

USO DE PRIMING COM TUNICAMICINA E *HIDROPRIMING* EM SEMENTES DE ARROZ PARA MITIGAR EFEITOS DO ESTRESSE SALINO

Luan Victor Maia¹, Isabelle Mary Costa Pereira¹, Anel Cabral Nery², Carolina da Silva Evaristo³, Humberto Henrique de Carvalho⁴

RESUMO: A salinidade é um dos principais fatores abióticos que afetam o desenvolvimento vegetal, interferindo em processos fisiológicos e bioquímicos, como o metabolismo de lipídios, fotossíntese e síntese proteica. O acúmulo de proteínas mal dobradas no retículo endoplasmático (RE) podem ativar vias de resposta ao estresse, como a UPR. Este estudo avaliou os efeitos do priming com tunicamicina (TM), um inibidor da N-glicosilação, comparado ao *hidropriming*, sobre a tolerância ao estresse salino em plantas de arroz expostas a 60 mM de NaCl. Sementes foram submetidas aos tratamentos de priming, germinadas e posteriormente cultivadas sob condições controladas. Foram avaliados parâmetros de crescimento, trocas gasosas, pigmentos fotossintéticos, teores iônicos e perfil metabólico por CG-EM. O estresse salino reduziu significativamente a massa das plantas, conteúdo de clorofila e condutância estomática, além de aumentar o acúmulo de Na⁺. O *hidropriming* melhorou todos os parâmetros de massa e reduziu o sódio nas raízes, embora também tenha diminuído os níveis de potássio sob salinidade. Já o priming com TM promoveu aumento da massa radicular, redução do acúmulo de sódio e atenuação da queda dos níveis de clorofila. A análise metabólica revelou a produção de compostos osmoprotetores, como aminoácidos e carboidratos, especialmente em T60 e H60. Embora a TM não tenha promovido aclimação total à salinidade, mostrou-se promissora para estudos relacionados à sinalização do RE em resposta ao estresse salino, sugerindo mecanismos potenciais de mitigação dos efeitos deletérios da salinidade em plantas.

PALAVRAS-CHAVE: Priming de sementes; Salinidade; Retículo endoplasmático

¹ PPG Bioquímica – UFC; Mestrado; maialuansax@gmail.com; isabellemcpereira@gmail.com;

² Graduação em biotecnologia – UFC; Graduando; andelcabralnery@gmail.com;

³ Graduação em agronomia – UFC; carolinadasilvaevaristo@alu.ufc.br;

⁴ Professor do departamento de Bioquímica e Biologia Molecular – UFC; humberto.carvalho@ufc.br;

USE OF TUNICAMYCIN PRIMING AND HYDROPRIMING IN RICE SEEDS TO MITIGATE THE EFFECTS OF SALT STRESS

ABSTRACT: Salinity is one of the main abiotic factors affecting plant development, interfering with physiological and biochemical processes including lipid metabolism, photosynthesis, and protein synthesis. The accumulation of misfolded proteins in the endoplasmic reticulum (ER) can trigger stress response pathways, such as the unfolded protein response (UPR). This study evaluated the effects of tunicamycin (TM) *priming*—an inhibitor of N-glycosylation—compared to *hydropriming*, on the tolerance of rice plants (*Oryza sativa* L.) exposed to 60 mM NaCl. Seeds were subjected to *priming* treatments, germinated, and later cultivated under controlled conditions. Growth parameters, gas exchange, photosynthetic pigments, ion content, and metabolic profiles via GC-MS were analyzed. Salt stress significantly reduced plant biomass, chlorophyll content, and stomatal conductance, while increasing Na⁺ accumulation. *Hydropriming* improved all biomass parameters and reduced sodium levels in the roots, although it also lowered potassium under salinity. TM *priming* promoted increased root biomass, reduced sodium accumulation, and mitigated chlorophyll loss. Metabolomic analysis revealed the production of osmoprotective compounds, such as amino acids and carbohydrates, particularly in the T60 and H60 treatments. Although tunicamycin did not induce full acclimation to salinity, it proved promising for studies involving ER signaling under salt stress, as it induced changes suggesting potential mechanisms for mitigating the deleterious effects of salinity in plants.

KEYWORDS: *Seed priming*; Salt stress; Endoplasmic reticulum

INTRODUÇÃO

Além do crescimento da população, diversos fatores bióticos e abióticos interferem na produção, intensificados pelas crescentes mudanças climáticas (Chen et al., 2021), dentre eles a salinidade. Os impactos causados pela salinidade dependem do estágio de desenvolvimento da planta, tempo de exposição e concentração de sal, desencadeando diversas mudanças morfológicas, fisiológicas, bioquímicas e moleculares, podendo levar à perda de produtividade (Radanielson et al., 2018). Dentre os efeitos ocasionados pela salinidade está acúmulo de proteínas mal dobradas no lúmen do retículo endoplasmático (RE), organela central no

