-se uma planta por célula. A irrigação das mudas foi realizada por capilaridade, utilizando solução nutritiva padrão. O transplantio foi realizado aos 30 dias após o desbaste, com a alocação de uma muda por vaso.

O sistema flutuante consiste na condução das plantas sobre uma solução nutritiva aerada (Figura 1A). Neste sistema, foram utilizados vasos plásticos com capacidade de 10 L. Em cada vaso, foi inserida uma placa esférica de isopor com diâmetro 1 cm inferior ao diâmetro interno do vaso. No centro da placa, foi feito um orifício de 4 cm de diâmetro, onde foi encaixado um copo de isopor (50 mL) com abertura inferior de 2 cm para passagem das raízes. Os vasos foram equipados com sistema de drenagem e recolhimento da solução nutritiva.

O sistema semi-hidropônico utiliza substratos inertes, como areia lavada, associados à fertirrigação (Figura 1B). Também foram utilizados vasos plásticos de 10 L, preenchidos com 8 L de areia lavada de textura média como substrato. O sistema de irrigação foi composto por cinco reservatórios (500 L), um para cada solução nutritiva. A circulação foi feita por eletrobombas Metalcorte/Eberle (modelo EBD250076), conectadas a mangueiras de polietileno (16 mm), acopladas a microtubos tipo espaguete (diâmetro interno de 1,5 mm, 10 cm de comprimento).

O controle da irrigação foi realizado por temporizador digital programável (marca Coel, modelo TDR-20A), ajustado para seis irrigações diárias (07:00, 09:00, 11:00, 13:00, 15:00 e 17:00 h), com duração de 1 minuto cada.



Figura 1. Sistema hidropônico flutuante (A) e semi-hidropônico (B) utilizados no experimento. Mossoró-RN. UFERSA, 2022/2023. Fonte: Autora (2024).

Para cada combinação entre salinidade e melatonina, foi utilizado um reservatório plástico (100 L) abastecendo quatro vasos. Cada reservatório foi equipado com uma eletrobomba de circulação (Metalcorte/Eberle, modelo EBD250076, motor monofásico, 210 V, 60 Hz), operando em sistema fechado. A circulação da solução nutritiva foi controlada por temporizador analógico (Bivolt, marca Timer Mecânico Coel), programado para ciclos alternados de 15 minutos ligados e 15 minutos desligados, funcionando continuamente.

A melatonina utilizada foi de grau puro (P.A.), adquirida em pó da Farmácia de Manipulação Farmafórmula (Mossoró, RN). A aplicação foi realizada por via foliar, com pulverizador manual de pressão prévia (capacidade de 5 L, marca Guarany, modelo Compress), no ponto de escorrimento, ou seja, até molhamento completo da superfície foliar (em média 20 ml por folha). A aplicação foi feita no fim da tarde, aos 20 dias após o início da indução do estresse salino, sendo realizada apenas uma vez durante o experimento.

2.4. Variáveis analisadas

Aos 45 dias após o transplantio, foram realizadas medições de trocas gasosas em folhas completamente desenvolvidas, no período da manhã, entre 7h e 9h. Utilizou-se um analisador portátil de gás por infravermelho (LCPro+ – ADC BioScientific Ltd.), operando com temperatura controlada a 25 °C, fluxo de ar de 200 mL min^{-1}, irradiância

fotossinteticamente ativa de 1200 µmol fótons m^{-2} s^{-1} e concentração de CO_2 em nível atmosférico.

Foram avaliadas as seguintes variáveis: taxa de fotossíntese líquida (A, µmol m^{-2} s^{-1}), condutância estomática (gs, mmol m^{-2} s^{-1}), taxa de transpiração (E, mmol H_2O m^{-2} s^{-1}) e concentração interna de CO_2 (Ci, µmol mol^{-1}). A partir desses dados, foram calculadas a eficiência instantânea do uso da água (EiUA = A/E, µmol m^{-2} s^{-1} per mmol H_2O m^{-2} s^{-1}) e a eficiência instantânea de carboxilação (EiCi = A/Ci, µmol m^{-2} s^{-1} per µmol mol^{-1}). O procedimento metodológico encontra-se ilustrado na Figura 2.



Figura 2. Análise de troca gasosa utilizando o irga. Mossoró-RN. UFERSA, 2022/2023. Fonte: Autora (2024).

Aos 50 dias após o transplantio (DAT), as plantas foram coletadas para avaliação das seguintes variáveis morfológicas.

Diâmetro do caule (DC): mensurado com paquímetro digital, a 2 cm acima do nível do isopor (sistema flutuante) ou do substrato (sistema semi-hidropônico), com os resultados expressos em milímetros (mm);

Altura de planta (ALT): determinada com trena métrica, do colo da planta até o ápice, com os resultados expressos em centímetros (cm);

Número de folhas (NF): obtido por contagem direta das folhas totalmente desenvolvidas por planta;

Área foliar (AF): estimada pelo método dos discos, utilizando um mostrador de diâmetro conhecido, coletando-se 10 discos foliares por planta. A área foliar total foi calculada conforme a Equação 1.

$$AF = \frac{(MSF \times AD)}{MSD} \quad (1)$$

Em que: AF – área foliar, cm^2; MSF – massa seca de folhas, g; AD– área do disco, cm^2; MSD – massa seca dos discos, g.

O volume radicular (VR) foi determinado pelo método de deslocamento de água, utilizando um béquer graduado contendo volume conhecido de água (2000 mL). O volume deslocado pela raiz foi registrado e os resultados expressos em centímetros cúbicos (cm^3), conforme ilustrado na Figura 3.



Figura 3. Determinação do volume de raiz. Mossoró-RN. UFERSA, 2022/2023. Fonte: Autora (2024)

Comprimento de raiz (CR), mensurado utilizando uma trena, considerando a distância entre a base da raiz até a sua coifa, sendo expresso em centímetros (cm).

Massa seca de folha (MSF), massa seca de caule (MSC) e massa seca de raiz (MSR), foram determinadas após as amostras serem desidratadas em estufa com circulação forçada de ar, e temperatura de 65 ºC, até atingirem massa constante. Em seguida, as amostras foram pesadas em balança analítica (0,01g), resultados expressos

em g/planta. A massa seca total (MST), foi determinada pelo somatório de MSF + MSC + MSR.

2.5. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância (teste F) e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$), realizando-se o desdobramento sempre que ocorreu interação entre os fatores estudados. As análises estatísticas foram realizadas por meio do software estatístico SISVAR® (FERREIRA, 2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O crescimento das plantas de mamoeiro foram influenciadas significativamente pela interação entre os fatores sistemas de cultivo (S) e combinações de salinidade com melatonina (C) para o comprimento de raiz (CR), volume de raiz (VR), altura de planta (ALT), diâmetro de caule (DC) e área foliar (AF) ($p<0,01$), enquanto o número de folhas (NF) foi afetado apenas pela combinação de salinidade e melatonina ($p \leq 0,05$) (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da análise de variância para comprimento radicular (CR), volume radicular (VR), altura de planta (ALT), diâmetro de caule (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF) de mamoeiro cultivado em dois sistemas hidropônicos e submetido a combinações de salinidade e melatonina

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios					
		CR	VR	ALT	DC	NF	AF
Bloco	3	19,95*	0,001^{ns}	0,005^{ns}	8,57^{ns}	1,55^{ns}	333690,91^{ns}
Sistemas (S)	1	275,62**	0,23**	1,48**	262,65^{ns}	0,90^{ns}	1425,64^{ns}
Erro 1	3	1,24	0,003	0,006	262,60	0,90	268028
Combinações (C)	4	104,32**	0,014*	0,059**	42,10**	0,35*	3268147,11**
S x C	4	165,09**	0,023**	0,060**	27,18**	2,50^{ns}	2783270,67**
Erro 2	24	10,56	0,004	0,013	1,99	2,22	104202
CV1 (%)		9,88	18,57	9,5	29,80	6,32	18,39
CV2(%)		12,25	16,22	13,86	10,21	9,95	11,46

GL: graus de liberdade; CV: coeficientes de variação; ^{ns}: não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade.

O comprimento da raiz (CR) foi afetado pelos sistemas de cultivo nas combinações C1 e C2, nas quais o sistema flutuante foi superior ao sistema semi-hidropônico (Figura 4A). Com relação ao efeito das combinações de sais e aplicação de melatonina, observa-se que o tratamento com CE de 5,0 dS m^{-1} sem combinação de melatonina (C2) reduziu o CR em ambos os sistemas de cultivo, com redução média de 19% no sistema flutuante e 31,1% no sistema semi-hidropônico, quando comparados ao tratamento controle (C1).

