

Seed priming com luz azul e etileno induz tolerância a estresses em mudas de *Moringa oleífera* Lam.

Semako Ibrahim Bonou¹, Guilherme Félix Dias², Patrícia da Silva Costa - Ferraz³, Renner Luciano de Souza Ferraz⁴, Carlos Alberto Vieira de Azevedo⁵, Alberto Soares de Melo⁶

RESUMO: A relação entre a luz azul e o etileno nas mudanças fisiológicas de mudas de *Moringa oleífera* Lam. sob estresses abióticos ainda necessita de maiores investigações. Diante dessa lacuna, objetivou-se avaliar os parâmetros de crescimento e produção de biomassa da parte aérea das mudas de *M. oleífera* obtidas de sementes condicionadas com solução com etileno sob irradiação com luz monocromática azul e cultivadas em câmara de crescimento tipo Fitotron sob estresses abióticos. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial triplo 2 x 2 x 3, com cinco repetições. Os fatores consistiram em: dois níveis de reposição hídrica (50% e 100% evapotranspiração da cultura – ETc), duas condições térmicas (com estresse: 40 °C dia/35 °C noite; e em estresse: 30 °C dia/25 °C noite), e três condicionamentos de sementes: controle - NP (sementes não condicionadas); condicionamento em água destilada sob irradiação com luz azul – PB; e condicionamento em solução de etileno sob irradiação com luz azul – PBE. Verificou-se que o pré-condicionamento de sementes com luz azul associada ao etileno (PBE) mitigou os efeitos de estresses abióticos no crescimento e na produção de biomassa indicando uma estratégia promissora para o cultivo de *M. oleífera* em condições adversas.

PALAVRAS-CHAVE: déficit hídrico, tolerância ao estresse, biomassa da parte aérea.

¹ Doutorando, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), 83996132628, bonouibrahim@gmail.com

² Doutorando, Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), 83996148679, guilhermefelix038@gmail.com

³ Post-doutoranda, Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), 83996596615, patriciaagroambiental@gmail.com

⁴ Professor, Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), 83996193860, rener.ferraz@servidor.uepb.edu.br

⁵ Professor, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), 839988115725, cvieiradeazevedo@gmail.com

⁶ Professor, Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), 83988713902, alberto.melo@servidor.uepb.edu.br

Seed priming with blue light and ethylene induces stress tolerance in *Moringa oleifera* Lam. Seedlings

ABSTRACT: The relationship between blue light and ethylene on the physiological changes of *Moringa oleifera* Lam. seedlings under abiotic stresses still requires further investigation. Given this gap, this study aimed to evaluate the growth parameters and biomass production of *M. oleifera* seedlings' shoots, obtained from seeds conditioned with an ethylene solution under irradiation with monochromatic blue light, and grown in a phytotron-type growth chamber under abiotic stresses. The experiment was conducted using a completely randomized design in a $2 \times 2 \times 3$ triple factorial scheme with five replicates. The factors consisted of: two levels of water replacement (50% and 100% crop evapotranspiration - ETC), two thermal conditions (with stress: 40 °C day/35 °C night; and under stress: 30 °C day/25 °C night), and three seed conditioning: control - NP (unconditioned seeds); conditioning in distilled water under blue light irradiation – PB; and conditioning in ethylene solution under blue light irradiation – PBE. It was found that preconditioning seeds with blue light associated with ethylene (PBE) mitigated the effects of abiotic stresses on growth and biomass production, indicating a promising strategy for cultivating *M. oleifera* under adverse conditions.

KEYWORDS: water deficit, stress tolerance, aerial biomass.

INTRODUÇÃO

A *Moringa oleifera* Lam. tem ganhado destaque mundialmente, pois todas as partes da planta podem ser usadas como alimentos, medicamentos e para fins industriais. Ela é uma espécie da família Moringaceae nativa da Índia e do Paquistão, sendo cultivada em regiões áridas e semiáridas, caracterizando-se em alternativa para alimentação humana e animal devido seu potencial nutritivo, além de possuir aminoácidos essenciais, macro e micronutrientes (Shahzad et al., 2025).

