



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, SOCIAIS E AGRÁRIAS  
CURSO DE LICENCIATURA EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CAMPUS III – BANANEIRAS – PB**

**VITÓRIA STEFANY DE MOURA**

**O METIL JASMONATO NÃO ATENUA O ESTRESSE SALINO EM *Raphanus sativus***

**Bananeiras – PARAÍBA  
Junho de 2023**

VITÓRIA STEFANY DE MOURA

**O METIL JASMONATO NÃO ATENUA O ESTRESSE SALINO EM *Raphanus sativus***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Licenciatura em Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de Licenciada em Ciências Agrárias.

**Orientador:** Thiago Jardelino Dias

**Coorientadora:** Juliane Maciel Henschel

**Bananeiras – PARAÍBA**  
**Junho de 2023**

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

M929m Moura, Vitoria Stefany de.

O metil jasmonato não atenua o estresse salino em raphanus sativus / Vitoria Stefany de Moura. - João Pessoa, 2023.

25f. : il.

Orientação: Thiago Jardelino Dias.

Coorientação: Juliane Maciel Henschel.

Monografia (Graduação) - UFPB/cchsa.

1. Regulador de crescimento, Ácido jasmônico, salinid. I. Dias, Thiago Jardelino. II. Henschel, Juliane Maciel. III. Título.

UFPB/CCHSA-BANANEIRAS

CDU 631

VITÓRIA STEFANY DE MOURA

**O METIL JASMONATO NÃO ATENUA O**

**ESTRESSE SALINO EM *Raphanus sativus***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Licenciatura em Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de Licenciada em Ciências Agrárias.

Data: 05 / 06 / 2023.

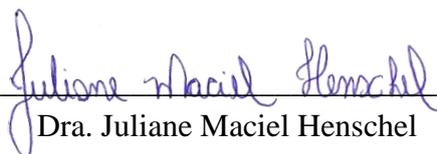
Resultado: APROVADA.

**Banca examinadora**



---

Prof. Dr. Thiago Jardelino Dias  
Orientador



---

Dra. Juliane Maciel Henschel  
Coorientadora



---

Doutorando Adriano Salviano Lopes  
Examinador

**Bananeiras – PARAÍBA**  
**Junho de 2023**

## **AGRADECIMENTO**

O desenvolvimento deste trabalho de pesquisa contou com a ajuda de diversas pessoas, dentre as quais agradeço:

Primeiramente a Deus, agradeço por guiar sempre meus passos nos momentos de dificuldades enfrentados neste meu percurso pela faculdade.

Ao professor Orientador, Thiago Jardelino Dias e à querida professora Coorientadora, Juliane Maciel Henschel, sou imensamente grata pela oportunidade e confiança depositados em mim, por todo o apoio, orientações e dedicação ao longo dessa jornada de pesquisa, além disso, suas contribuições ao campo da fisiologia vegetal são admiráveis e inspiradoras e foram essenciais para o sucesso deste trabalho.

A minha família; minha mãe, minhas irmãs e meu namorado, que sempre me motivaram nos meus estudos e nunca permitiram que eu desistisse de conquistar o que almejo.

Também gostaria de expressar minha gratidão ao grupo de pesquisa de fisiologia vegetal, por me acolherem tão bem, por compartilharem seus conhecimentos e por me incentivarem a me aprofundar nesse campo fascinante da ciência. Toda a colaboração e troca de conhecimentos enriqueceram significativamente minha experiência acadêmica. Que nossa parceria e colaboração possam continuar a florescer, impulsionando novas descobertas e avanços nos próximos estudos.

Agradecer também a UFPB pela bolsa de estudos pois nada seria concretizado se não fosse o incentivo financeiro e social realizado pela universidade.

A todos que contribuíram direta e/ou indiretamente neste estudo meu muito obrigada.

## RESUMO

O estresse salino é um dos principais fatores que limitam o crescimento e a produtividade das plantas, especialmente sob a ameaça das mudanças climáticas. Portanto, é importante desenvolver estratégias que visem garantir a produção de alimentos mesmo em condições salinas. A aplicação exógena de metil jasmonato (MJ) para atenuar o estresse em plantas tem mostrado resultados promissores. Neste estudo, avaliamos os efeitos de diferentes concentrações de MJ no crescimento e na morfologia do rabanete (*Raphanus sativus* L.) sob condições de estresse salino. As plantas foram irrigadas com solução salina (120 mM de NaCl, 12,25 dS m<sup>-1</sup>) e água não salina (controle, 0,31 dS m<sup>-1</sup>) e pulverizadas semanalmente com soluções de MJ (5 µM, 50 µM, 500 µM e 5 mM) e água destilada. O período experimental teve início sete dias após a semeadura (DAS) e durou até 30 DAS. Em plantas com estresse salino, a capacidade fotossintética foi reduzida e o crescimento do rabanete diminuiu em 50%; no entanto, a concentração de clorofila e carotenoides, extravasamento de eletrólitos e taxa de respiração no escuro aumentaram. Nossos resultados mostraram que nenhuma das concentrações de MJ mitigou a inibição do crescimento causada pelo estresse salino; independentemente do estresse salino, a maior concentração de MJ (5 mM) restringiu a formação de raízes de armazenamento. Em contraste, 5 µM de MJ mitigou os efeitos negativos do estresse salino na taxa de assimilação de carbono, transpiração, condutância estomática e respiração no escuro. Portanto, o MJ não atenua o estresse salino no rabanete e pode inibir o crescimento da planta em altas concentrações.

**Palavras-chave:** Regulador de crescimento · Ácido jasmônico · *Raphanus sativus* L. · Salinidade · Tolerância ao estresse

## **ABSTRACT**

Salt stress is a major factor limiting plant growth and productivity, especially under the threat of climate change. Therefore, it is important to develop strategies that aim to ensure food production even under saline conditions. The exogenous application of methyl jasmonate (MJ) to mitigate stress in plants has shown promising results. In this study, we evaluated the effects of different MJ concentrations on radish (*Raphanus sativus* L.) growth and morphology under salt-stress conditions. Plants were irrigated with saline (120 mM NaCl, 12.25 dS m<sup>-1</sup>) and tap water (control, 0.31 dS m<sup>-1</sup>) and sprayed weekly with MJ solutions (5 μM, 50 μM, 500 μM, and 5 mM) and distilled water. The experimental period started seven days after sowing (DAS) and lasted until 30 DAS. In salt-stressed plants, photosynthetic capacity was reduced and radish growth decreased by 50%; however, the chlorophyll and carotenoid concentration, electrolyte leakage, and dark respiration rate increased. Our results showed that none of the MJ concentrations mitigated growth inhibition caused by salt stress; independent of salt stress, the highest MJ concentration (5 mM) restricted the formation of fleshy storage root. In contrast, 5 μM MJ mitigated the negative effects of salt stress on carbon assimilation rate, transpiration, stomatal conductance, and dark respiration. Therefore, MJ does not mitigate salt stress in radish, and can inhibit plant growth at high concentration.

**Keywords:** Growth regulator · Jasmonic acid · *Raphanus sativus* L. · Salinity · Stress tolerance

## INTRODUÇÃO

A salinidade é um estresse abiótico que reduz o crescimento e a produtividade das plantas em todo o mundo, sendo caracterizada pela alta concentração de sal no solo e na água de irrigação (Hajihashemi et al., 2021; Zhao et al., 2021). Embora a salinização do solo ocorra naturalmente ela pode ser agravada por atividades agrícolas e industriais insustentáveis e pelos efeitos de mudanças climáticas (Corwin 2021; Eswar et al. 2021). Como as chuvas têm se tornado mais raras e irregulares devido às mudanças climáticas, o uso de águas subterrâneas salinas para irrigação de culturas vem aumentando, o que resulta na redução da produção agrícola (Xu et al. 2019; Eswar et al. 2021).