Além disso, a aplicação de melatonina, independente da concentração (50, 100 e 200 µM), reduziu o efeito do estresse salino no CR em ambos os sistemas de cultivo. Além disso, observou-se que a aplicação de melatonina reduziu o efeito do estresse salino no comprimento da raiz apenas nas plantas cultivadas no sistema semi-hidropônico (Figura 4A).

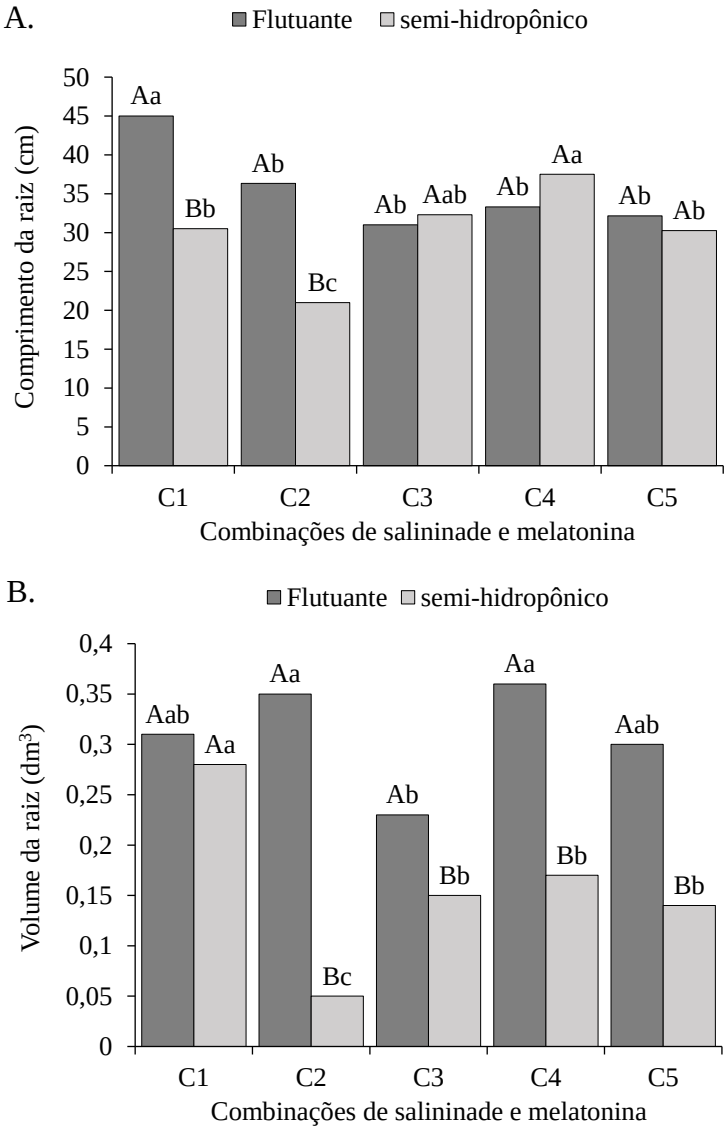


Figura 4. Comprimento de raiz (A) e volume de raiz (B) de mamoeiro Formosa Tainung nº1, cultivado em dois sistemas hidropônicos e submetido a combinações de salinidade e melatonina. Mossoró-RN. UFERSA, 2022/2023. Letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre os sistemas de cultivo dentro de cada combinação de tratamento, enquanto letras minúsculas indicam diferenças entre as combinações de salinidade e melatonina dentro de um mesmo sistema de cultivo, de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Com relação ao volume de raízes (VR), os fatores analisados apresentaram efeito de interação, em que foram observados diferenças significativas entre os sistemas de cultivo nas combinações C2, C3, C4 e C5, sendo o sistema flutuante superior ao sistema semi-hidropônico nessas combinações, com diferença mais expressiva na combinação C2 (Figura 4B). Para o volume de raízes, foi observado efeito da salinidade apenas nas plantas cultivadas em sistema semi-hidropônico, ocorrendo perda de 82,1%.

Neste sistema, as aplicações foliares de melatonina reduziu o efeito da salinidade (Figura 4B).

A redução no comprimento e no volume de raízes em condições salinas, especialmente no sistema semi-hidropônico, pode ser atribuída à menor disponibilidade de água e ao estresse osmótico causado pelo excesso de sais na solução nutritiva, que compromete o crescimento radicular ao reduzir a absorção de água e nutrientes (GALVAN-AMPUDIA; TESTERINK, 2011). O sistema flutuante, por manter maior contato radicular com a solução nutritiva, proporciona melhor acesso hídrico e nutricional mesmo em ambiente salino, o que justifica os maiores valores de comprimento e volume de raízes observados nesse sistema.

Estes resultados estão de acordo com o apresentado Refahi e Shahsavar (2017), os quais também observaram redução no comprimento da raiz de mamoeiro, em função do estresse salino. A aplicação de melatonina atuou como agente mitigador do estresse salino, promovendo maior integridade e crescimento radicular, possivelmente por seu efeito antioxidante e regulador do sistema osmótico, reduzindo os danos causados pelas espécies reativas de oxigênio (EROs) e mantendo o equilíbrio hormonal da planta (ZHANG et. Al., 2014; LIANG 2017).

O efeito da melatonina sobre o sistema radicular afeta diretamente o crescimento das plantas, o que aumenta o número de raízes secundárias; diâmetro espesso; maior área de superfície e pelos radiculares mais densos, o que promove ainda mais a absorção de água e outros nutrientes pela raiz e consequentemente aumento no crescimento (KE et al., 2018; WANG et al., 2023).

A altura das plantas variou significativamente entre os sistemas de cultivo nas combinações C1, C3, C4 e C5, com o sistema semi-hidropônico apresentando maior desenvolvimento em comparação ao sistema flutuante nos respectivos tratamentos (Figura 5A). Observou-se ainda que o aumento da condutividade elétrica da solução nutritiva afetou negativamente a altura das plantas exclusivamente no sistema semi-hidropônico. Nesse sistema, a elevação da salinidade para 5,0 dS m^{-1} (C2) resultou em redução de 35,9% na altura das plantas em relação ao tratamento controle (C1), evidenciando a sensibilidade do crescimento vegetativo do mamoeiro ao estresse salino sob essas condições de cultivo independente da aplicação de melatonina.

Além disso, embora a aplicação de melatonina tenha resultado em plantas com altura inferior à do controle (C1 – solução nutritiva padrão com condutividade elétrica de 2,5 dS m^{-1}) no sistema semi-hidropônico, observou-se que o aumento progressivo de

sua concentração contribuiu para atenuar os efeitos deletérios do estresse salino. Essa mitigação refletiu-se em maiores alturas das plantas nos tratamentos C3 (solução salinizada com NaCl a 5,0 dS m^{-1} + melatonina a 50 µM), C4 (salinidade a 5,0 dS m^{-1} + melatonina a 100 µM) e C5 (salinidade a 5,0 dS m^{-1} + melatonina a 200 µM), quando comparados ao tratamento C2 (salinidade a 5,0 dS m^{-1} sem melatonina). Esses resultados indicam um efeito positivo da melatonina no crescimento do mamoeiro sob estresse salino, possivelmente devido à sua atuação como regulador antioxidante e modulador do metabolismo vegetal, assim como aponta Ahmad, et al. (2023).