As folhas de *M. oleifera* destacam-se pelo elevado valor nutricional, sendo fontes significativas de vitaminas A, B e C, minerais essenciais como cálcio, ferro e potássio, além de apresentarem elevado teor proteico. Embora a *M. oleifera* apresente ampla adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas, a exposição a estresses abióticos durante o estágio vegetativo pode comprometer o acúmulo de biomassa e afetar negativamente o rendimento de frutos e sementes (Vinodkumar et al., 2025; Mahaveerchand & Abdul Salam, 2024).

As reduções do crescimento e reflexos na produção de *M. oleifera* podem estar relacionados ao fato de que a maioria dos processos fisiológicos ocorrem nas folhas, pois, as mudanças de dimensões dos folíolos podem ser indicadores importantes para estudo de tolerância da cultura ao deficit hídrico (Khoza et al., 2025). Uma alternativa para atenuar os efeitos da seca e da alta temperatura em plantas é o condicionamento de sementes uma vez que, podem induzir tolerâncias a esses estresses (Maia Júnior et al., 2024).

Nesse contexto, objetivou-se avaliar os parâmetros de crescimento e a produção de biomassa da parte aérea das mudas de *M. oleifera* produzidas de sementes submetidas ao condicionamento em solução com etileno sob irradiação com luz azul e cultivadas em câmara de crescimento tipo Fitotron sob condições de deficit hídrico e alta temperatura.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial triplo 2 x 2 x 3, com cinco repetições, totalizando 60 unidades experimentais. O primeiro fator foi constituído por dois níveis de reposição de água no solo perdida por evapotranspiração da cultura – ETc (50% e 100%) onde utilizou-se do método de pesagens (SILVA et al., 2020), em que foi reposta a água perdida por evapotranspiração da cultura – ETc no dia que antecedeu cada evento de irrigação., o segundo fator constituído de duas condições térmicas, uma com estresse (40 °C dia/35 °C noite) e a outra sem estresse (30 °C dia/25 °C noite) e três condicionamentos de sementes constituídos de um controle - NP (sementes não condicionadas), PB – (condicionamento em água destilada sob irradiação com luz azul) e PBE – (condicionamento em solução de etileno (500 mg L⁻¹ de Ethrel) sob irradiação com luz azul.

As sementes condicionadas foram semeadas em vaso de polietileno com capacidade volumétrica de 300 cm³ preenchidos com substrato constituído de solo arenoso e humus na proporção de 3:1 (m/m) com umidade próxima da capacidade de campo. Os vasos semeados foram transferidos para a câmara de crescimento tipo Fitotron localizada na Estação Experimental situada a 07° 12' 42,99'' S, 35° 54' 36,27'' W e altitude de 521 m, pertencente à Universidade Estadual da Paraíba – UEPB.

Após 35 DAS foi determinado por contagem direta o número de folíolos (NFH), a razão de massa foliar fresca nas folhas (RMF) pela equação 1:

$$RMFF = \frac{MFF}{MFT} \quad (1)$$

onde

RMF - razão de massa foliar, g g⁻¹;

MFF - massa foliar fresca, g; e,

MFT - matéria fresca total da planta, g¹

O índice de área foliar (IAF) foi determinado através da relação área foliar sobre a superfície do solo ocupada pela muda, usando a equação 2:

$$IAF = \frac{AF}{S} \quad (2)$$

onde

IAF - índice de área foliar, cm²;

AF - área foliar, cm²; e

S - Superfície do solo ocupada pela planta, cm²

O índice de produção de biomassa na parte aérea (IPBPA) usando a equação (3) proposta por Bennicasa (2003):

$$IPBPA = \frac{MSPA}{MFT} \quad (3)$$

em que

IPBPA - índice de produção de biomassa da parte aérea (admissional);