metabolismo celular (Bao; Howell, 2017). Muitos estímulos podem desencadear a reposta ao acúmulo de proteínas, dentre eles agentes químicos, como a tunicamicina (TM), que interfere na N-glicosilação das proteínas, causando um estresse similar aos estresses abióticos (Howell, 2013). Esses estímulos em menor intensidade são capazes de induzir mecanismos fisiológicos e bioquímicos para a atenuação dos efeitos do estresse salino (Beaugelin et al., 2020), ativando as vias de defesa do retículo endoplasmático (RE) contra estresses (Bao; Howell, 2017). Para aumentar a tolerância ao estresse, tem sido empregada a utilização de pré-tratamentos (*priming*) de sementes, que consiste na absorção de algum composto químico através da embebição do material acompanhado de posterior secagem para algumas culturas, a exemplo do arroz (Rhaman et al., 2020). A maneira mais simples de realizar um *priming* é a técnica de *hidropriming*, que consiste na utilização de água potável, destilada ou ultrapura para hidratação das sementes, seguida ou não de secagem para o nível de hidratação original (Rhaman et al., 2020). O arroz (*Oryza sativa* L.) é uma cultura de grande relevância econômica, base para a alimentação dos brasileiros, sendo uma fonte de carboidratos, minerais e vitaminas essenciais para a nutrição humana, sendo o Brasil o principal mercado do grão fora da Ásia (Fukagawa; Ziska, 2019) e 9º maior produtor de arroz em escala mundial (UNICEF, 2021). Considerando o exposto, o presente trabalho visa investigar a indução do *priming* de tunicamicina e *hidropriming* em sementes de arroz submetidas à 60 mM de NaCl.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na casa de vegetação do Laboratório de Fisiologia Vegetal do Departamento de Bioquímica e Biologia Molecular da Universidade Federal do Ceará (UFC). Após a sanitização, as sementes (*Oryza sativa* L.) passaram pelo processo de *priming*, onde foram colocadas em placas de Petri contendo 20 mL de solução a 0,25 µg.mL⁻¹ de tunicamicina e 20 mL de água ultrapura para os tratamentos de *hidropriming*, durante 24h (Oliveira et al. 2025). As sementes foram germinadas em vermiculita por 10 dias e transferidas para bacias contendo solução nutritiva a meia força por 7 dias para aclimatação. Em seguida as plantas foram transferidas para vasos com 3L de volume contendo solução a meia força. As plantas foram randomicamente submetidas ao delineamento fatorial 3x2 composto de 5 repetições por tratamento, três condições de *priming* (controle, *hidropriming* e TM) e duas concentrações de NaCl (0 e 60 mmol/L), e avaliadas após 14 dias do início do estresse. Foram medidos o peso fresco e seco da parte aérea das raízes. As medições de trocas gasosas foram

feitas utilizando um analisador de gás por infravermelho (IRGA) (Roque et al., 2022). Foram quantificados os pigmentos fotossintéticos (Wellburn, 1994) e íons inorgânicos K^+ e Na^+ (Malavolta; Vitti; Oliveira, 1989). Os procedimentos realizados para a cromatografia gasosa associada a espectrometria de massas foram adaptados de Lisec et al. (2006). Os dados foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) e as médias dos tratamentos foram comparadas usando teste de Tukey ($p \leq 0,05$), utilizando o software SISVAR. Para a análise multivariada do perfil metabólico foram feitas: análise de componentes principais (PCA – principal component analysis) e OPLS-DA (Orthogonal Partial Least Squares-Discriminant Analysis) para identificar metabólitos discriminantes em cada tratamento de *priming* na presença de salinidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estresse salino, na ausência de *priming* (C60), ocasionou uma redução na massa fresca da parte aérea (MFPA) e na massa seca da raiz (MSR) em comparação com tratamento controle (C0). Na ausência de salinidade, o *hidropriming* promoveu um aumento dos parâmetros de MFPA, massa fresca da raiz (MFR), massa seca da parte aérea (MSPA) e MSR, enquanto o *priming* com tunicamicina (T0) reduziu apenas a MSR em comparação com C0. No *priming* com água sob salinidade (H60), houve uma redução de MFPA e MSPA, de a MFR e MSR comparado com a ausência de sal (H0). Um efeito positivo foi observado nas raízes pelo aumento na MFR e MSR em T60 quando comparado com T0. Foram registradas reduções significativas nos teores de massa seca e fresca de parte aérea e raiz entre os níveis de salinidade para os tratamentos controle e *hidropriming* (Figura 1). No entanto, o tratamento da semente com tunicamicina fez com que as plantas apresentassem maiores valores de MFR e MSR. De fato, foi relatado que a ativação de sensores do ER contribui para o melhor desempenho de plantas de *Arabidopsis* na resposta ao estresse salino moderado, especificamente na manutenção do meristema da raiz sob tal condição (Iwata et al., 2017). Nesse sentido, o *priming* com TM pode estar agindo como um indutor das vias de resposta ao estresse salino de modo a promover uma maior tolerância.