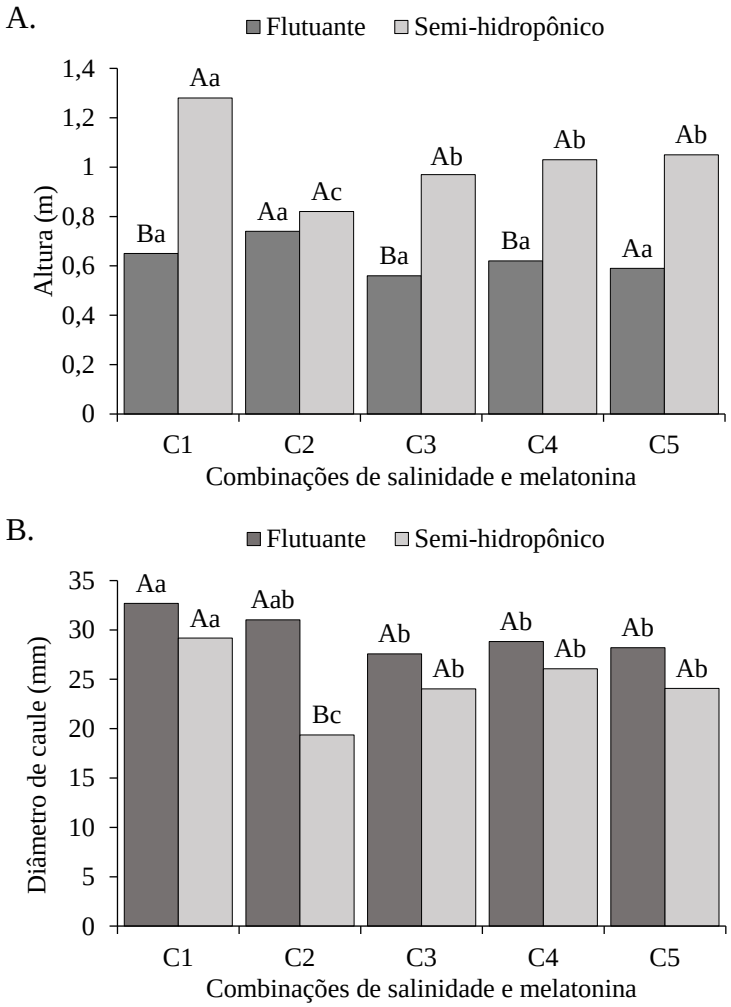


Figura 5. Altura de plantas (A) e diâmetro do caule (B), de mamoeiro Formosa Tainung nº1, cultivado em dois sistemas hidropônicos e submetido a combinações de salinidade e melatonina. Letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre os sistemas de cultivo dentro de cada combinação de tratamento, enquanto letras minúsculas indicam diferenças entre as combinações de salinidade e melatonina dentro de um mesmo sistema de cultivo, de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

O diâmetro do caule (DC) das plantas de mamoeiro não foi afetado pela salinização da solução nutritiva (C2 – CE de 5,0 dS m^{-1}) no sistema flutuante, mantendo-se semelhante ao tratamento controle (C1 – CE de 2,5 dS m^{-1}). No entanto, a aplicação foliar de melatonina nas concentrações de 50, 100 e 200 µM (C3, C4 e C5, respectivamente) promoveu uma redução média de 15,6% no DC em comparação ao C1 nesse sistema. Por outro lado, no sistema semi-hidropônico, a adição de NaCl (C2) resultou em decréscimo expressivo de 33,6% no diâmetro do caule em relação ao controle. Nessa condição, a aplicação foliar de melatonina atenuou parcialmente os efeitos do estresse salino, promovendo incremento no DC em comparação ao tratamento salino sem melatonina. Com relação ao efeito do sistema de cultivo, observou-se diferença significativa apenas na combinação C2, em que o sistema flutuante superou o semi-hidropônico em 60,2% (Figura 5B), evidenciando maior tolerância ao estresse salino nesse ambiente.

Em estudos anteriores por Sá et al. (2013a) e Aguilar-Bautista et al. (2022) também observaram que o estresse salino reduziu o diâmetro de caule. O estresse hídrico, induzido pela concentração de sal, reduz o crescimento não apenas pelos efeitos na assimilação de CO_2, mas também pela redução nas taxas de divisão e alongamento celular (FREIRE et al., 2010).

Assim como observado para o crescimento da planta referente à altura, o efeito benéfico da melatonina também ocorre para o crescimento do caule em seu diâmetro. A melatonina funciona como um potente eliminador de radicais livres e um antioxidante, contribuindo para o aprimoramento dos sistemas antioxidantes sob condições de estresse salino, reduzindo assim os danos sofridos no crescimento das plantas (CEN et al., 2020).

O número de folhas por planta foi influenciado apenas pelas combinações entre salinidade e aplicação foliar de melatonina, sem efeito significativo do sistema de cultivo. A única diferença estatística observada ocorreu entre o tratamento controle (C1 – solução nutritiva padrão, CE de 2,5 dS m^{-1}) e o tratamento C3 (solução salinizada com NaCl a 5,0 dS m^{-1} + melatonina a 50 µM), no qual houve uma redução de 15,9% no número de folhas (Figura 6A), indicando um possível efeito da interação entre o estresse salino e a dose inicial de melatonina sobre a emissão foliar.

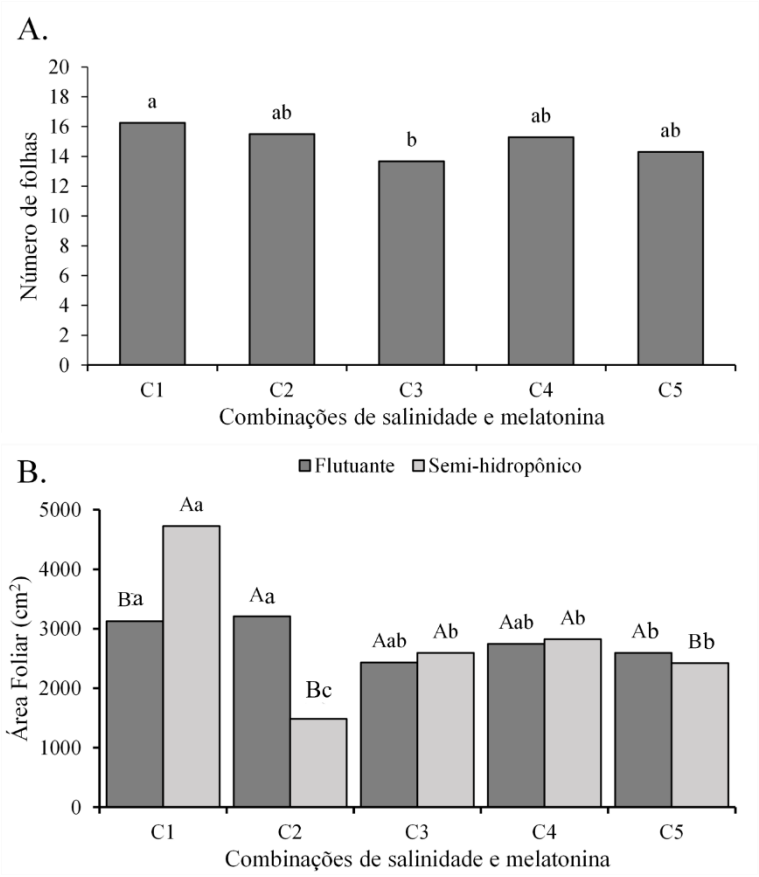


Figura 6. Número de folhas (A) e Área foliar (B) de mamoeiro Formosa Tainung nº1, cultivado em dois sistemas hidropônicos e submetido a combinações de salinidade e melatonina. Letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre os sistemas de cultivo dentro de cada combinação de tratamento, enquanto letras minúsculas indicam diferenças entre as combinações de salinidade e melatonina dentro de um mesmo sistema de cultivo, de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

A aplicação foliar de melatonina atenuou parcialmente os efeitos negativos da salinidade sobre a área foliar do mamoeiro, especialmente nas combinações C3, C4 e C5, quando comparadas à combinação C2 (CE de 5,0 dS m^{-1} sem melatonina) no sistema semi-hidropônico. Essa resposta evidencia o potencial da melatonina em preservar a integridade estrutural das folhas mesmo sob estresse salino. Por outro lado, os menores valores de área foliar foram observados na combinação C2 no sistema semi-hidropônico, com média de 1.500 cm^2, representando uma redução de 68,5% em relação ao sistema flutuante na mesma combinação. A maior área foliar foi registrada na combinação controle (C1), no sistema semi-hidropônico, indicando que, na ausência de estresse salino, esse sistema pode favorecer o desenvolvimento foliar do mamoeiro.

A redução da área foliar observada nas plantas submetidas ao estresse salino pode ser interpretada como um mecanismo adaptativo de defesa, visando minimizar a perda de água por transpiração e favorecer o ajuste osmótico celular (SOUZA et al.,

2021). Essa resposta fisiológica foi também evidenciada por Sá et al. (2013), que associaram a diminuição da área foliar em plantas de mamoeiro à inibição do crescimento celular e à redução da atividade fotossintética, ambas desencadeadas pelo acúmulo de sais no ambiente radicular.

A aplicação de melatonina atenuou os efeitos negativos do estresse salino sobre a área foliar, ao promover a integridade estrutural e funcional dos tecidos vasculares. Conforme demonstrado por Jiang et al. (2021), a melatonina fortalece o funcionamento do xilema e do floema, otimizando o transporte de água, sais minerais e compostos orgânicos. Esse mecanismo contribui para a manutenção da turgidez e da integridade das folhas, principais órgãos fotossintéticos, reduzindo os danos causados pela salinidade e preservando o desenvolvimento foliar.