O estresse salino afeta o crescimento das plantas de várias maneiras; por exemplo, a redução do potencial osmótico do solo impede a absorção de água e diminui o turgor celular. Consequentemente, a expansão celular para e o estômato se fecha, reduzindo assim a taxa de fotossíntese (Hajihashemi et al. 2021). Além disso, as concentrações de íons como  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{HCO}_3^-$  podem ser tóxicas sob estresse salino; como resultado, os processos fisiológicos e bioquímicos são interrompidos e a absorção e o transporte de nutrientes são prejudicados devido a interações competitivas com transportadores (Ibrahimova et al. 2021; Zhao et al. 2021; Gao et al. 2022). Além disso, a salinidade resulta em estresse oxidativo secundário devido à superprodução de espécies reativas de oxigênio (ROS), que podem danificar membranas e moléculas orgânicas (Zelm e Zhang 2020). Como o estresse salino afeta negativamente o crescimento e o metabolismo das plantas, levando à morte, as plantas desenvolveram mecanismos para lidar com os efeitos da salinidade. Por exemplo, as plantas podem induzir o ajuste osmótico para permitir a absorção e transporte de água das raízes para os brotos, estimular a compartimentalização de íons para reduzir a toxicidade e ativar a defesa antioxidante para eliminar ROS (Isayenkov e Maathuis 2019; Zhao et al. 2021) . Além disso, as plantas modulam sua capacidade fotossintética, crescimento e equilíbrio hormonal para garantir sua sobrevivência em condições salinas (Arif et al. 2020; Yu et al. 2020).

Levando em conta que até o ano de 2050 mais da metade das terras aráveis do mundo não serão adequadas para semeadura devido à salinidade (Ibrahimova et al. 2021), é essencial desenvolver estratégias que visem aumentar a tolerância das plantas ao estresse salino. Nesse contexto, os hormônios vegetais desempenham um papel vital nas respostas das plantas à salinidade e outros estresses abióticos (Arif et al. 2020).

O jasmonato (JA), um hormônio vegetal conhecido principalmente por sua função na defesa da planta contra estresses bióticos, também está envolvido na defesa contra estresses abióticos, como seca, salinidade, estresse térmico, estresse luminoso e metais pesados (Farhangi-Abriz e Ghassemi Golezani 2019). O JA induz a expressão de genes responsivos ao sal, aumentando a capacidade antioxidante e a síntese de osmoprotetores como prolina e glicina-betaína (Farhangi-Abriz e Ghassemi Golezani 2019; Arif et al. 2020). De fato, JA e metil jasmonato (MJ) aplicados exogenamente demonstraram aumentar a tolerância ao estresse salino em culturas como o tomate (*Solanum lycopersicum*) e o arroz (*Oriza sativa*)(Ghassemi-Golezani et al. 2020; Yu et al. 2020; Gao et al. 2021; el Nahhas et al. 2021). No entanto, o JA também está relacionado à inibição do crescimento induzida por sal, que é uma importante estratégia de aclimatação para a sobrevivência da planta em ambientes salinos (Valenzuela et al. 2016; Gao et al. 2021). Embora a inibição do crescimento seja uma resposta de enfrentamento para garantir a sobrevivência da planta, ela pode reduzir a produção agrícola; assim, é necessário avaliar os efeitos de diferentes concentrações de JA aplicado exogenamente na indução de tolerância ao estresse salino e manutenção do crescimento das plantas. Além disso, como os genes induzidos por sal regulados por JA são altamente expressos em tecidos radiculares (Geng et al. 2013), é importante determinar o efeito de JA exógeno na indução de tolerância à salinidade em culturas tuberosas.

*Raphanus sativus L.*, comumente conhecido como rabanete, é uma cultura de raiz tuberosa amplamente cultivada pertencente à família Brassicaceae; é rico em nutrientes e antioxidantes e é apreciado por sua polpa crocante e sabor picante (Gamba et al. 2021; Garcia-Ibañez et al. 2022). Seu órgão comestível, comumente chamado de raiz, é composto pela parte inferior do hipocótilo engrossado e pela parte superior composta por tecido radicular verdadeiro (Zaki et al. 2012). Além disso, como os rabanetes têm uma taxa de crescimento rápida, ciclo de vida curto e alta capacidade adaptativa em relação às condições ambientais, eles servem como organismos modelo apropriados para estudar as respostas das plantas ao estresse salino (Welles e Funk 2021). Os rabanetes são considerados moderadamente sensíveis à salinidade, sendo que sua capacidade fotossintética, crescimento e rendimento diminuem sob condições de estresse salino (Bukhat et al. 2020; Zhang et al. 2021; Garcia-Ibañez et al. 2022). Em resposta à salinidade, os rabanetes ativam suas defesas antioxidantes e estimulam o

acúmulo de osmoprotetores (Sanoubar et al. 2020). Além disso, foi relatado que a aplicação exógena de MJ desencadeia defesas antioxidantes e acelera o acúmulo de antocianina em mudas de rabanete com 7 dias de idade em resposta ao estresse salino (Sakamoto e Suzuki et al. 2019).

As mudanças climáticas vem aumentando a necessidade do uso de águas salinas como fontes alternativas de água para irrigação; portanto, é importante desenvolver estratégias que possibilitem que as lavouras prosperem mesmo sob condições de estresse salino. Nesse contexto, o resultado da aplicação de MJ exógeno para induzir tolerância ao sal é promissor, principalmente em culturas de raízes tuberosas como o rabanete. No entanto, uma vez que o MJ também está associado à inibição do crescimento da planta, é importante analisar as respostas das plantas a diferentes concentrações de MJ em termos de ativação de respostas de defesa e manutenção de alto rendimento. Neste estudo, levantamos a hipótese de que concentrações apropriadas de MJ podem induzir tolerância ao estresse salino enquanto mantém alta produtividade em plantas de rabanete. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos de diferentes concentrações de MJ no crescimento, capacidade fotossintética e estabilidade de membrana de plantas de rabanete em condições salinas.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Localização experimental e material vegetal**

O experimento foi conduzido em casa de vegetação coberta com filme transparente, que fica na área experimental do Laboratório de Produção de Mudas do Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, Bananeiras, PB, Brasil (6° 45' S, 35°38' W, altitude de 526 m). Durante o período experimental, a temperatura média de 24,7 °C (19,4°C–30,1 °C) e umidade relativa de 85% (Inmet 2022). Oito sementes de rabanete (*R. sativus* L., cultivar 'Crimson Gigante'; Feltrin® Sementes, RS, Brasil) foram semeadas em vasos de polietileno de 5 L (17 cm de altura x 21 cm de largura) contendo calcário, macro e micronutrientes e substrato comercial MECPLANT® (MECPLANT®, HORTA-1, Telêmaco Borba, Brasil), composto por casca de pinus bioativada e vermiculita. Cada vaso foi fertilizado com 5 g de mistura granular de nitrogênio, fósforo e potássio (NPK, 4–14-8).

## 2.2 Irrigação e tratamentos com MJ

A irrigação foi realizada mantendo-se os vasos com capacidade de retenção de 100% por 7 dias após a semeadura (7 DAS). Aos 7 DAS, foi realizado o desbaste mantendo-se apenas uma planta em cada vaso. A partir dos 7 DAS, as plantas foram irrigadas com solução salina ou água não salina, a cada 2 dias mantendo-se os vasos com a capacidade de retenção do vaso de 80% (Henschel et al. 2022). A água salina (120 mM; 12,25 dS m<sup>-1</sup>) foi preparada pela dissolução de NaCl em água proveniente do um abastecimento local (0,3 dS m<sup>-1</sup>); Plantas controle foram irrigadas com água do abastecimento sem adição de sal (0,31 dS m<sup>-1</sup>). As folhas de plantas não estressadas e estressadas com sal foram pulverizadas até ficarem completamente molhadas (15 mL por planta) com soluções de MJ (5 µM, 50 µM, 500 µM e 5 mM) ou água destilada (controle) a cada 7 dias, de 7 a 27 DAS. Duas gotas de polissorbato 80 (TWEEN® 80; Millipore Sigma, Massachusetts, EUA) 0,03% (v/v) foi adicionado às soluções para melhorar sua aderência às folhas.