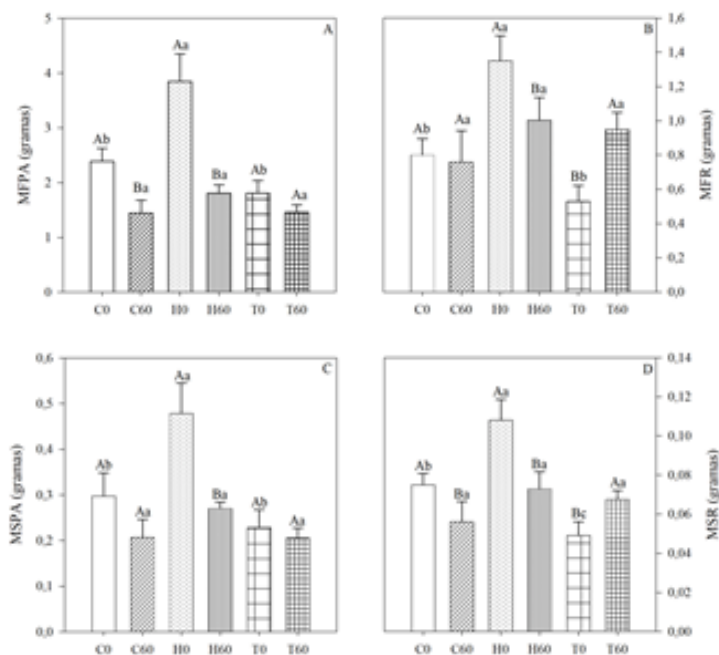
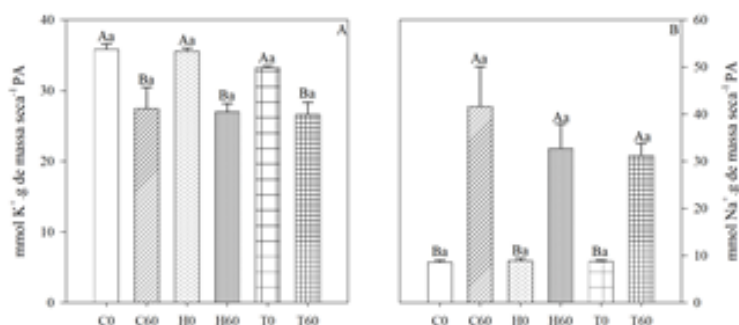


Figura 1 - Parâmetros de biomassa de plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) submetidas à ausência ou presença de 60mM NaCl por 14 dias.

Legenda: A) massa fresca da parte aérea (MFPA); B) massa fresca da raiz (MFR); C) massa seca da parte aérea (MSPA); D) massa seca da raiz (MSR). Letras maiúsculas comparam um mesmo *priming* na ausência e presença de sal e as letras minúsculas comparam diferentes *primings* no desdobramento de um mesmo nível de salinidade. Os resultados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas utilizando teste de Tukey com $p \leq 0,05$. O erro padrão está indicado em cada barra. C: controle (semente sem *priming*); H: *hidropriming* (semente embebida em água por 24 h); T: tunicamicina (semente embebida em tunicamicina por 24 h). Tratamentos na ausência de 0 mM NaCl: C0, H0 e T0. Tratamentos na presença de 60 mM NaCl: C60, H60 e T60.

Nas raízes, H60 apresentou redução significativa de K^+ quando comparado com C60, enquanto o acúmulo de sódio foi estatisticamente menor para os tratamentos de *hidropriming* e tunicamicina em relação ao controle na concentração de 60 mM de NaCl e não diferiram entre si.



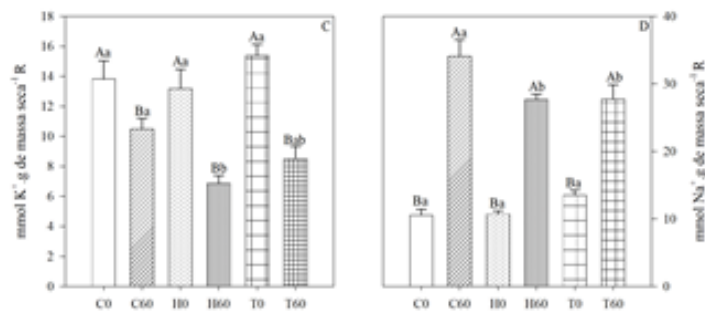


Figura 2 - Teores de íons inorgânicos em plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) submetidas à ausência ou presença de 60 mM NaCl por 14 dias.

Legenda: A) teor de potássio (K⁺) na parte aérea; B) teor de sódio (Na⁺) na parte aérea; C) teor de potássio (K⁺) na raiz; D) teor de sódio (Na⁺) na raiz. Letras maiúsculas comparam um mesmo *priming* e as letras minúsculas comparam o desdobramento de um mesmo nível de salinidade. Os resultados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas utilizando teste de Tukey com $p \leq 0,05$. O erro padrão está indicado em cada barra. C: controle (semente sem *priming*); H: *hidropriming* (semente embebida em água por 24 h); T: tunicamicina (semente embebida em tunicamicina por 24 h). Tratamentos na ausência de 0 mM NaCl: C0, H0 e T0. Tratamentos na presença de 60 mM NaCl: C60, H60 e T60.