A área foliar de uma planta está diretamente relacionada ao número de folhas emitidas e à expansão do limbo foliar. No presente estudo, os resultados indicam que os tratamentos aplicados exerceram maior influência sobre o desenvolvimento do limbo foliar do que sobre a emissão de novas folhas. Isso se confirma pelo fato de que o número de folhas por planta foi pouco afetado, apresentando diferença estatística apenas entre o tratamento controle (C1) e a combinação C3 (Figura 6A).

Esse resultado sugere que a interação entre o estresse salino e a dose inicial de melatonina pode ter impactado parcialmente a emissão foliar, mas não de forma tão expressiva quanto os efeitos observados sobre a expansão das folhas já emitidas. Dessa forma, infere-se que a diminuição da área foliar observada nos tratamentos mais severos decorre, predominantemente, de uma limitação no crescimento do limbo foliar e não de uma redução significativa no número de folhas.

Com relação ao acúmulo de biomassa foi observado um efeito significativo da interação dos fatores sistema de cultivo e combinações de salinidade e melatonina para a matéria seca de folha (MSF), matéria seca de caule (MSC), matéria seca de raiz (MSR) e matéria seca total (MST), em nível de 1% de probabilidade Tabela 3.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para matéria seca de folha (MSF), matéria seca de caule (MSC), matéria seca de raiz (MSR) e matéria seca total (MST) de mamoeiro cultivado em dois sistemas hidropônicos e submetido a combinações de salinidade e melatonina

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios			
		MSF	MSC	MSR	MST
Bloco	3	5,28^{ns}	60,34^{ns}	8,94^{ns}	104,34^{ns}
Sistemas (S)	1	93,94*	68,38^{ns}	62,50^{ns}	671,58^{ns}
Erro 1	3	8,26	30,54	11,35	136,09
Combinação (C)	4	73,89**	309,34**	123,78**	1354,43**
S x C	4	45,83**	236,84**	181,02**	1223,58**
Erro 2	24	2,08	14,79	8,32	38,84
CV1 (%)		19,22	20,45	17,16	20,25
CV2		12,4	17,01	16,24	12,8

GL: graus de liberdade; CV: coeficientes de variação; ^{ns}: não significativo pelo teste F; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade.

A aplicação foliar de melatonina atenuou os efeitos do estresse salino sobre a massa seca de folhas (MSF), especialmente no sistema semi-hidropônico, onde as combinações C3, C4 e C5 minimizaram as perdas provocadas pela salinidade, não havendo diferença significativa entre as doses aplicadas (Figura 7A). Por outro lado, a adição de NaCl isoladamente (C2) resultou em uma acentuada redução da MSF nesse sistema, com decréscimo de 73,67% em relação ao controle (C1). No sistema flutuante, a salinidade (C2) não afetou significativamente a MSF, porém a combinação com 50 µM de melatonina (C3) promoveu redução de 34,6%. Comparando os sistemas de cultivo, a MSF foi superior no sistema semi-hidropônico apenas na combinação C1, com incremento de 20,5% em relação ao flutuante. Em contrapartida, o sistema flutuante foi superior nas combinações C2 (206,6%) e C4 (44,2%), evidenciando melhor desempenho sob condições de estresse salino com ou sem aplicação de melatonina.

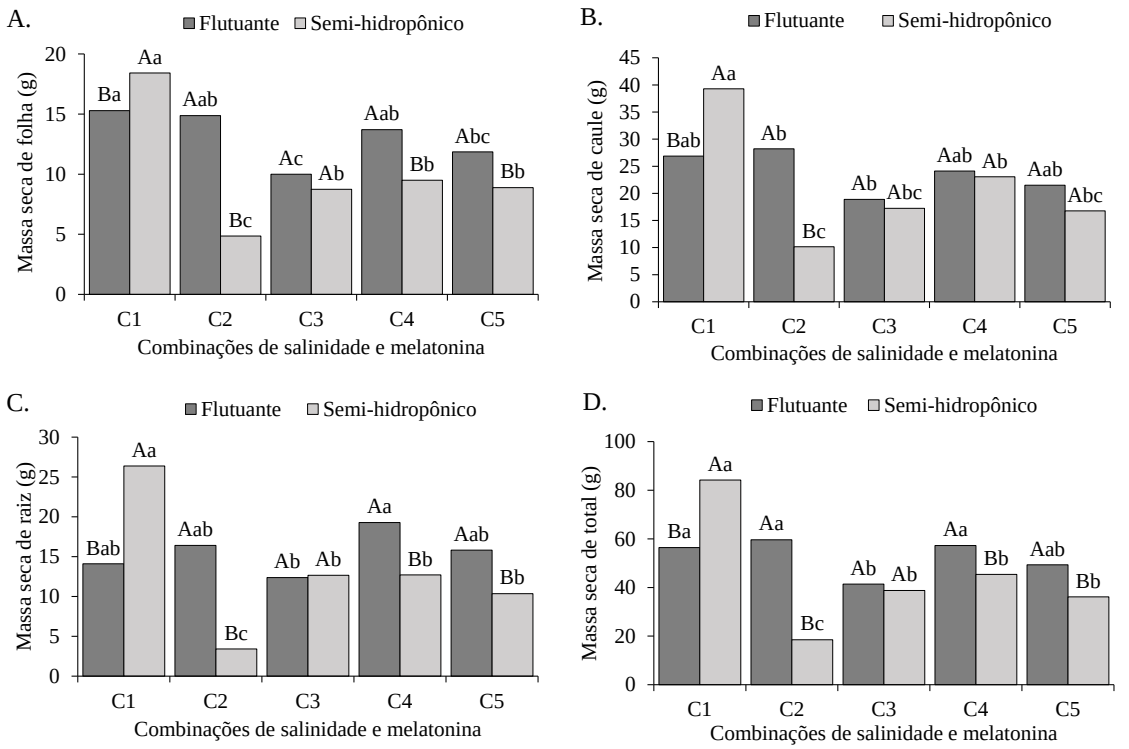


Figura 7. Massa seca da folha (A), massa seca do caule (B), massa seca da raiz (C) e massa seca de total (D) de mamoeiro Formosa Tainung nº1, cultivado em dois sistemas hidropônicos e submetido a combinações de salinidade e melatonina. Letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre os sistemas de cultivo dentro de cada combinação de tratamento, enquanto letras minúsculas indicam diferenças entre as combinações de salinidade e melatonina dentro de um mesmo sistema de cultivo, de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Em relação à massa seca do caule (MSC), observaram-se diferenças significativas entre os sistemas de cultivo nas combinações C1 e C2. Na combinação C1 (solução nutritiva padrão – 2,5 dS m^{-1}), o sistema semi-hidropônico apresentou maior acúmulo de biomassa, sendo 46,1% superior ao sistema flutuante. Por outro lado, na combinação C2 (solução salinizada com NaCl – 5,0 dS m^{-1}, sem melatonina), o sistema flutuante demonstrou melhor desempenho, com MSC 64,1% superior em relação ao sistema semi-hidropônico (Figura 7B). Esses resultados indicam que, sob condições de estresse salino moderado (C1), o sistema semi-hidropônico favorece a MSC, enquanto sob estresse (C2), o sistema flutuante mostra maior eficiência em manter a produção de biomassa nesta parte da planta.

No sistema flutuante, o aumento da salinidade da solução nutritiva de 2,5 dS m^{-1} (C1) para 5,0 dS m^{-1} (C2) não resultou em diferença significativa na massa seca do caule (MSC). Contudo, a aplicação da menor dose de melatonina (50 µM – C3) promoveu uma redução de 29,7% na MSC em comparação ao controle (C1), sugerindo

um possível efeito negativo da interação entre a salinidade e essa dose inicial do regulador. Já no sistema semi-hidropônico, a salinização da solução causou reduções acentuadas na MSC, independentemente da aplicação de melatonina, sendo a maior perda observada no tratamento C2 (sem melatonina), com redução de 74,2% em relação ao controle. As diferentes doses de melatonina (C3, C4 e C5), embora tenham atenuado parcialmente os efeitos da salinidade sobre a MSC, não diferiram significativamente entre si (Figura 7B).

A aplicação foliar de melatonina atenuou parcialmente os efeitos negativos da salinidade sobre a massa seca de raízes (MSR), especialmente no sistema flutuante, onde as combinações C4 (100 µM) e C5 (200 µM) apresentaram valores superiores ao tratamento controle (C1), com aumentos de 51,7% e 52,8%, respectivamente (Figura 7C). No entanto, no sistema semi-hidropônico, a aplicação de melatonina não foi suficiente para restaurar os níveis de MSR observados no controle (C1), sendo este o tratamento com maior valor, superando o sistema flutuante em 87,2%.