## 2.3 Análises morfofisiológicas

As trocas gasosas foram medidas em folhas totalmente expandidas de cinco plantas em cada tratamento, entre 08:00h e 09:00 h, usando um analisador de gases por infravermelho (LCpro-SD Advanced Photosynthesis System; ADC BioScientific Ltd., Hoddesdon, Reino Unido). As condições na câmara foliar foram definidas da seguinte forma: 1000 µmol fótons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> com 10% de luz azul, 200 µmol s<sup>-1</sup> fluxo de ar, 25 °C na câmara da folha, CO<sub>2</sub> e umidade relativa ambientes. A taxa de assimilação líquida de carbono (*A*, µmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), condutância estomática (*g<sub>s</sub>*, mmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), concentração interna de CO<sub>2</sub> (*C<sub>i</sub>*, µmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup> ar), taxa de transpiração foliar (*E*, mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), eficiência do uso da água (*WUE*), e eficiência da assimilação de carbono (*A/C<sub>i</sub>*) foram determinados.

Curvas de resposta à luz foram construídas usando as mesmas condições de câmara foliar com intensidades de luz variadas (0, 50, 150, 300, 500, 700, 1000, 1200, 1400, 1800 e 2000 fótons µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). As curvas foram usadas para determinar a respiração no escuro, ponto de compensação e de saturação de luz. As medições foram feitas em três dias ensolarados consecutivos (26, 27 e 28 DAS).

Os pigmentos fotossintéticos foram determinados cortando-se quatro discos (1 cm<sup>2</sup>) das folhas totalmente expandidas de cinco plantas com 30 dias de idade em cada tratamento; os discos foram incubados em 5 mL de dimetil sulfoxido (Synth, São Paulo,

Brasil) por 48 h no escuro (Santos et al. 2008). Os extratos foram então analisados em 480, 649 e 665 nm usando um espectrofotômetro (GTA-96 UV-VIS; Global Trade Technology, São Paulo, Brasil). Os conteúdos de clorofila *a* e *b*, relação clorofila *a/b*, clorofila total e carotenoides totais foram calculados de acordo com a fórmula desenvolvida por Wellburn (1994).

O extravasamento de eletrólitos foi quantificado conforme descrito anteriormente por Bajji et al. (2002). Dez discos de folhas (1 cm<sup>2</sup>) foram coletados 30 DAS, lavados e incubados em 40 mL de água destilada por 6 h; a condutância elétrica inicial da solução (EC<sub>i</sub>) foi determinada por meio de um medidor de condutividade (modelo CD-820, Instrutherm Measuring Instruments Ltda., São Paulo, Brasil). A solução foi então incubada a 90 °C por 2 h para determinar a condutância elétrica final (EC<sub>f</sub>). O extravasamento de eletrólitos foi calculado como  $(EC_i/EC_f) \times 100$  e expresso em porcentagem (%).

Os parâmetros de crescimento vegetal e alocação de biomassa foram determinados aos 30 DAS. Para a determinação da massa fresca, utilizou-se um bisturi para separar a parte aérea (folhas e pecíolos) das raízes de reserva (partes engrossadas das raízes, também chamadas de hipocótilos). A área foliar e o número de folhas foram determinados separando e digitalizando todas as folhas de plantas individuais usando um scanner de mesa HP Scanjet G2410; as imagens digitalizadas foram analisadas usando o software ImageJ (Abramof et al. 2004). O diâmetro da raiz de reserva e o comprimento da raiz foram medidos usando um paquímetro, enquanto o volume da raiz de reserva foi medido usando uma proveta graduada. Em seguida, a parte aérea do rabanete e as raízes de armazenamento foram secas em estufa a 65 °C até que a massa seca se tornasse constante. A relação parte aérea/raiz foi calculada como massa seca da parte aérea dividida pela massa seca da raiz. A área foliar específica foi definida como a razão entre a área foliar e a massa seca da parte aérea.

#### 2.4 Desenho experimental e análise de dados

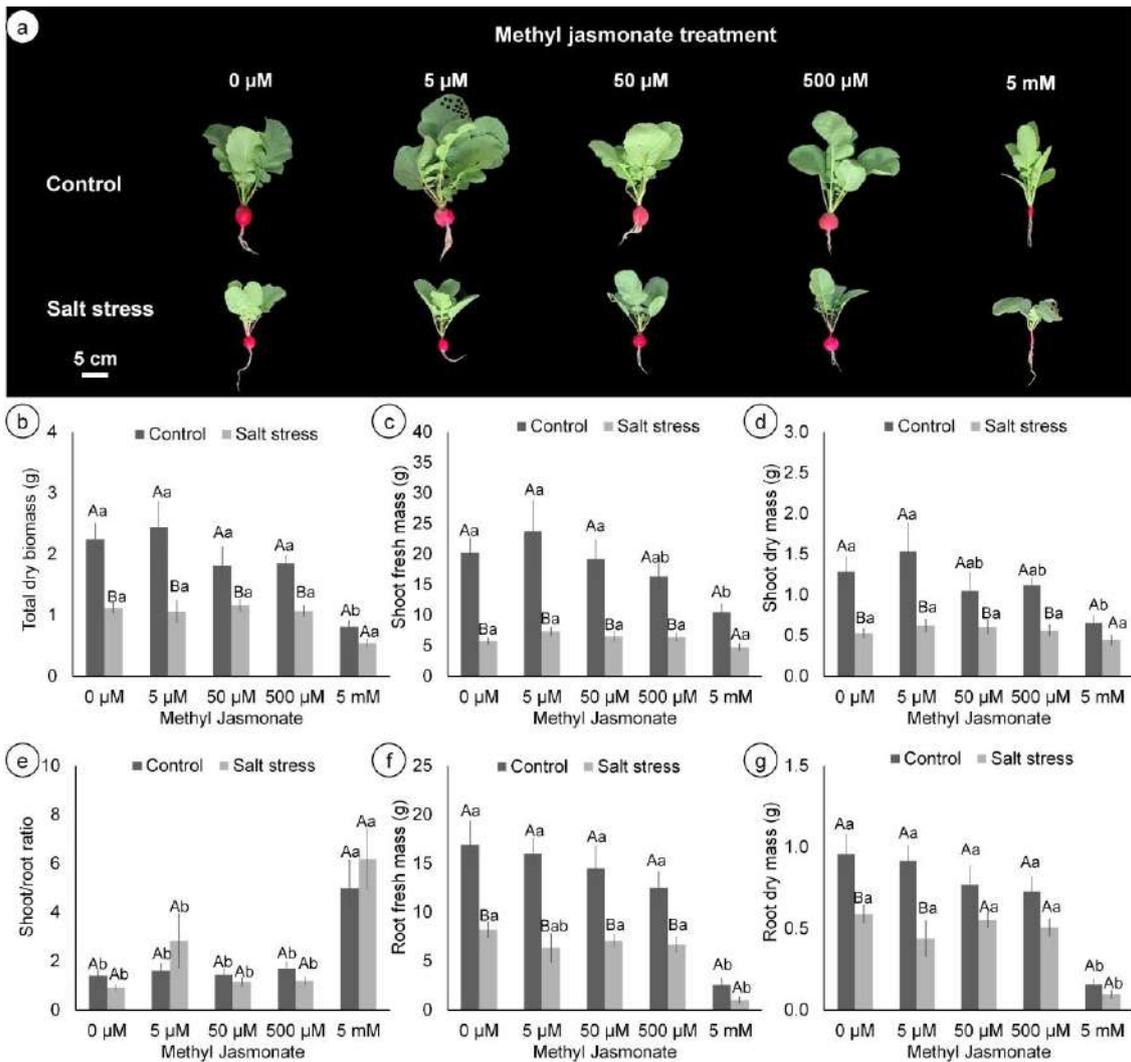
O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 × 2 (cinco concentrações de MJ: 0, 5 μM, 50 μM, 500 μM e 5 mM; duas condições de salinidade: 120 mM NaCl e água), com seis unidades experimentais para cada tratamento. Cada unidade experimental foi constituída por um vaso contendo uma planta. A normalidade e a homogeneidade dos dados foram avaliadas pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Diferenças estatisticamente significativas

foram determinadas por análise de variância (teste F); as médias das variáveis significativas foram comparadas pelo teste de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). As análises foram realizadas com o software Genes (Cruz 2016).