O conteúdo de clorofila a e clorofila total reduziram no tratamento 60 mM NaCl em relação ao controle. Na ausência de salinidade e presença de *priming*, os níveis de clorofila a foram menores tanto no *hidropriming* quanto no *priming* com tunicamicina em relação ao tratamento C0. Entretanto, na presença do sal, H60 e T60 não apresentaram diferenças significativas nas concentrações de clorofila a e total em relação a ausência de sal.

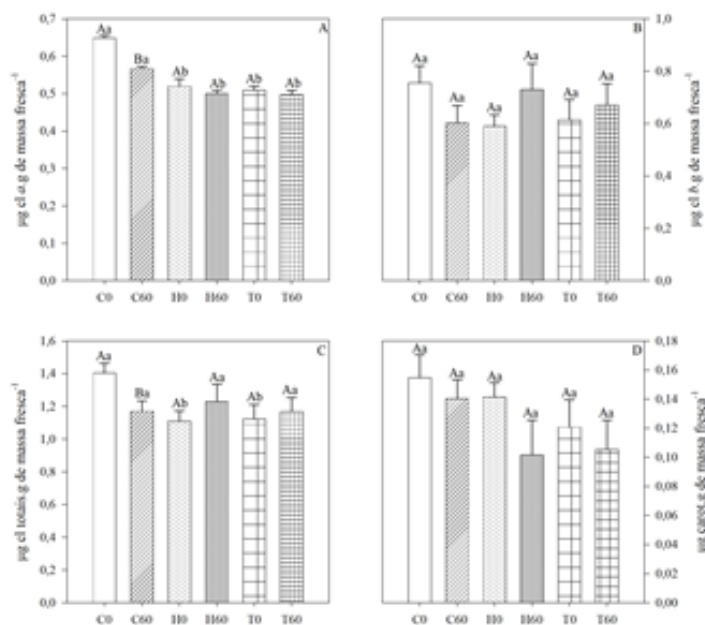


Figura 3 - Concentrações de pigmentos fotossintéticos em plantas de arroz (*Oryza sativa*) submetidas à ausência ou presença de 60 mM NaCl por 14 dias.

Legenda: A) teor de clorofila a; B) teor de clorofila b; C) teor de clorofilas totais; D) teor de carotenoides. Letras maiúsculas comparam um mesmo *priming* e as letras minúsculas comparam o desdobramento de um mesmo nível de salinidade. Os resultados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas utilizando teste de Tukey com $p \leq 0,05$. O erro padrão está indicado em cada barra. C: controle (semente sem *priming*); H: *hidropriming* (semente embebida em água por 24 h); T: tunicamicina (semente embebida em tunicamicina por 24 h). Tratamentos na ausência de 0 mM NaCl: C0, H0 e T0. Tratamentos na presença de 60 mM NaCl: C60, H60 e T60

A salinidade reduziu significativamente a condutância estomática (gs) nos tratamentos C60, H60 e T60 em comparação à ausência de sal. A eficiência do uso da água (A/gS) aumentou no tratamento C60 em relação a ausência de sal e no *priming* com TM sob salinidade em relação ao *priming* na ausência de salinidade, contudo, nenhuma alteração significativa foi observada entre H0/H60.

Tabela 1 - Análises de parâmetros fotossintéticos em plantas de arroz (*Oryza sativa*) submetidas à ausência ou presença de 60 mM NaCl por 14 dias.

Trat.	C0	C60	H0	H60	TM0	TM60
A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	18.38 Aa	19.99 Aa	20.54 Aa	18.1 Aa	19.75 Aa	18.68 Aa
gs ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	0.45 Aa	0.3 Ba	0.48 Aa	0.34 Ba	0.4 Aa	0.28 Ba
Ci ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$)	304.79 Aa	261.9 Ba	302.3 Aa	286.36 Aa	290.33 Aa	262.07 Aa
E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	0.007 Aa	0.006 Aa	0.008 Aa	0.006 Aa	0.007 Aa	0.006 Aa
Ci/Ca	0.79 Aa	0.68 Ba	0.79 Aa	0.74 Aa	0.75 Aa	0.68 Aa
A/gS [($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) ⁻¹]	42.46 Ba	69.01 Aa	42.84 Aa	53.73 Aa	50.79 Ba	67.95 Aa
A/Ci [($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$) ⁻¹]	0.06 Aa	0.08 Aa	0.07 Aa	0.06 Aa	0.07 Aa	0.07 Aa

Legenda: A) fotossíntese; Gs) condutância estomática; Ci) carbono interno; E) transpiração; Ci/Ca) taxa de assimilação de carbono; A/Gs) eficiência do uso da água; A/Ci) eficiência da carboxilação. Letras maiúsculas comparam um mesmo *priming* e as letras minúsculas comparam o desdobramento de um mesmo nível de salinidade. Os resultados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas utilizando teste de Tukey com $p \leq 0,05$. C: controle (semente sem *priming*); H: *hidropriming* (semente embebida em água por 24 h); T: tunicamicina (semente embebida em tunicamicina por 24 h). Tratamentos na ausência de 0 mM NaCl: C0, H0 e T0. Tratamentos na presença de 60 mM NaCl: C60, H60 e T60.