Ainda no sistema semi-hidropônico, a combinação salina sem melatonina (C2) provocou expressiva redução de 87,1% na MSR em relação ao controle, evidenciando a sensibilidade das raízes a esse estresse. Já no sistema flutuante, observou-se efeito significativo nas combinações C2 e C3, com destaque para C3 (50 µM de melatonina), que apresentou incremento de 55,9% em relação ao C2, sugerindo maior eficiência da melatonina em doses mais baixas nesse sistema. De forma geral, os dados indicam que os efeitos mitigadores da melatonina sobre o estresse salino na MSR foram mais evidentes no sistema flutuante, especialmente nas doses de 100 e 200 µM.

O sistema semi-hidropônico superior na combinação C1 em 49,3%, enquanto o sistema flutuante foi superior nas combinações C2 (222,2%), C4 (26,16%) e C5 (36,5%) (Figura 7D). Analisando o efeito das combinações de salinidade com melatonina (C4 e C5), foi observado comportamento diferente de acordo com cada sistema de cultivo analisado. No sistema flutuante, ocorreu diferença significativa nas combinações C3 e C4, sendo C4 superior em 38,3% para MST. No sistema semi-hidropônico, a combinação C2 proporcionou redução de 78,0% na MST, em comparação com a combinação C1. Nas demais combinações utilizando melatonina (C3, C4, C5) foi observada redução no efeito do estresse salino, tendo em vista que as combinações proporcionaram menor perda na MST em comparação com a C1 (Figura 7D)

De forma geral, verificou-se que o mamoeiro apresentou maior tolerância a salinidade quando foi cultivado no sistema flutuante. Este comportamento pode ser atribuído ao fato de o sistema radicular das plantas estar em constante contato com a solução nutritiva, sendo menor o gasto de energia das plantas para absorver água e nutrientes (THAPA, et al. 2024). Por outro lado, as plantas cultivadas no sistema semi-hidropônico apresentaram perdas significativas no acúmulo de biomassa, seja analisada cada parte da planta (MSF, MSC e MSR) ou no total (MST).

A inibição no acúmulo de fitomassa pode ter ocorrido devido ao efeito toxico dos ions Na^+ e Cl^-, as plantas sob estresse salino tendem utilizar suas reservas, que antes seria utilizada para o crescimento e desenvolvimento, para aclimatar-se as condições adversas da alta concentração de sais na solução do solo, que ocasiona redução na assimilação de carbono e no ganho de biomassa (TRAVASSOS et al., 2011).O estresse salino compromete significativamente o acúmulo de biomassa em plantas de mamoeiro, conforme relatado por Sá et al. (2013a) e Targino et al. (2023). Neste estudo, a aplicação de melatonina atenuou parcialmente esses efeitos negativos, possivelmente devido à sua ação antioxidante, que reduz o estresse oxidativo e contribui para a preservação da integridade celular em condições adversas (Zhan et al., 2019).

Além disso, Li et al. (2019) destacam que a melatonina também atua na fotoproteção e manutenção da atividade fotossintética sob estresse salino, o que pode ter favorecido o maior acúmulo de massa seca observado em algumas combinações no sistema semi-hidropônico.

Com relação as trocas gasosas, foi observado que ocorreu resposta significativa para interação entre os fatores sistema de cultivo e combinações de salinidade e melatonina para as variáveis transpiração (*E*), fotossíntese (*A*), condutância estomática (*gs*), concentração intracelular de CO_2 (*Ci*), eficiência instantânea de carboxilação (*EiCi*), em nível de 1% de probabilidade, enquanto eficiência instantânea do uso da água (*EiUA*) foi afetada em nível de 5% de probabilidade (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo da análise de variância para Transpiração (E), Fotossíntese (A), Condutância estomática (Gs), concentração intracelular de CO_2 (Ci), eficiência de carboxilação (ECi), e eficiência do uso da água (EUA) de mamoeiro cultivado em dois sistemas hidropônicos e submetido a combinações de salinidade e melatonina.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios					
		E	**A**	**Gs**	**Ci**	**EUA**	**ECi**
Bloco	3	0,09*	2,76^{ns}	261,85^{ns}	636,65^{ns}	0,0009^{ns}	0,0003^{ns}
Sistemas (S)	1	0,006^{ns}	18,83*	12517,54**	6443,83*	0,010**	0,001*
Erro 1	3	0,006	1,73	236,8	238,05	0,0001	0,00004
Combinação (C)	4	0,36**	64,62**	4390,77**	1010,48**	0,0016**	0,002**
S x C	4	0,66**	32,49**	15773,29**	3901,62**	0,0028**	0,0007*
Erro 2	24	0,06	1,19	156,53	136,42	0,0001	0,0001
CV1 (%)		4,34	8,96	10,51	7,14	11,24	10,05
CV2		13,27	7,44	8,54	5,4	12,38	12,23

GL: graus de liberdade; CV: coeficientes de variação; ^{ns}: não significativo pelo teste F; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade.

A transpiração (*E*) foi reduzida pelos sistemas nas combinações C1 e C4, sendo o sistema flutuante superior em C1 em 41,2%, e o semi-hidropônico superior em C4 em 64,7%. Quando ao efeito das combinações salinidade e melatonina, verificou-se que a salinidade na ausência de melatonina não afetou a transpiração. No entanto, quando foi aplicado a dose de 100 µM de melatonina em condição salina (C4) provocou redução de 52,4% na transpiração para as plantas cultivadas no sistema flutuante. Não houve efeito da salinidade e nem da aplicação de melatonina para o sistema semi-hidropônico (Figura 8).

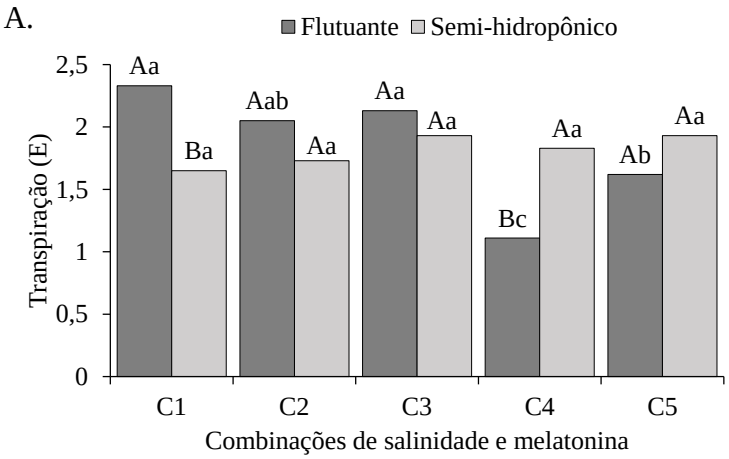


Figura 8. Transpiração de mamoeiro Formosa Tainung nº1, cultivado em dois sistemas hidropônicos e submetido a combinações de salinidade e melatonina. Letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre os sistemas de cultivo dentro de cada combinação de tratamento, enquanto letras minúsculas indicam diferenças entre as combinações de salinidade e melatonina dentro de um mesmo sistema de cultivo, de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Estes resultados corroboram oque foram apresentados por Sousa (2020), em que não observou efeito da salinidade sobre a transpiração do mamoeiro. Em estudo desenvolvido por Targino et al. (2023) com estresse salino e ácido húmico em mudas de mamoeiro, os autores observaram aumento na transpiração em maiores níveis salinos. Esses autores sugerem que isto ocorreu devido a manutenção do conteúdo de água no solo suficiente para manter os estômatos abertos e sem desidratação da planta. Como no presente estudo foram utilizados dois sistemas hidropônicos, que proporcionam menor dificuldade para as plantas absorverem água e nutrientes, pode explicar a ausência da salinidade sobre a transpiração das plantas.

Para fotossíntese, houve diferença entre os sistemas de cultivo apenas nas combinações C3 e C5. Na combinação C3 o sistema flutuante foi superior em 25,8%, enquanto o sistema semi-hidropônico foi superior ao flutuante em 26,0% na combinação C5 (Figura 9). A salinidade da solução nutritiva (C2) não afetou a fotossíntese para nenhum dos sistemas. Porém, o sistema flutuante a aplicação de melatonina na maior dosagem (C5) proporcionou redução de 29,0% na fotossíntese. Para o sistema semi-hidropônico, as combinações C3 e C4 resultaram em redução média de 12% (Figura 9).