### 3. RESULTADOS

No geral, o crescimento do rabanete foi fortemente reduzido sob condições de estresse salino (Fig. 1). Por outro lado, MJ não afetou o crescimento do rabanete em ambas, plantas não estressadas e sob estresse salino, exceto pela maior concentração (5 mM) de MJ, que teve um efeito negativo no crescimento do rabanete, independentemente do estresse salino (Fig. 1). A biomassa total de plantas não tratadas expostas a condições de estresse salino foi 50% menor do que em plantas não tratadas e não estressadas (Fig. 1b). Em comparação com a condição sem estresse, o estresse salino diminuiu a biomassa total de plantas tratadas com 5, 50 e 500  $\mu$ M MJ, enquanto nenhuma diferença na biomassa total foi observada entre não estresse e estresse salino para plantas tratadas com 5 mM MJ. A salinidade afetou negativamente o crescimento da parte aérea mais do que o crescimento da raiz de reserva: em comparação com as plantas não estressadas, a massa fresca e seca da parte aérea e a área foliar das plantas estressadas com sal não tratadas diminuíram 71%, 58% e 70%, respectivamente, enquanto a massa fresca e seca da raiz de reserva e o volume da raiz de reserva diminuíram 51%, 38% e 39%, respectivamente (Figs. 1 e 2).

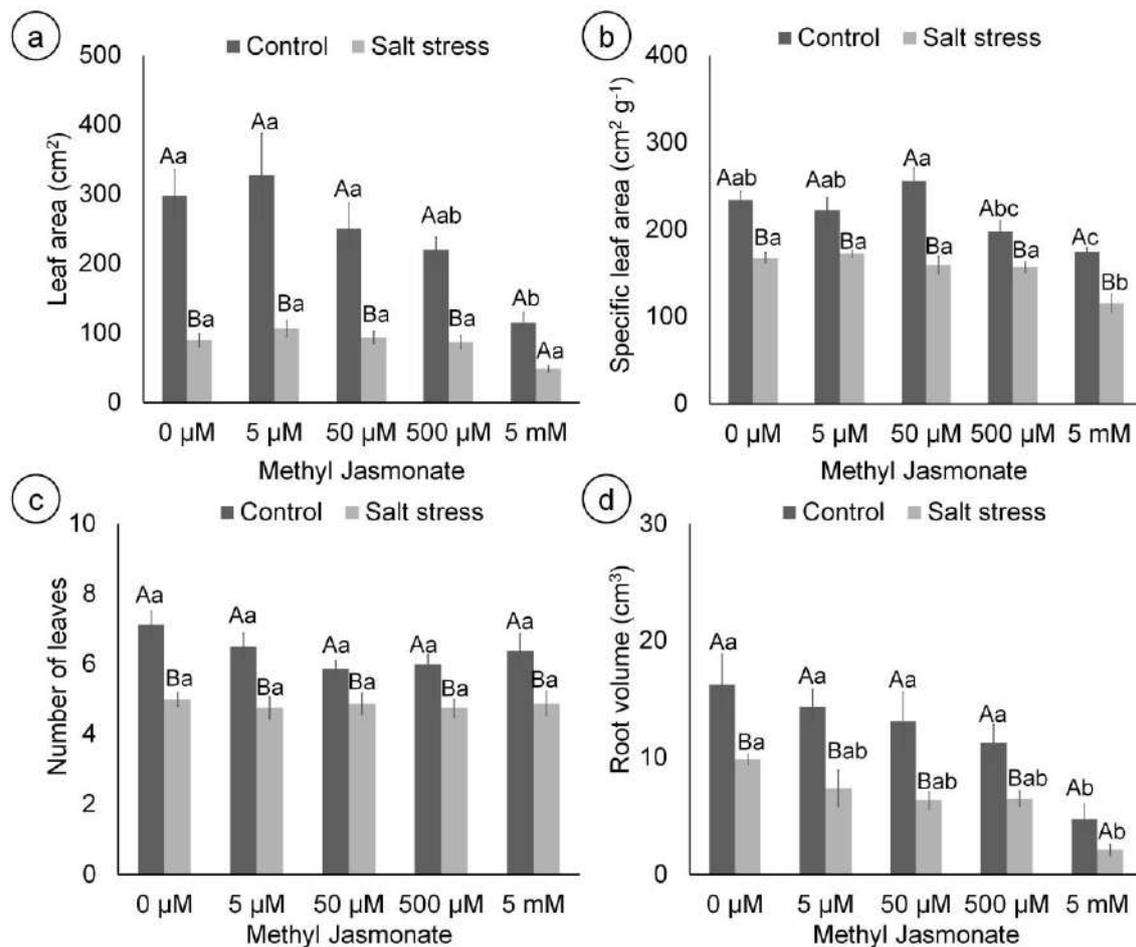
No entanto, a razão parte aérea/raiz entre plantas estressadas e não estressadas em cada tratamento de MJ não foi diferente (Fig. 1e). Em contraste, 5 mM de MJ resultou na maior relação parte aérea/raiz em comparação com as outras concentrações, independentemente do estresse salino. 5 mM MJ também reduziu a biomassa total, massa fresca e seca da parte aérea, área foliar, massa fresca e seca da raiz de armazenamento e volume da raiz de armazenamento em condições sem estresse e estresse salino (Figs. 1, 2). Em contraste, nenhuma diferença entre as outras concentrações de MJ (0, 5, 50 e 500  $\mu$ M) foi observada em qualquer um desses parâmetros em condições de estresse salino e sem estresse (Figs. 1b–g, 2a).



**Figura 1.** Acúmulo de biomassa (a), biomassa total (b), massa fresca das folhas (c), massa seca das folhas (d), razão parte aérea/raiz (e), massa fresca da raiz (f) e massa seca da raiz em plantas de *Raphanus sativus* L. de 30 dias pulverizadas com água destilada (0  $\mu\text{M}$ ) ou metil jasmonato (MJ) (5  $\mu\text{M}$ , 50  $\mu\text{M}$ , 500  $\mu\text{M}$  e 5 mM) e irrigado com solução salina (120 mM NaCl, 12,25 dS m<sup>-1</sup>) (estresse salino) ou água não salina (0,31 dS m<sup>-1</sup>) (sem estresse). Os valores representam médias  $\pm$  erro padrão (n=6). Valores com as mesmas letras não diferem (teste de Tukey;  $P \leq 0,05$ ). Letras maiúsculas comparam condições sem estresse e com estresse salino, as letras minúsculas comparam entre concentrações de MJ dentro de cada condição de estresse.