Apesar de os níveis de clorofila a e totais serem reduzidos em comparação ao tratamento controle, essa redução não foi significativa nos *primings* com tunicamicina e água dentro do nível de salinidade (Figuras 3A e 3C). Por outro lado, foi registrado nesse estudo uma redução no acúmulo de Na^+ em tecidos radiculares para os tratamentos com *priming* (Figura 2D). Esse aspecto contribui para uma menor suscetibilidade ao estresse iônico, uma vez que o acúmulo de íons nos tecidos da planta causa a saída de água do interior das células próximas ao estômato, ocasionando seu fechamento, representado pela redução nos valores de condutância estomática (gs) (Gadelha et al., 2021; Hakim et al., 2014b). Esse fenômeno aliado à manutenção dos níveis de clorofila a e totais entre 0 e 60 mM de NaCl nos tratamentos de *hidropriming* e tunicamicina discutidos anteriormente podem representar uma atenuação dos efeitos da salinidade, garantindo uso eficiente da água, especialmente nas plantas tratadas com TM (Tabela 1).

Um total de 75 metabolitos foram identificados dentre parte aérea e raiz, desses, 32 foram classificados como carboidratos, 25 como ácidos orgânicos, 12 como aminoácidos e 6 foram

classificados como outros metabólitos, que incluem polióis, aminas, amidas e ácidos inorgânicos. O gráfico de PCA da parte aérea demonstrou uma separação em dois grupos distintos influenciados principalmente pelo PC1, um grupo formado pelos tratamentos na ausência de sal (C0, H0 e T0) e outro grupo formado pelos tratamentos submetidos à 60 mM de NaCl (C60, H60 e T60). Os componentes PC representaram 62% de variância, respectivamente. Dentre esses grupos, pode-se observar uma maior sobreposição entre os tratamentos na ausência de salinidade, enquanto observa-se uma tendência à separação entre C60 e os tratamentos H60 e T60. Os metabólitos que mais contribuíram para a separação do PC1 foram prolina, glicose e manose, enquanto para PC2 observou-se a contribuição positiva de prolina, palatinose e ácido glutâmico. Na análise de PC dos tecidos radiculares foi observada quase completa sobreposição entre os tratamentos.

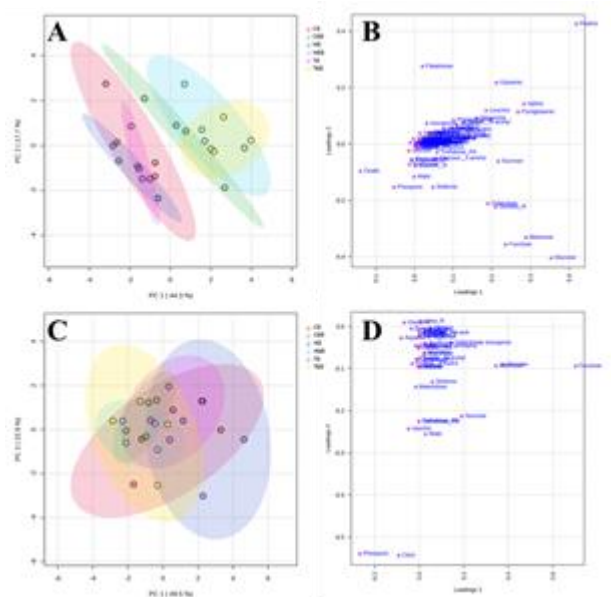


Figura 4 - Análise de componentes principais (principal component analysis – PCA) dos metabólitos extraídos de plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) submetidas à ausência ou presença de 60 mM NaCl por 14 dias.

Legenda: A) PCA da parte aérea. A variância de PC1 e PC2 está indicada nos eixos X e Y do gráfico, respectivamente. As regiões correspondentes as cores dos marcadores indicam o intervalo com 95% de confiança dos grupos. B) Loading plot relativo à parte aérea indica a contribuição individual positiva e negativa de cada metabólito para a separação dos grupos no PCA. C) PCA da raiz. D) Loading plot relativo à raiz. C: controle (semente sem *priming*); H: *hidropriming* (semente embebida em água por 24 h); T: tunicamicina (semente embebida em tunicamicina por 24 h). Tratamentos na ausência de 0 mM NaCl: C0, H0 e T0. Tratamentos na presença de 60 mM NaCl: C60, H60 e T60.

Adicionalmente, a análise do mapa de calor com as concentrações relativas dos metabólitos demonstra com clareza a separação em dois grupos influenciada pelos níveis de salinidade 0 e 60mM de NaCl. Além disso, pode-se notar um grupo de metabólitos, em sua maioria carboidratos, que é modulado positivamente com maior intensidade em T60 e H60 em comparação a C60.