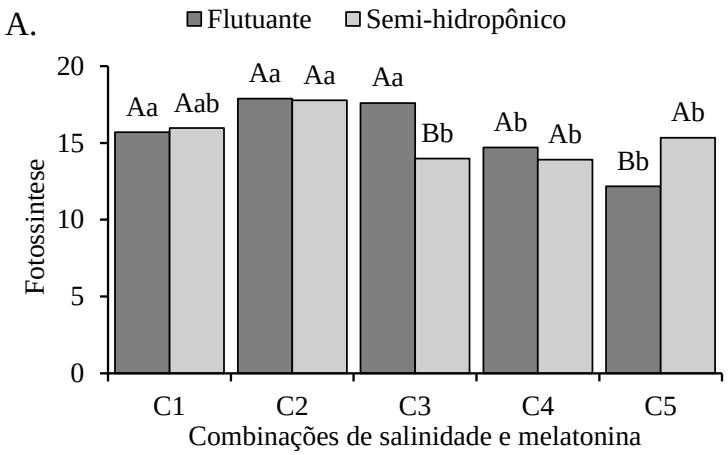


Figura 9. Fotossíntese de mamoeiro Formosa Tainung nº1, cultivado em dois sistemas hidropônicos e submetido a combinações de salinidade e melatonina. Letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre os sistemas de cultivo dentro de cada combinação de tratamento, enquanto letras minúsculas indicam diferenças entre as combinações de salinidade e melatonina dentro de um mesmo sistema de cultivo, de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Souza et al (2021) observaram redução da fotossíntese (A) para salinidade a partir de 4 dS m^{-1}. A ausência de resposta significativa no presente estudo pode ser atribuída ao sistema de cultivo utilizado, tendo em vista que o sistema hidropônico proporciona uma maior tolerância das plantas a salinidade.

Para condutância estomática (*gs*), verificou-se que ocorreu diferença significativa entre os sistemas de cultivo nas combinações C1 e C2, sendo o sistemasemi-hidropônicoe superior em 102,3% na ausência de estrese salino (C1), enquanto o sistema flutuante foi superior em 113,4% na condição salina e sem aplicação de melatonina (C2) (Figura 10). Quanto ao efeito das combinações de salinidade com aplicação de melatonina, verificou-se respostas variadas de acordo com o sistema de cultivo utilizado. No sistema flutuante, a adição de NaCl na solução nutritiva (C2) proporcionou aumento de 123,7% na Gs do mamoeiro, em comparação com os valores obtidos na solução nutritiva padrão (C1). No entanto, a aplicação foliar de melatonina reduziu a *gs*. Para o sistema semi-hidropônico, a salinidade reduziu a *gs* em 48,2%, porém, a aplicação foliar de melatonina reduziu o efeito do estresse salino (Figura 10).

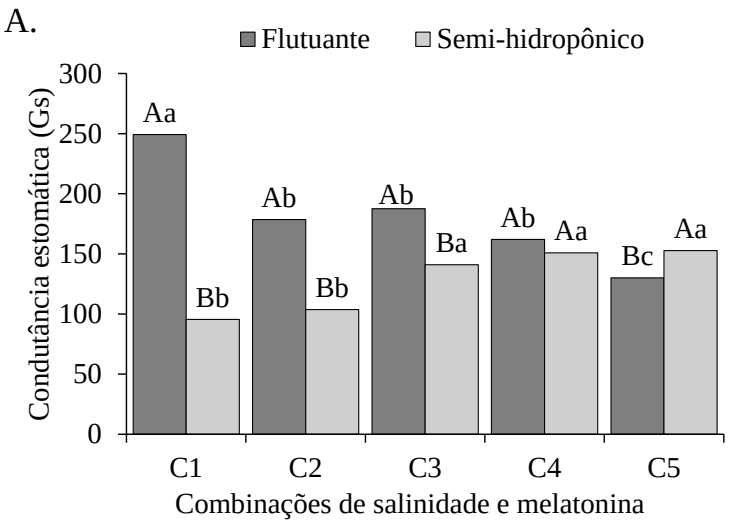


Figura 10. Condutância estomática de mamoeiro Formosa Tainung nº1, cultivado em dois sistemas hidropônicos e submetido a combinações de salinidade e melatonina. Letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre os sistemas de cultivo dentro de cada combinação de tratamento, enquanto letras minúsculas indicam diferenças entre as combinações de salinidade e melatonina dentro de um mesmo sistema de cultivo, de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os íons de Na^+ e Cl^- na solução nutritiva reduz a capacidade das plantas de absorver água, enquanto o declínio na condutância estomática é uma resposta adaptativa que diminui as perdas de água via transpiração, protegendo assim as plantas da desidratação (SHARIPOVA et al., 2022).

Os estômatos são canais para a troca de água e gases nas plantas com o ambiente externo, e o tamanho, número e função reguladora dos estômatos estão relacionados a processos fisiológicos como a transpiração (CASSON, GRAY, 2008).

O NaCl reduz no nível de CO_2 no mesofilo, causando mudanças na fotoquímica foliar e no metabolismo do carbono, que afetam diretamente a fotossíntese das plantas (XU, ZHOU, 2008). Sob estresse salino, o comprimento e a largura dos estômatos e a largura do diâmetro dos poros da planta diminuem, e a densidade dos estômatos aumenta (GUO et al., 2015).

A melatonina atua aumentando a tolerância das plantas à salinidade aumentando o comprimento, a largura e a abertura dos estômatos, aumentando a eficiência dos estômatos (KHAN et al., 2019; DAI et al., 2020). O tratamento com melatonina pode aumentar o tamanho e a abertura dos poros grandes e reduzir a densidade dos estômatos, promovendo expansão do limbo foliar e reduzindo a densidade estomática, aumentando a capacidade fotossintética das plantas (JIANG et al., 2021).

Com relação com concentração intercelular de CO_2 (*Ci*), foi observada diferença significativa entre os sistemas de cultivo nas combinações C1 e C2, nas quais o sistema semi-hidropônico foi superior ao sistema flutuante em 83,4 e 80,0%, respectivamente (Figura 11). Quanto ao efeito da salinidade sobre a *Ci*, verificou-se que a adição de NaCl na solução nutritiva aumentou a *Ci* em 69,5% nas plantas cultivadas no sistema flutuante. Por outro lado, no sistema semi-hidropônico, o estrese salino reduziu a *Ci* em 14,7%, sendo o efeito maior quando as plantas foram submetidas ao estresse salino e receberam a aplicação na maior dose de melatonina (C5), com perda de 19,9% (Figura 11).

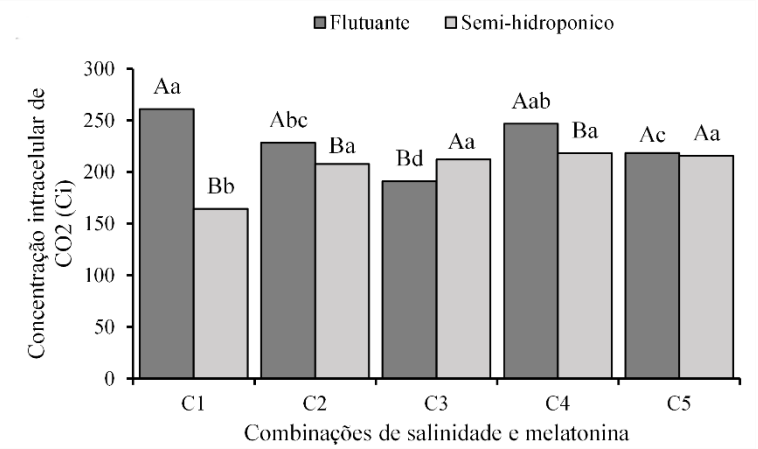


Figura 11. Concentração intracelular de CO_2 de mamoeiro Formosa Tainung nº1, cultivado em dois sistemas hidropônicos e submetido a combinações de salinidade e melatonina. Letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre os sistemas de cultivo dentro de cada combinação de tratamento, enquanto letras minúsculas indicam diferenças entre as combinações de salinidade e melatonina dentro de um mesmo sistema de cultivo, de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

A redução da Ci em plantas estressadas deve-se ao fechamento dos estômatos, que regulam a concentração subestomática de CO_2 durante as trocas gasosas. Assim, o *Ci* reflete a disponibilidade de substrato para a fotossíntese, podendo indicar se o fechamento estomático está restringindo a atividade fotossintética (PEREIRA et al., 2020). O estresse salino pode ocasionar distúrbios na planta relacionados à redução da condutância estomática e, consequentemente, redução da difusão de CO_2 e da taxa fotossintética, prejudicando todo o processo de crescimento e desenvolvimento da planta (HUSSAIN et al., 2018).