A área foliar específica e o número de folhas foram menores em plantas com estresse salino em comparação com plantas não estressadas, em todas as concentrações de MJ testadas (Fig. 2b, c). Além disso, dentro das plantas não estressadas, a área foliar específica foi maior com a aplicação de 50  $\mu\text{M}$  de MJ em comparação com 500  $\mu\text{M}$  e 5 mM de MJ. Em contraste, dentro das plantas com estresse salino, nenhuma diferença na área foliar específica foi observada entre plantas não tratadas e aquelas tratadas com 5

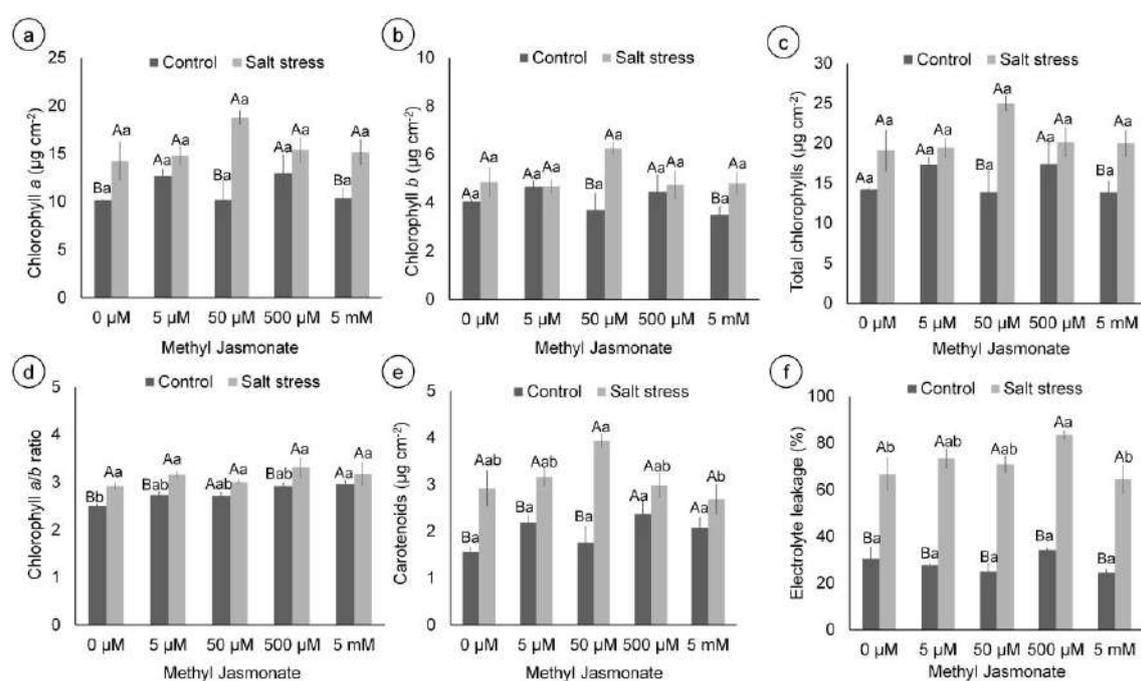
$\mu\text{M}$ , 50  $\mu\text{M}$  e 500  $\mu\text{M}$  de MJ (Fig. 2b). A aplicação de 5 mM de MJ resultou na menor área foliar específica em ambas as condições, sem estresse e estresse salino.



**Figura 2.** Área foliar (a), área foliar específica (b), número de folhas (c) e volume radicular (d) de plantas de *Raphanus sativus* L. com 30 dias de idade pulverizadas com água destilada (0  $\mu\text{M}$ ) ou metil jasmonato (MJ) (5  $\mu\text{M}$ , 50  $\mu\text{M}$ , 500  $\mu\text{M}$  e 5 mM) e irrigados com solução salina (120 mM NaCl, 12,25 dS  $\text{m}^{-1}$ ) (estresse salino) ou água da torneira (0,31 dS  $\text{m}^{-1}$ ) (não-estresse). Os valores representam médias  $\pm$  erro padrão (n=6). Valores com as mesmas letras não diferem (teste de Tukey;  $P \leq 0,05$ ). Letras maiúsculas comparam condições sem estresse com estresse salino dentro de cada concentração de MJ; as letras minúsculas comparam entre as concentrações de MJ dentro de cada condição de estresse.

A concentração de clorofila *a* de plantas não tratadas foi maior em plantas com estresse salino do que em plantas não estressadas (Fig. 3a). Da mesma forma, a concentração de clorofila *a*, *b* e clorofila total foi maior sob estresse salino do que sob condições sem estresse em plantas tratadas com 50  $\mu\text{M}$  e 5 mM de MJ (Fig. 3a–c). Por outro lado, a concentração de clorofila não diferiu entre as concentrações de MJ em condições sem estresse ou estresse salino (Fig. 3a-c). Em plantas não tratadas e em plantas tratadas com 5  $\mu\text{M}$  e 500  $\mu\text{M}$  de MJ, a relação clorofila *a/b* foi maior sob estresse salino do que sob

condição sem estresse (Fig. 3d). Plantas não estressadas tratadas com 5 mM de MJ apresentaram maior razão clorofila *a/b* do que plantas não estressadas não tratadas. Em contraste, dentro da condição de estresse salino, nenhuma diferença na razão clorofila *a/b* foi observada entre as concentrações de MJ (Fig. 3d). A concentração de carotenóides foi maior em plantas com estresse salino em comparação com plantas não estressadas quando as plantas não receberam aplicação de MJ (0  $\mu\text{M}$ ) ou foram tratadas com 5  $\mu\text{M}$  e 50  $\mu\text{M}$  de MJ (Fig. 3e). Dentro da condição sem estresse, nenhuma diferença na concentração de carotenóides foi observada entre as concentrações de MJ. Em contraste, nas condições de estresse salino, a aplicação de 5 mM de MJ resultou na menor concentração de carotenóides. O extravasamento de eletrólitos foi até 110% maior em plantas com estresse salino do que em plantas não estressadas, independentemente das concentrações de MJ (Fig. 3f). Dentro da condição sem estresse, nenhuma diferença no extravasamento de eletrólitos entre as concentrações de MJ foi observada; em contraste, dentro da condição de estresse salino, o extravasamento de eletrólitos foi maior em plantas tratadas com 500  $\mu\text{M}$  de MJ em comparação com plantas não tratadas e plantas tratadas com 5 mM de MJ.