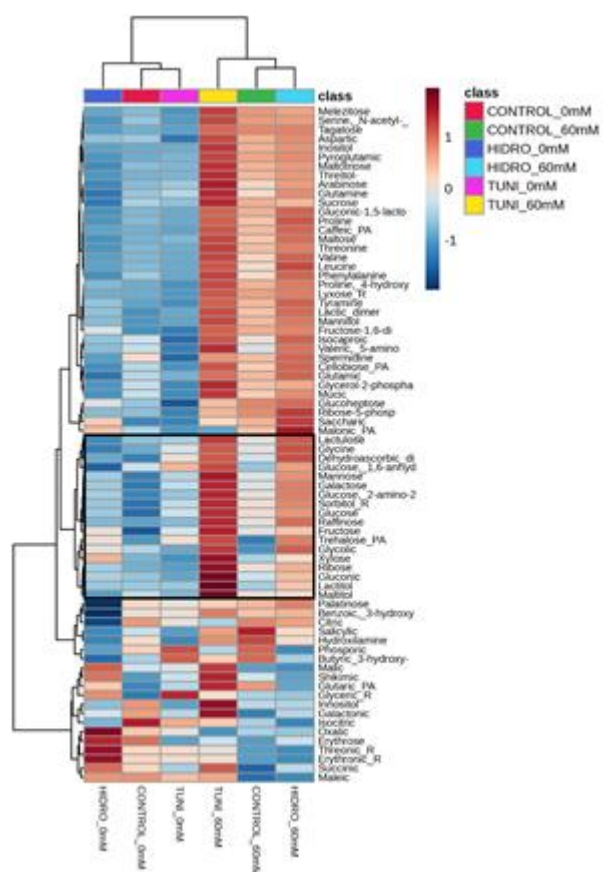


Figura 5 - Representação das concentrações relativas dos metabólitos em parte aérea de plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) submetidas à ausência ou presença de 60 mM NaCl por 14 dias.

Legenda: Cada coluna representa um tratamento, em ordem, da esquerda para a direita: H0, C0, T0, T60, C60 e H60. O gradiente de cores demonstra uma modulação positiva (em vermelho) ou negativa (em azul) de cada metabólito. C: controle (semente sem *priming*); H: *hidropriming* (semente embebida em água por 24 h); T: tunicamicina (semente embebida em tunicamicina por 24 h). Tratamentos na ausência de 0 mM NaCl: C0, H0 e T0. Tratamentos na presença de 60 mM NaCl: C60, H60 e T60.

A partir da análise de gráficos de dispersão gerados a partir de modelos de OPLS-DA da parte aérea, foram identificados metabólitos diferenciais nos tratamentos comparando as situações de ausência e presença de sal. Para o tratamento sem *priming*, os metabólitos discriminantes na presença de NaCl foram 5 aminoácidos: prolina, valina, treonina, ácido glutâmico e ácido piroglutâmico. Para as plantas tratadas com *hidropriming* e com tunicamicina observou-se um perfil similar apresentando os mesmos modelos discriminantes, sendo também relevantes a prolina, valina, ácidos glutâmico e piroglutâmico, além da leucina para o *hidropriming* e o lactitol para o *priming* com TM. Na ausência de sal, todos os tratamentos apresentaram o ácido oxálico como metabólito mais discriminante, além de ácido isocítrico, ácido málico e ácido fosfórico no controle, *hidropriming* e tunicamicina, respectivamente.

O perfil metabólico aponta a salinidade como fator que mais diferenciou os grupos tratados pela separação do PCA quanto pela formação de dois grupos bem definidos de

metabólitos no mapa de calor. Adicionalmente, os gráficos de dispersão originados pelo modelo de OPLS-DA apontaram para um grupo conservado de metabólitos que podem ser considerados discriminantes para as respostas bioquímicas da planta sob condições salinas. A prolina tem diversos efeitos já registrados na literatura, atuando como molécula osmoprotetora e induzindo aumento na atividade de enzimas antioxidantes (El Moukhtari et al., 2020). A valina está relacionada à leucina e isoleucina e participa das vias de metabolismo do carbono e do nitrogênio (Gipson et al., 2017). Ácido glutâmico possui papel central na produção de outros aminoácidos na forma de glutamato, além de relacionar-se à síntese de glutatona, importante molécula do sistema antioxidante vegetal, e à resposta a estresses abióticos (Qiu et al., 2020). Outro metabólito comum aos tratamentos foi o ácido piroglutâmico, que participa da via de síntese da glutatona, cujos registros na literatura indicam que a aplicação exógena desse composto pode induzir mecanismos de tolerância a estresse hídrico em alface (Jiménez-Arias et al., 2019). O *priming* com TM induziu níveis maiores de ácido piroglutâmico em condições de salinidade, evidenciando o seu potencial em auxiliar a planta em lidar com o sal. Em contrapartida, foram identificados metabólitos discriminantes exclusivos para C60, H60 e T60 sendo eles: treonina, leucina e lactitol, respectivamente. A relevância da treonina é acentuada pela descoberta de diversos genes produtores de metabólitos atrelados à treonina cujo perfil em cada tecido vegetal ativa respostas contra estresses bióticos e abióticos (Muthuramalingam et al., 2018). Leucina é componente de uma família de fatores de transcrição (bZIP – basic leucine zippers) relacionados a diversos genes de resposta ao estresse, inclusive em arroz (Yu et al., 2020). Já o lactitol se trata de um açúcar álcool, ou poliol, derivado da lactose que desempenha uma função osmoprotetora, mantendo a homeostase celular em condições de estresse (Noiraud; Maurousset; Lemoine, 2001).