Segundo Machado et al. (2009), o decréscimo em *Ci* poderia acarretar queda em A devido à redução na concentração de CO_2 para atividade da RuBisCO. Entretanto, menores valores de *Ci* também estimulam a abertura dos estômatos permitindo maior

influxo de CO_2 para a cavidade subestomática, o que tende a um equilíbrio entre consumo e entrada de CO_2, mantendo Ci aproximadamente constante.

De acordo com Jiang et al. (2021), a melatonina pode proteger a estrutura do cloroplasto e a estabilidade dos órgãos fotossintéticos até certo ponto, manter um alto nível de clorofila, aumentar a capacidade das folhas de capturar energia luminosa, promover a fotossíntese e efetivamente aliviar o efeito inibitório da fotossíntese foliar sob estresse salino.

Quanto à eficiência instantânea do uso da água (*EiUA*), ocorreram diferenças significativas entre os sistemas de cultivo para as combinações sem aplicação de melatonina (C1 e C2), nas quais o sistema flutuante foi superior ao sistema semi-hidropônico em 54,6 e 82,9%, respectivamente (Figura 12). Quanto ao efeito das combinações de salinidade com melatonina sobre a *EiUA*, foram observadas respostas diferentes para cada sistema de cultivo. No sistema flutuante, a adição de NaCl (C2) provocou aumento de 33,7% na *EiUA* em comparação com os valores obtidos na solução nutritiva padrão (C1). Por outro lado, na condição salina e com maior dose de melatonina (C5) ocorreu redução de 20,2% na *EiUA*, também em comparação com a C1. Para o sistema semi-hidropônico não foi observado efeito da salinidade sobre a *EiUA*, no entanto, na combinação C4 ocorreu aumento de 52,4% na *EiUA* (Figura 12).

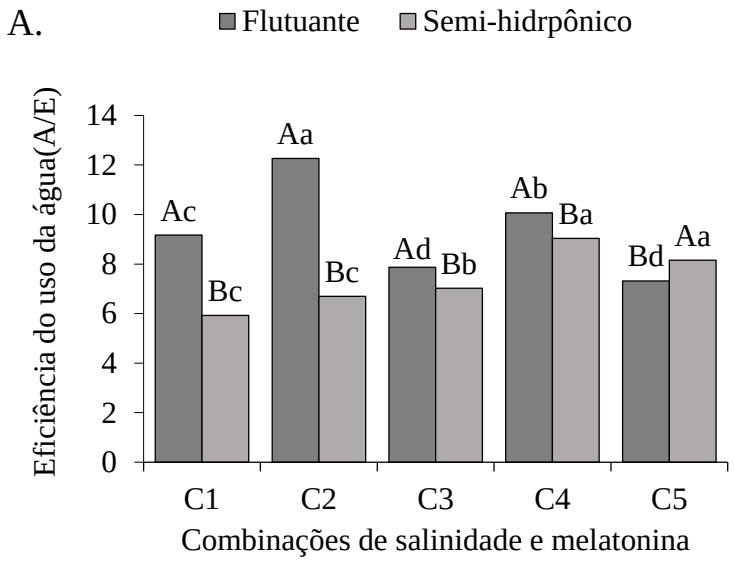


Figura 12. Eficiência do uso da água (A/E) de mamoeiro Formosa Tainung nº1, cultivado em dois sistemas hidropônicos e submetido a combinações de salinidade e melatonina. Letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre os sistemas de cultivo dentro de cada combinação de tratamento, enquanto letras minúsculas indicam

diferenças entre as combinações de salinidade e melatonina dentro de um mesmo sistema de cultivo, de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

O aumento da *EiUA* em resposta a salinidade no sistema flutuante ocorreu porque o efeito do estresse salino foi maior na transpiração, e não afetou a fotossíntese. Em contrapartida, a redução da *EiUA* na aplicação da melatonina deve-se ao fato de o hormônio ter reduzido o efeito da salinidade sobre a fotossíntese.

Durante as trocas gasosas, a absorção de CO_2 do meio externo promove perda de água e a planta para poder diminuir tal perda, restringe a entrada de CO_2 (SHINOZAKI et al., 2007). Esta interdependência expressa pela relação entre a fotossíntese e a transpiração indica a eficiência no uso da água que relaciona a quantidade de carbono que a planta fixa por cada unidade de água que perde (TAIZ et al., 2017).

Para a eficiência de carboxilação (*EiCi*), não houve diferença entre o sistema de cultiva para nenhuma das combinações de salinidade e melatonina. No entanto, houve efeito da salinidade para os dois sistemas, sendo observado aumento de 67,4% para o sistema flutuante e de 91,8% para o sistema semi-hridropônico quando as plantas foram submetidas ao estresse salino e ausência de melatonina (C2), em comparação com a solução nutritiva padrão (C1). Além disso, verificou-se que para ambos os sistemas aplicação de melatonina nas doses aplicadas reduziu a *EiCi* (Figura 13A).

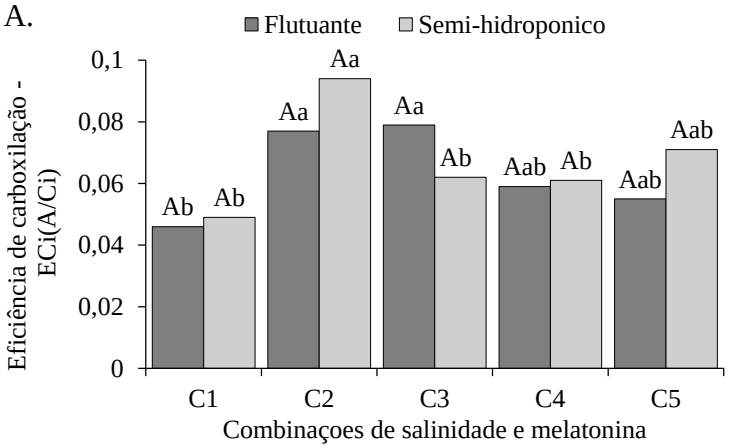


Figura 13. Eficiência de carboxilação de mamoeiro Formosa Tainung nº1, cultivado em dois sistemas hidropônicos e submetido a combinações de salinidade e melatonina. Letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre os sistemas de cultivo dentro de cada combinação de tratamento, enquanto letras minúsculas indicam diferenças entre as combinações de salinidade e melatonina dentro de um mesmo sistema de cultivo, de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

Alguns autores trabalhando com algumas culturas, a exemplo de goiabeira (OLIVEIRA et al, 2017), observaram redução na *EiCi* em função do aumento da salinidade do meio. A diminuição da eficiência instantânea de carboxilação devido ao estresse salino pode estar associada a restrições metabólicas no ciclo de Calvin e à ocorrência de fatores não estomáticos que atuam no aparelho fotossintético, como a inibição da atividade da enzima RuBisCO devido à redução da disponibilidade de ATP e NADPH (KHAN et al., 2018)

No entanto, como foi apresentado anteriormente, a *EiCi* aumentou em resposta a salinidade. Este comportamento pode ser atribuído ao fato de o experimento ter sido desenvolvido em sistemas hidropônicos os quais proporcionam uma tolerância das plantas a salinidade.

4. CONCLUSÕES

O sistema de cultivo do tipo flutuante promoveu maior tolerância das mudas de mamoeiro Formosa Tainung nº1 à salinidade e nesse sistema não foi observado efeito significativo da aplicação da melatonina.

No cultivo semi-hidropônico, foi observado efeito deletério do estresse salino sobre o crescimento das plantas.

A aplicação de melatonina na concentração a partir de 50µM reduz o efeito negativo da salinidade sobre as plantas. Com isto, a melatonina é eficiente para mitigar o efeito do estresse salino em mudas de mamoeiro independente do sistema hidropônico.

5. REFERÊNCIAS

AGUILAR-BAUTISTA, et al. Salinity Effect of Nutrient Solution on Maradol papaya. **Cienc. Tecnol. Agropecuaria**, v. 23, n. 3, 2022. Available from <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-87062022000300014&lng=en&nrm=iso>. access on 02 jan. 2025.

AHMAD, I. et al. The role of melatonin in plant growth and metabolism, and its interplay with nitric oxide and auxin in plants under different types of abiotic stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, p. 1108507, 2023.

ARIF, Y. et al. Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: an omic approach towards salt stress tolerance. **Plant Physiol Biochem**, v. 156, p. 64–77, 2020.

BAI, Y. et al. Melatonin improves the germination rate of cotton seeds under drought stress by opening pores in the seed coat. **Environmental Science, Agricultural and Food Sciences,** v.8, e9450, 2020.