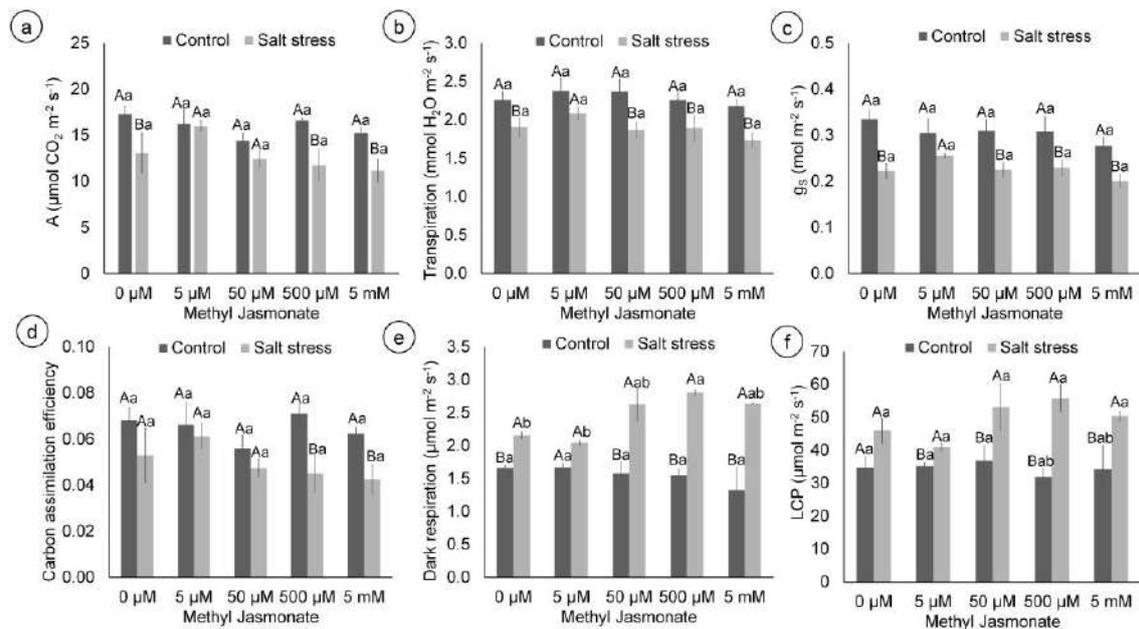
**Figura 3.** Clorofila a (a), clorofila b (b), clorofilas totais (c), razão clorofila *a/b* (d), carotenoides (e) e extravasamento de eletrólitos (f), de plantas *Raphanus sativus* L. de 30 dias pulverizadas com água destilada (0  $\mu\text{M}$ ) ou metil jas monato (MJ) (5  $\mu\text{M}$ , 50  $\mu\text{M}$ , 500  $\mu\text{M}$  e 5 mM) e irrigados com solução salina (120 mM NaCl, 12,25 dS  $\text{m}^{-1}$ ) (estresse salino) ou água da torneira (0,31 dS  $\text{m}^{-1}$ ) (sem estresse). Os valores representam média $\pm$ erro padrão (n=6). Valores com as mesmas letras não diferem (teste de Tukey;  $P \leq 0,05$ ). Letras maiúsculas comparam condições sem estresse com estresse salino dentro de cada

concentração de MJ; as letras minúsculas comparam entre as concentrações de MJ dentro de cada condição de estresse.

Dentre as plantas não tratadas e plantas tratadas com 500  $\mu\text{M}$  e 5 mM de MJ, *A* foi menor sob estresse salino do que sob condições sem estresse (Fig. 4a). Nenhuma diferença em *A* foi observada entre as concentrações de MJ dentro de cada condição de estresse (Fig. 4a). *A E* e *gS* foram menores nas plantas estressadas em relação às não estressadas quando tratadas com 0  $\mu\text{M}$ , 50  $\mu\text{M}$ , 500  $\mu\text{M}$  e 5 mM de MJ; no entanto, nenhuma diferença entre plantas estressadas e não estressadas foi observada quando elas foram tratadas com 5  $\mu\text{M}$  de MJ (Fig. 4b, c). Dentro de ambas as condições, sem estresse e estresse salino, nenhuma diferença entre as concentrações de MJ para *E* e *gS* foi observada. *A/Ci* foi menor em plantas com estresse salino em comparação com plantas não estressadas quando tratadas com 500  $\mu\text{M}$  e 5 mM de MJ; no entanto, nenhuma diferença foi observada entre as concentrações de MJ dentro de cada condição de estresse (Fig. 4d).

A taxa de respiração escura foi maior em plantas com estresse salino do que em plantas não estressadas, quando não foram tratadas ou receberam 50  $\mu\text{M}$ , 500  $\mu\text{M}$  e 5 mM MJ, com 500  $\mu\text{M}$  resultando em maior valor de respiração escura (Fig. 4e). No entanto, nenhuma diferença na taxa de respiração escura foi encontrada entre as concentrações de MJ em condição sem estresse.

O ponto de compensação de luz foi maior em plantas com estresse salino do que em plantas não estressadas que foram tratadas com 5  $\mu\text{M}$ , 50  $\mu\text{M}$ , 500  $\mu\text{M}$  e 5 mM de MJ (Fig. 4f); mesmo assim, dentro das plantas não tratadas, não houve diferença entre plantas não estressadas e estressadas pelo sal para o ponto de compensação de luz. Não foi observada diferença no ponto de compensação de luz entre as concentrações de MJ em ambas as condições, sem estresse e com estresse salino.



**Figura 4.** Taxa líquida de assimilação de carbono - *A* (a), taxa de transpiração foliar - *E* (b), condutância estomática - *g<sub>s</sub>* (c), eficiência de assimilação de carbono (d), respiração escura (e) e ponto de compensação de luz - LCP (f) de *Raphanus sativus* L. plantas pulverizadas com água destilada (0 µM) ou metil jasmonato (MJ) (5 µM, 50 µM, 500 µM e 5 mM) e irrigadas com solução salina (120 mM NaCl, 12,25 dS m<sup>-1</sup>) (estresse salino) ou água da torneira (0,31 dS m<sup>-1</sup>) (sem estresse). Os valores representam médias±erro padrão (n=6). Valores com as mesmas letras não diferem (teste de Tukey; *P*≤0,05). Letras maiúsculas comparam condições sem estresse com estresse salino dentro de cada concentração de MJ; as letras minúsculas comparam entre as concentrações de MJ dentro de cada condição de estresse.

#### 4. DISCUSSÃO

Sabe-se que o estresse salino reduz o crescimento e produtividade de várias culturas; um suprimento exógeno de JA demonstrou mitigar os efeitos negativos do estresse salino nas plantas (Ghassemi-Golezani et al. 2020; Gao et al. 2021; Hajjhashemi et al. 2021). Neste estudo, relatamos que o crescimento do rabanete foi fortemente inibido por condições salinas provocadas pela dissolução de NaCl 120 mM em água; no entanto, a aplicação exógena de MJ não foi capaz de mitigar os efeitos do estresse salino. Além disso, 5 mM de MJ afetou negativamente o crescimento do rabanete em plantas salinas não estressadas, inibindo o espessamento do hipocótilo.

A inibição do crescimento induzida pelo estresse salino pode estar relacionada à menor absorção de água devido à diminuição do potencial osmótico do solo; tal fenômeno resulta em desidratação celular e perda da pressão de turgor, culminando na interrupção do crescimento (Zhao et al. 2021). Além disso, a salinidade leva ao acúmulo

de  $\text{Cl}^-$  e  $\text{Na}^+$ , que reduzem a absorção e transporte de nutrientes devido a interações competitivas com transportadores de nutrientes (Zhao et al. 2021; Gao et al. 2022). É importante ressaltar que descobrimos que em altas concentrações (5 mM) MJ funcionou como um inibidor de crescimento em rabanete. Esse resultado é congruente com os achados de outros estudos que mostraram que o MJ também reduziu o crescimento de mudas de 7 dias e de plantas de rabanete de 30 dias (Sakamoto e Suzuki 2019; Sanoubar et al. 2020).

Além disso, foi relatado que o MJ induz respostas de defesa às custas do crescimento da planta (Valenzuela et al. 2016; Gao et al. 2021), o que pode explicar o comprometimento do crescimento encontrado aqui. Nas condições utilizadas neste estudo, o MJ não mitigou os efeitos da salinidade e evitou o espessamento do hipocótilo, alterando também a área foliar específica de plantas de rabanete não estressadas. Isso sugere que MJ pode estar envolvido na regulação do desenvolvimento em rabanete, conforme relatado em estudos anteriores (Yu et al. 2016; Li et al. 2022).

As plantas desenvolveram estratégias para lidar com o estresse salino: ativação da osmorregulação, defesa antioxidante, expressão de genes responsivos ao sal e regulação hormonal (Ibrahimova et al. 2021). Neste estudo, a concentração de clorofila *a*, relação clorofila *a/b* e concentração de carotenóides foram maiores em plantas não tratadas sob estresse salino do que sob condições sem estresse; esse aumento na concentração de pigmento pode ser um mecanismo de defesa para proteger as membranas do cloroplasto, conforme demonstrado na literatura (Kim et al. 2013; Kalaji et al. 2018). No entanto, os resultados do extravasamento de eletrólitos indicam que o estresse salino reduziu fortemente a integridade da membrana do rabanete. Além disso, os tratamentos com MJ não aumentaram a integridade da membrana em plantas não estressadas e com estresse salino; assim, este fitohormônio não foi eficaz em mitigar os efeitos do estresse salino no crescimento do rabanete.