CONCLUSÕES

O *hidropriming* induziu o aumento em todos os parâmetros de massa e, adicionalmente, redução do íon sódio na raiz, apesar de também reduzir os níveis de potássio em condições de salinidade, demonstrando sua maior eficiência para cultivo sem exposição ao sal. Paralelamente, o *priming* com tunicamicina induziu um aumento de MSR e MFR, o seu potencial para indução de tolerância, uma vez que reduziu também o acúmulo de sódio nas raízes e atenuou a redução dos níveis de clorofilas a e totais. Tais benefícios podem ser justificados pela ligeira produção diferencial de metabólitos osmoticamente ativos e que são

conhecidos na literatura por atuar diretamente nas vias de mecanismos antioxidantes da planta. Diante disso, o uso da tunicamicina não induziu a aclimação das plantas à salinidade, entretanto mostrou-se como uma molécula promissora para os estudos que relacionam estresse salino e as respostas do retículo endoplasmático pois induziu alterações que sugerem meios pelos quais a planta pode aliviar os efeitos deletérios do estresse.

AGRADECIMENTOS

ForCe Metabolomics e INCT em Agricultura Sustentável no Semiárido Tropical-INCTAGriS (CNPq/Funcap/Capes).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAO, Y.; HOWELL, S. H. THE UNFOLDED PROTEIN RESPONSE SUPPORTS PLANT DEVELOPMENT AND DEFENSE AS WELL AS RESPONSES TO ABIOTIC STRESS. **FRONTIERS IN PLANT SCIENCE**, V. 8, 15 MAR. 2017.

CHEN, T.; SHABALA, S.; NIU, Y.; CHEN, Z.; SHABALA, L.; MEINKE, H.; VENKATARAMAN, G.; PAREEK, A.; XU, J.; ZHOU, M. MOLECULAR MECHANISMS OF SALINITY TOLERANCE IN RICE. **THE CROP JOURNAL**, V. 9, N. 3, P. 506–520, JUN. 2021.

EL MOUKHTARI, A., CABASSA-HOURTON, C., FARISSI, M., SAVOURÉ, A. HOW DOES PROLINE TREATMENT PROMOTE SALT STRESS TOLERANCE DURING CROP PLANT DEVELOPMENT? **FRONTIERS IN PLANT SCIENCE**, V. 11, 23 JUL. 2020.

FUKAGAWA, N. K.; ZISKA, L. H. RICE: IMPORTANCE FOR GLOBAL NUTRITION. **JOURNAL OF NUTRITIONAL SCIENCE AND VITAMINOLOGY**, V. 65, N. SUPPLEMENT, P. S2–S3, 2019.

GADELHA, C. G.; COUTINHO, Í. A. C.; PINHEIRO, S. K. P.; MIGUEL, E. C.; CARVALHO, H. H.; LOPES, L. S.; GOMES-FILHO, E. SODIUM UPTAKE AND TRANSPORT REGULATION, AND PHOTOSYNTHETIC EFFICIENCY MAINTENANCE AS THE BASIS OF DIFFERENTIAL SALT TOLERANCE IN RICE CULTIVARS. **ENVIRONMENTAL AND EXPERIMENTAL BOTANY**, V. 192, 1 DEZ. 2021.

GIPSON, A.B., MORTON, K.J., RHEE, R.J., SIMO, S., CLAYTON, J.A., PERRETT, M.E., BINKLEY, C.G., JENSEN, E.L., OAKES, D.L., ROUHIER, M.F., ROUHIER, K.A. DISRUPTIONS IN VALINE DEGRADATION AFFECT SEED DEVELOPMENT AND GERMINATION IN ARABIDOPSIS. **PLANT JOURNAL**, V. 90, N. 6, P. 1029–1039, 1 JUN. 2017.

HAKIM, M. A., JURAIMI, A. S., HANAFI, M. M., ISMAIL, M. R., RAFII, M. Y., ISLAM, M. M., SELAMAT, A. J. J. A. P. S. THE EFFECT OF SALINITY ON GROWTH, ION ACCUMULATION AND YIELD OF RICE VARIETIES. **JAPS: JOURNAL OF ANIMAL & PLANT SCIENCES**, V. 24, N.3, P. 874-885, 30 JUN. 2014.

HOWELL, S. H. ENDOPLASMIC RETICULUM STRESS RESPONSES IN PLANTS. **ANNUAL REVIEW OF PLANT BIOLOGY**, V. 64, N. 1, P. 477–499, 29 ABR. 2013.

IWATA, Y.; YAGI, F.; SAITO, S.; MISHIBA, K.; KOIZUMI, N. INOSITOL-REQUIRING ENZYME 1 AFFECTS MERISTEMATIC DIVISION IN ROOTS UNDER MODERATE SALT STRESS IN ARABIDOPSIS. **PLANT BIOTECHNOLOGY**, V. 34, N. 3, P. 159–163, 2017.