CASSON, S.; GRAY, J. E. Influence of environmental factors on stomatal development. **New Phytologist**, v. 178, n. 1, p. 9-23, 2008.

CAVALCANTE, I.H.L. et al. Foliar spray of humic substances on seedling production of Papaya. **Journal of Agronomy**. V.10, p.118- 122, 2016.

CEN, H. et al. Melatonin application improves salt tolerance of alfalfa (*Medicago sativa* L.) by enhancing antioxidant capacity. **Plants**, v.9, e220, 2020.

COLOMBAGE, R. et al. Melatonin and abiotic stress tolerance in crop plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 8, p. 7447, 2023.

DAI, L. et al. Melatonin enhances drought resistance by regulating leaf stomatal behaviour, root growth and catalase activity in two contrasting rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 149, p. 86-95, 2020.

DINIZ, M.T.M. et al. Climatologia do estado do Rio Grande do Norte, Brasil: sistemas atmosféricos atuantes e mapeamento de tipos de clima**. Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 35, n. 3, p. 488-506, 2015. Disponível em: https://revistas.ufg.br/index.php/bgg/article/view/38839. Acesso em: 18 nov. 2024.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. Revista Brasileira de Biometria 37: 529-535, 2019.

FREIRE, A.L.O. et al. Crescimento, acúmulo de íons e produção de tomateiro irrigado com água salina. **Semina: Ciências Agrárias**, v.31, p.1133-1144, 2010.

FURLANI, P.R. et al. **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas, SP: Instituto Agronômico de Campinas, 1999. 52 p.

GALVAN-AMPUDIA, C.S.; TESTERINK, C. Salt stress signals shape the plant root. **Current opinion in plant biology**, v. 14, n. 3, p. 296- 302, 2011.

GUO, P. et al. Physiological responses of alfalfa to high-level salt stress: root ion flux and stomatal characteristics. **International journal of agriculture & biology**, v. 18, n. 1, p. 125-133, 2015.

HASANUZZAMAN, M. et al. Regulation of reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under salinity. **International Journal of Molecular Sciences**, vol. 22, n 17, p. 9326, 2021.

HUSSAIN, M. et al. Rice in saline soils: physiology, biochemistry, genetics, and management. **Advances in agronomy**, v. 148, p. 231-287, 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística **Sidra: tabela 5457 – área plantada ou destinada a colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias e permanentes.** 2022. Disponível em. https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado. Acesso em: 10 de out. de 2024.

JIANG, D. et al. Exogenous melatonin improves the salt tolerance of cotton by removing active oxygen and protecting photosynthetic organs. **BMC Plant Biology**, v.21. 331, 2021.

KE, Q. et al. Melatonin mitigates salt stress in wheat seedlings by modulating polyamine metabolism. **Frontiers in Plant Science,** v.9, 914, 2018.

KHAN, M.N. et al. Seed priming with melatonin coping drought stress in rapeseed by regulating reactive oxygen species detoxification: Antioxidant defense system, osmotic adjustment, stomatal traits and chloroplast ultrastructure perseveration. **Industrial Crops and Products**, v. 140, p. 111597, 2019.

KHAN, W.U.D. et al. Silicon nutrition mitigates salinity stress in maize by modulating ion accumulation, photosynthesis, and antioxidants. **Photosynthetica**, v. 56, n. 4, p. 1047-1057, 2018.

LI, J. et al. The role of melatonin in salt stress responses. **International Journal of Molecular Sciences**, v.20, e1735, 2019.

LIANG, C. et al. Melatonin regulates root architecture by modulating auxin response in rice. **Frontiers in Plant Science,** v.8, 134, 2017.

LUCENA, C.C. et al. **Aspectos socioeconômicos: A cultura do mamoeiro**. Brasília: EMBRAPA, pp. 10-40. 2021.

MACHADO, R.S. et al. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 12, p. 1575- 1582, 2009.

NAJM, A. et al. The effect of culture substrate and seed pretreatment on the production of papaya seedlings of Bangladeshi variety. **Crop Science Research in Arid Regions**, v. 6, n. 2, p. 453-466, 2024.

NARESH, R. et al. Role of hydroponics in improving water-use efficiency and food security. **International Journal of Environment and Climate Change**, v. 14, n. 2, p. 608-633, 2024.

NASCIMENTO, I.R.S. et al. Effect of calcium-enriched microalgae extract on mitigating saline stress in papaya seedlings. **Brazilian Journal of Biology**, v. 84, p. e283432, 2024.

OLIVEIRA, W.J. et al. Leaf gas Exchange in cowpea and CO_2 efflux in soil irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, p.32-37, 2017.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO. **FAO. FAOSTAT**. Divisão de estatística, 2023. Acesso em: 20 de outubro de 2024.

PEREIRA, E.R.L. et al. Resposta fisiológica do algodão colorido em estresse salino. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 7, n. 16, p. 653-664, 2020.

REFAHI, A.; SHAHSAVAR, A. Effects of salinity stress on certain morphological traits and antioxidant enzymes of two Carica papaya cultivars in hydroponic culture. **Advances in Horticultural Science,** v. 31, p.131–139, 2017.

SÁ, F.V.S. et al. Produção de mudas de mamoeiro irrigadas com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.1047-1054, 2013a.

SÁ, F.V.S. et al. Tolerance of castor bean cultivars under salt stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.6, p.557-563, 2016.

SÁ, F.V.S. et al. Crescimento inicial e acúmulo de massa seca de cultivares de mamoeiro submetidas à salinidade da água em cultivo hidropônico. **Revista Brasileira de Ciências**, v. 8, n. 3, p. 435-440, 2013b.

SERAFINI, S. et al. Aspectos e peculiaridades da produção comercial de mamão (Carica papaya Linnaeus) no Brasil: estratégias para o futuro da cultura. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, 2021.

SILVA, M.D.F. et al. Exigência térmica e caracterização fenológica de variedades de mamoeiro cultivadas em clima subtropical. **IRRIGA**, v. 24, n. 2, p. 367-377, 2019.

SINGH, S.P. et al. Therapeutic application of Carica papaya leaf extract in the treatment of human diseases. **DARU Journal of Pharmaceutical Sciences**, 28:735-744, 2020.

SHARIPOVA, G. et al. Effect of Salinity on stomatal conductance, leaf hydraulic conductance, HvPIP2 aquaporin, and abscisic acid abundance in barley leaf cells. **International Journal of Molecular Sciences.** v. 23, 14282, 2022.

SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. Gene networks involved in drought stress response and tolerance. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, n. 2, p. 221-227, 2007.

SOUSA, J.Y.B. et al. Detecção temporal de impactos em áreas conflitantes e uso dos recursos hídricos no semiárido da Paraíba. **Revista de Geociências do Nordeste**, v.6, n.2, p.24-31, 2020.

SOUZA, F.E.C. et al. Crescimento e acúmulo de nutrientes em mudas de mamoeiro cultivadas em substratos orgânicos. **Revista Ceres** , v. 68, n. 4, p. 267-275, 2021.

SHARMA, P. et al. Melatonin as plant growth regulator in sustainable agriculture. **Scientia Horticulturae**, v. 323, p. 112421, 2024.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.A.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal.** 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TARGINO, V.A. et al. Growth and physiology of 'Sunrise' papaya seedlings in response to salinity and humic acid. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 5, p. 352-358, 2023.

THAPA, B. et al. Application of Hydroponic System. **KEC Journal of Science and Engineering**, v. 8, n. 1, p. 33-37, 2024.

TRAVASSOS, K.D. et al. Crescimento e produção de flores de girassol irrigado com água salobra. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.5, n.2, p.123-133, 2011.

VAN TRI, M. et al. Orchard Management. In: **Dragon Fruit: Botany, Production and Uses**. p. 102-146, 2024.

WANG, Q. et al. The Physiological Mechanism of Melatonin Enhancing the Tolerance of Oat Seedlings under Saline–Alkali Stress. **Agronomy**, v.13, 2343, 2023.

XU, Z.Z.; ZHOU, G.S. Responses of leaf stomatal density to water status and its relationship with photosynthesis in a grass. **Journal of Experimental Botany**. v. 59, n. 12, p. 3317-3325, 2008.

ZHAN, H. et al. Melatonin: a small molecule but important for salt stress tolerance in plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v.20, e709, 2019.

ZHANG, N. et al. The RNA-seq approach to discriminate gene expression profiles in response to melatonin on cucumber lateral root formation. **Journal of Pineal Research**, v.56, 39-50, 2014.