O estresse salino também induz o fechamento estomático, reduzindo a difusão de  $\text{CO}_2$  e, conseqüentemente, reduzindo a assimilação de carbono em moléculas orgânicas (Ibrahimova et al. 2021; Zhao et al. 2021). Nossos resultados mostraram que *gS*, *A* e *E* diminuíram em plantas de rabanete não tratadas sob estresse salino. Além disso, não houve diferença em *A* entre plantas não estressadas não tratadas e plantas estressadas com sal tratadas com 5  $\mu\text{M}$  de MJ; portanto, baixas concentrações de MJ podem mitigar os efeitos do estresse salino na capacidade fotossintética do rabanete. Curiosamente, não

houve diferença em  $gS$  e  $E$  entre plantas não estressadas não tratadas e plantas estressadas com sal tratadas com  $5 \mu\text{M}$  de MJ; este resultado implica que MJ pode ter melhorado o balanço hídrico das plantas.

Essas respostas podem estar relacionadas ao aumento relatado anteriormente na atividade de osmólitos compatíveis e ribulose-1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase induzida pelo tratamento com MJ (Ahmadi et al. 2018; Delgado et al. 2021; Sheteiwy et al. 2021). Embora tenha sido relatado que o estresse salino reduz a atividade de enzimas como ribulose-1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase (Shumilina et al. 2019), nossos resultados mostraram que  $(A/C_i)$  diminuiu apenas em plantas que foram expostas a condições de estresse salino e tratados com altas concentrações de MJ ( $500 \mu\text{M}$  e  $5 \text{mM}$ ); no entanto, não foi afetado em plantas sob estresse salino tratadas com  $5 \mu\text{M}$  e  $50 \mu\text{M}$  de MJ. Esses resultados sugerem que altas concentrações de MJ (acima de  $500 \mu\text{M}$ ) não atenuam ou podem até piorar os efeitos da salinidade na capacidade fotossintética do rabanete.

A energia gerada durante a respiração pode ser direcionada para manutenção do metabolismo, crescimento ou tolerância ao estresse (Fricke 2020). O aumento da respiração foi relatado como um mecanismo de aclimação que fornece energia (ATP e redutores) para processos adaptativos, como exclusão de íons, síntese de osmólitos e desintoxicação de ROS (Khatri e Rathore 2019; Che-Othman et al. 2017; Krausko et al. 2022). Nesse contexto, nossos resultados sugerem que altos níveis de MJ aumentam a taxa de respiração escura, provavelmente direcionando energia para manutenção metabólica e mecanismos de tolerância ao invés de crescimento. Devido a uma maior taxa de respiração, o ponto de compensação de luz aumentou, indicando que as plantas requerem maior luz incidente para gerar energia fotossintética para compensar a energia gasta na respiração (Liang et al. 2020).

## CONCLUSÃO

O crescimento do rabanete foi fortemente reduzido pelo estresse salino; no entanto, a aplicação exógena de MJ não atenuou ou mesmo piorou a restrição do crescimento. Além disso, a alta concentração de MJ ( $5 \text{mM}$ ) teve um efeito inibidor do crescimento; suprimiu o espessamento do hipocótilo em plantas salinas e não estressadas. Embora

baixas concentrações de MJ tenham melhorado ligeiramente a capacidade fotossintética do rabanete, esse efeito não correspondeu a uma maior tolerância ao estresse salino.

## REFERÊNCIAS

Abramoff MD, Magalhães PJ, Ram SJ (2004) Image processing with ImageJ. *Biophotonics Int* 11:36–42

Ahmadi F, Karimi K, Struik P (2018) Effect of exogenous application of methyl jasmonate on physiological and biochemical characteristics of *Brassica napus* L. cv. Talaye under salinity stress. *S Afr J Bot* 115:5–11. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.11.018>

Arif Y, Singh P, Siddiqui H, Bajguz A, Hayat S (2020) Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: an omic approach towards salt stress tolerance. *Plant Physiol Biochem* 156:64–77. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.08.042>

Bajji M, Kinet JM, Lutts S (2002) The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. *Plant Growth Regul* 36:61–70. <https://doi.org/10.1023/A:1014732714549>

Bukhat S, Manzoor H, Athar HR, Zafar ZU, Azeem F, Rasul S (2020) Salicylic acid induced photosynthetic adaptability of *Raphanus sativus* to salt stress is associated with antioxidant capacity. *J Plant Growth Regul* 39:809–822. <https://doi.org/10.1007/s00344-019-10024-z>

Che-Othman MH, Millar AH, Taylor NL (2017) Connecting salt stress signalling pathways with salinity-induced changes in mitochondrial metabolic processes in C3 plants. *Plant Cell Environ* 40:2875–2905. <https://doi.org/10.1111/pce.13034>

Corwin DL (2021) Climate change impacts on soil salinity in agricultural areas. *Eur J Soil Sci* 72:842–862. <https://doi.org/10.1111/ejss.13010>

Cruz CD (2016) Genes Software-extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. *Acta Sci Agron* 38:547–552. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v38i4.32629>

Delgado C, Mora-poblete F, Ahmar S, Chen JT, Figueroa CR (2021) Jasmonates and plant salt stress: molecular players, physiological effects, and improving tolerance by

using genome-associated tools. *Int J Mol Sci* 22:1–26.  
<https://doi.org/10.3390/ijms22063082>

el Nahhas N, AlKahtani MDF, Abdelaal KAA, al Husnain L, AlGwaiz HIM, Hafez YM, Attia KA, El-Esawi MA, Ibrahim MFM, Elkelish A (2021) Biochar and jasmonic acid application attenuates antioxidative systems and improves growth, physiology, nutrient uptake and productivity of faba bean (*Vicia faba* L.) irrigated with saline water. *Plant Physiol Biochem* 166:807–817. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.06.033>

Eswar D, Karuppusamy R, Chellamuthu S (2021) Drivers of soil salinity and their correlation with climate change. *Curr Opin Environ Sustain* 50:310–318.  
<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2020.10.015>

Farhangi-Abriz S, Ghassemi-Golezani K (2019) Jasmonates: mechanisms and functions in abiotic stress tolerance of plants. *Biocatal Agric Biotechnol* 20:101210.  
<https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101210>

Fricke W (2020) Energy costs of salinity tolerance in crop plants: night-time transpiration and growth. *New Phytol* 225:1152–1165. <https://doi.org/10.1111/nph.1577>

Gamba M, Asllanaj E, Raguindin PF, Glisic M, Franco OH, Minder B, Bussler W, Metzger B, Kern H, Muka T (2021) Nutritional and phytochemical characterization of radish (*Raphanus sativus*): a systematic review. *Trends Food Sci Technol* 113:205–218.  
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.045>

Gao Z, Gao S, Li P, Zhang Y, Ma B, Wang Y (2021) Exogenous methyl jasmonate promotes salt stress-induced growth inhibition and prioritizes defense response of *Nitraria tangutorum* Bobr. *Physiol Plant* 172:162–175.  
<https://doi.org/10.1111/ppl.13314>

Gao Z, Zhang J, Zhang J, Zhang W, Zheng L, Borjigin T, Wang Y (2022) Nitric oxide alleviates salt-induced stress damage by regulating the ascorbate–glutathione cycle and Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> homeostasis in *Nitraria tangutorum* Bobr. *Plant Physiol Biochem* 173:46–58.  
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.01.017>

Garcia-Ibañez P, Moreno DA, Carvajal M (2022) Salinity stress in red radish crops. *Biol Life Sci Forum* 11:91. <https://doi.org/10.3390/IECPS2021-12000>