JIMÉNEZ-ARIAS, D., GARCIA-MACHADO, F.J., MORALES-SIERRA, S., LUIS, J.C., SUAREZ, E., HERNÁNDEZ, M., VALDÉS, F., BORGES, A.A. LETTUCE PLANTS TREATED WITH L-PYROGLUTAMIC ACID INCREASE YIELD UNDER WATER DEFICIT STRESS. **ENVIRONMENTAL AND EXPERIMENTAL BOTANY**, V. 158, P. 215–222, 1 FEV. 2019.

KO, D. K.; BRANDIZZI, F. DYNAMICS OF ER STRESS-INDUCED GENE REGULATION IN PLANTS. **NATURE REVIEWS GENETICS**, V. 25, N. 7, P. 513–525, 18 MAR. 2024.

LISEC, J.; SCHAUER, N.; KOPKA, J.; WILLMITZER, L.; FERNIE, A. R. GAS CHROMATOGRAPHY MASS SPECTROMETRY-BASED METABOLITE PROFILING IN PLANTS. **NATURE PROTOCOLS**, V. 1, N. 1, P. 387–396, JUN. 2006.

MUTHURAMALINGAM, P., KRISHNAN, S.R., PANDIAN, S., MAREESWARAN, N., ARUNI, W., PANDIAN, S.K. RAMESH, M. GLOBAL ANALYSIS OF THREONINE METABOLISM GENES UNRAVEL KEY PLAYERS IN RICE TO IMPROVE THE ABIOTIC STRESS TOLERANCE. **SCIENTIFIC REPORTS**, V. 8, N. 1, 1 DEZ. 2018.

NOIRAUD, N.; MAUROUSSET, L.; LEMOINE, R. TRANSPORT OF POLYOLS IN HIGHER PLANTS. **PLANT PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY**, V. 39, N. 9, P. 717–728, SET. 2001

OHTA, M.; TAKAIWA, F. OSERDJ7 IS AN ER-RESIDENT J-PROTEIN INVOLVED IN ER QUALITY CONTROL IN RICE ENDOSPERM. **JOURNAL OF PLANT PHYSIOLOGY**, V. 245, 1 FEV. 2020.

OLIVEIRA, F. D. B.; PEREIRA, I. M. C.; IGOR RAFAEL SOUSA COSTA, I. R. S.; CAVALCANTE, F. L. P.; COUTINHO, I. A. C.; ALVES, M. S.; PAULA-MARINHO, S. O.; GOMES-FILHO, E.; CARVALHO, H. H. ENDOPLASMIC RETICULUM ACTIVATION VIA TUNICAMYCIN *SEED PRIMING* ENHANCES SALT ACCLIMATION IN RICE SEEDLINGS. **PLANT SCIENCE**, [S.L.], V. 112567, 2025.

QIU, X.M., SUN, Y.Y., YE, X.Y., LI, Z.G. SIGNALING ROLE OF GLUTAMATE IN PLANTS. **FRONTIERS IN PLANT SCIENCE**, V. 10, 24 JAN. 2020.

RADANIELSON, A. M.; ANGELES, O.; LI, T.; ISMAIL, A. M.; GAYDON, D. S. DESCRIBING THE PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF DIFFERENT RICE GENOTYPES TO SALT STRESS USING SIGMOID AND PIECEWISE LINEAR FUNCTIONS. **FIELD CROPS RESEARCH**, V. 220, P. 46–56, 1 MAIO 2018.

RHAMAN, M. S.; RAUF, F.; TANIA, S. S.; KHATUN, M. *SEED PRIMING* METHODS: APPLICATION IN FIELD CROPS AND FUTURE PERSPECTIVES. **ASIAN JOURNAL OF RESEARCH IN CROP SCIENCE**, P. 8–19, 25 MAIO 2020.

ROQUE, I. A., SOARES, L. A. D. A., LIMA, G. S. D., LOPES, I. A. P., SILVA, L. D. A. BIOMASS, GAS EXCHANGE AND PRODUCTION OF CHERRY TOMATO CULTIVATED UNDER SALINE WATER AND NITROGEN FERTILIZATION. **REVISTA CAATINGA**, V. 35, N. 3, P. 686–696, 12 JUL. 2022.

UNICEF. THE STATE OF FOOD SECURITY AND NUTRITION IN THE WORLD 2021.

WELLBURN, A. R. THE SPECTRAL DETERMINATION OF CHLOROPHYLLS A AND B, AS WELL AS TOTAL CAROTENOIDS, USING VARIOUS SOLVENTS WITH SPECTROPHOTOMETERS OF DIFFERENT RESOLUTION. **JOURNAL OF PLANT PHYSIOLOGY**, V. 144, N. 3, P. 307–313, 1994.

YU, Y., QIAN, Y., JIANG, M., XU, J., YANG, J., ZHANG, T., GOU, L., PI, E. REGULATION MECHANISMS OF PLANT BASIC LEUCINE ZIPPERS TO VARIOUS ABIOTIC STRESSES. **FRONTIERS IN PLANT SCIENCE**, V. 11, 20 AGO. 2020.