Geng Y, Wu R, Wee CW, Xie F, Wei X, Chan PM, Tham C, Duan L, Dinneny JR (2013) A spatio-temporal understanding of growth regulation during the salt stress

response in *Arabidopsis*. Plant Cell 25:2132–2154.  
<https://doi.org/10.1105/tpc.113.112896>

Ghassemi-Golezani K, Hosseinzadeh-Mahootchi A, Farhangi- Abriz S (2020) Chlorophyll a fluorescence of safflower affected by salt stress and hormonal treatments. SN Appl Sci 2:1306. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-3133-1>

Hajihashemi S, Skalicky M, Brestic M, Pavla V (2021) Effect of sodium nitroprusside on physiological and anatomical features of salt-stressed *Raphanus sativus*. Plant Physiol Biochem 169:160–170. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.11.013>

Henschel JM, Dantas EFO, de Soares V, A, Santos SK dos, Santos LWO dos, Dias TJ, Batista DS, (2022) Salicylic acid mitigates the effects of mild drought stress on radish (*Raphanus sativus*) growth. Funct Plant Biol 49:822–831.  
<https://doi.org/10.1071/FP22040>

Ibrahimova U, Kumari P, Yadav S, Rastogi A, Antala M, Suleymanova Z, Zivcak M, Tahjib-Ul-Arif M, Hussain S, Abdelhamid M, Hajihashemi S, Yang X, Brestic M (2021) Progress in understanding salt stress response in plants using biotechnological tools. J Biotechnol 329:180–191. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2021.02.00>

Isayenkov V, Maathuis FJM (2019) Plant salinity stress: many unanswered questions remain. Front Plant Sci 10:80. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00080>

Kalaji HM, Račková L, Paganová V, Swoczyna T, Rusinowski S, Sitko K (2018) Can chlorophyll *a* fluorescence parameters be used as bio-indicators to distinguish between drought and salinity stress in *Tilia cordata* Mill? Environ Exp Bot 152:149–157.  
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.11.001>

Khatri K, Rathore MS (2019) Photosystem photochemistry, prompt and delayed fluorescence, photosynthetic responses and electron flow in tobacco under drought and salt stress. Photosynthetica 57:61–74

Kim SH, Kim YH, Ahn YO, Ahn MJ, Jeong JC, Lee HS, Kwak SS (2013) Downregulation of the lycopene  $\epsilon$ -cyclase gene increases carotenoid synthesis via the  $\beta$ -branch-specific pathway and enhances salt-stress tolerance in sweetpotato transgenic calli. Physiol Plant 147:432–442. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2012.01688.x>

Krausko M, Kusá Z, Peterková D, Labajová M, Kumar A, Pavlovič A, Bačovčinová M, Bačkor M, Jásik J (2022) The absence of the AtSYT1 function elevates the adverse

effect of salt stress on photosynthesis in *Arabidopsis*. Int J Mol Sci 23:1751. <https://doi.org/10.3390/ijms23031751>

Liang G, Liu J, Zhang J, Guo J (2020) Effects of drought stress on photosynthetic and physiological parameters of tomato. J Am Soc Hortic Sci 145:12–17

S, Abdelhamid M, Hajihashemi S, Yang X, Brestic M(2021) Progress in understanding salt stress response in plants using biotechnological tools. J Biotechnol 329:180–191. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2021.02.007>

Sakamoto M, Suzuki T (2019) Methyl jasmonate and salinity increase anthocyanin accumulation in radish sprouts. Horticulturae 5:62. <https://doi.org/10.3390/horticulturae5030062>

Sanoubar R, Cellini A, Gianfranco G, Spinelli F (2020) Osmoprotectants and antioxidative enzymes as screening tools for salinity tolerance in radish (*Raphanus sativus*). Hortic Plant J 6:14–24. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2019.09.001>

Santos RP, Cruz ACF, Iarema L, Kuki KN, Otoni WC (2008) Protocolo para extração de pigmentos foliares em porta-enxertos de videira micropropagados. Rev Ceres 55:356–364

Sheteiwy MS, Shao H, Qi W, Daly P, Sharma A, Shaghaleh H, Hamoud YA, El-Esawi MA, Pan R, Wan Q (2021) Seed priming and foliar application with jasmonic acid enhance salinity stress tolerance of soybean (*Glycine max* L.) seedlings. J Sci Food Agric 101:2027–2041. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10822>

Shin YK, Bhandari SR, Lee JG (2021) Monitoring of salinity, temperature, and drought stress in grafted watermelon seedlings using chlorophyll fluorescence. Front Plant Sci 12:786309. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.786309>

Shumilina J, Kusnetsova A, Tsarev A, Janse van Rensburg HC, Medvedev S, Demidchik V, Van den Ende W, Frolov A (2019) Glycation of plant proteins: regulatory roles and interplay with sugar signalling. Int J Mol Sci 20:2366. <https://doi.org/10.3390/ijms20092366>

Tsai YC, Chen KC, Cheng TS, Lee C, Lin SH, Tung CW (2019) Chlorophyll fluorescence analysis in diverse rice varieties reveals the positive correlation between the seedlings salt tolerance and photosynthetic efficiency. BMC Plant Biol 19:403. <https://doi.org/10.1186/s12870-019-1983-8>

- Valenzuela CE, Acevedo-Acevedo O, Miranda GS, Vergara- Barros P, Holuigue L, Figueroa CR, Figueroa PM (2016) Salt stress response triggers activation of the jasmonate signaling pathway leading to inhibition of cell elongation in *Arabidopsis* primary root. *J Exp Bot* 67:4209–4220. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw202>
- Wellburn AR (1994) The spectral determination of chlorophylls *a* and *b*, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *J Plant Physiol* 144:307–313. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81192-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2)
- Welles SR, Funk JL (2021) Patterns of intraspecific trait variation along an aridity gradient suggest both drought escape and drought tolerance strategies in an invasive herb. *Ann Bot* 127:461–471. <https://doi.org/10.1093/aob/mcaa173>
- Xu L, Chen N, Zhang X (2019) Global drought trends under 1.5 and 2 °C warming. *Int J Climatol* 39:2375–2385. <https://doi.org/10.1002/joc.5958>
- Yu R, Wang J, Xu L, Wang Y, Wang R, Zhu X, Sun X, Luo X, Xie Y, Everlyne M, Liu L (2016) Transcriptome profiling of taproot reveals complex regulatory networks during taproot thickening in radish (*Raphanus sativus* L.). *Front Plant Sci* 7:1–17. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01210>
- Yu Z, Duan X, Luo L, Dai S, Ding Z, Xia G (2020) How plant hormones mediate salt stress responses. *Trends Plant Sci* 25:1117–1130. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.06.008>
- Zaki HEM, Takahata Y, Yokoi S (2012) Analysis of the morphological and anatomical characteristics of roots in three radish (*Raphanus sativus*) cultivars that differ in root shape. *J Hortic Sci Biotechnol* 87:172–178. <https://doi.org/10.1080/14620316.2012.11512849>
- Zelm E, Zhang Y, Testerink C (2020) Salt tolerance mechanisms of plants. *Annu Rev Plant Biol* 71:403–433. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718>
- Zhang P, Liu L, Wang X, Wang Z, Zhang H, Chen J, Liu X, Wang Y, Li C (2021) beneficial effects of exogenous melatonin on overcoming salt stress in sugar beets (*Beta vulgaris* L.). *Plants* 10:886. <https://doi.org/10.3390/plants10050886>
- Zhao S, Zhang Q, Liu M, Zhou H, Ma C, Wang P (2021) Regulation of plant responses to salt stress. *Int J Mol Sci* 22:4609. <https://doi.org/10.3390/ijms22094609>