MSPA - matéria seca da parte aérea, g; e,

MFT - matéria fresca total, g

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk (Shapiro & Wilk, 1965). Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey (Tukey, $p \leq 0.05$), utilizando-se do software Sisvar v. 5.6 (Ferreira, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As mudas de *M. oleífera* foram influenciadas significativamente pelos três fatores estudados, priming, estresse hídrico e estresse térmico, houve interação significativa tripla para razão da massa foliar (RMFF, $p < 0,01$) e para o índice de produção de biomassa da parte aérea (IPBPA, $p < 0,05$). O Número de folhas (NFH) e o índice da área foliar (IAF) foram

influenciados significativamente, apenas pelo estresse hídrico e o estresse térmico de forma isolada ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância para Número de folhas (NFH), índice da área foliar (IAF), razão da massa fresca das folhas (RMFF) e índice de produção de biomassa da parte aérea (IPBPA) em mudas de *M. oleifera* condicionadas com luz azul e etileno e submetidas a estresse hídrico e térmico.

Fontes de Variação	Quadrados Médios				
	GL	NFH	RMFF	IAF	IPBPA
PRI	2	0,816 ^{ns}	0,0050**	0,0001 ^{ns}	0,0001**
ESH	1	33,750**	0,0033**	0,0010**	0,0000 ^{ns}
EST	1	22,816**	0,0642**	0,0103**	0,0035**
PRI*ESH	2	0,050 ^{ns}	0,0012**	0,0005 ^{ns}	0,0000**
PRI*EST	2	0,116 ^{ns}	0,0130**	0,0004 ^{ns}	0,0002**
ESH*EST	1	3,750 ^{ns}	0,0119**	0,0000 ^{ns}	0,0000 ^{ns}
PRI*ESH*EST	2	0,350 ^{ns}	0,0043**	0,0001 ^{ns}	0,0000*
Bloco	4	1,441 ^{ns}	0,000 ^{ns}	0,0000 ^{ns}	0,0000**
Resíduo	44	0,941	0,0001	0,0001	0,0000
CV (%)		11,58	5,91	26,42	4,85
Média Geral		8,38	6,96	0,044	0,047

**, * e ns = significativo a 1%, 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, de acordo com o teste F.

O estresse hídrico (WWS) reduziu significativamente o número de folíolos em comparação àquelas mantidas em condições adequadas de umidade (NWS) (Figura 1A). O aumento da temperatura de 30 °C para 40 °C resultou em acréscimo significativo no número de folhas (Figura 1B). Os estresses hídrico e térmico ocasionaram reduções significativas no índice da área foliar (IAF) (Figura 1C e 1D). A redução do número de folíolos e do IAF indica que a limitação hídrica compromete processos fisiológicos essenciais, como a expansão celular e a translocação de assimilados, refletindo em menor crescimento vegetativo (Tiessen et al., 2024). O aumento de número de folhas sob 40° C indica que o estresse térmico moderado pode favorecer o desenvolvimento foliar, possivelmente por estimular a atividade enzimática e o metabolismo fotossintético (Mendes et al., 2024).

A razão da massa fresca das folhas (RMFF) foi menor nas plantas oriundas de sementes não tratadas (NP) sob estresses combinados, especialmente a 40 °C com déficit hídrico (WWS). Em contrapartida, o condicionamento com luz azul (PB) e, de forma mais expressiva, com luz azul associada ao etileno (PBE), conferiu maior estabilidade na reserva de massa foliar, mesmo sob condições desfavoráveis (Figura 1E).

O índice de produção de biomassa da parte aérea (IPBPA) também foi menor em plantas oriundas de sementes não condicionadas (NP) sob estresse térmico (40 °C) e hídrico (WWS), as plantas provenientes de sementes condicionadas com PBE mantiveram valores superiores de IPBPA mesmo sob condições adversas, demonstrando maior resiliência fisiológica (Figura 1F). Essa manutenção da produção de biomassa da parte aérea sugere que o condicionamento com luz azul e etileno favorece o balanço entre crescimento e tolerância ao estresse, contribuindo para a estabilidade do desenvolvimento vegetativo e produtividade potencial em ambientes adversos (Pech et al., 2024).

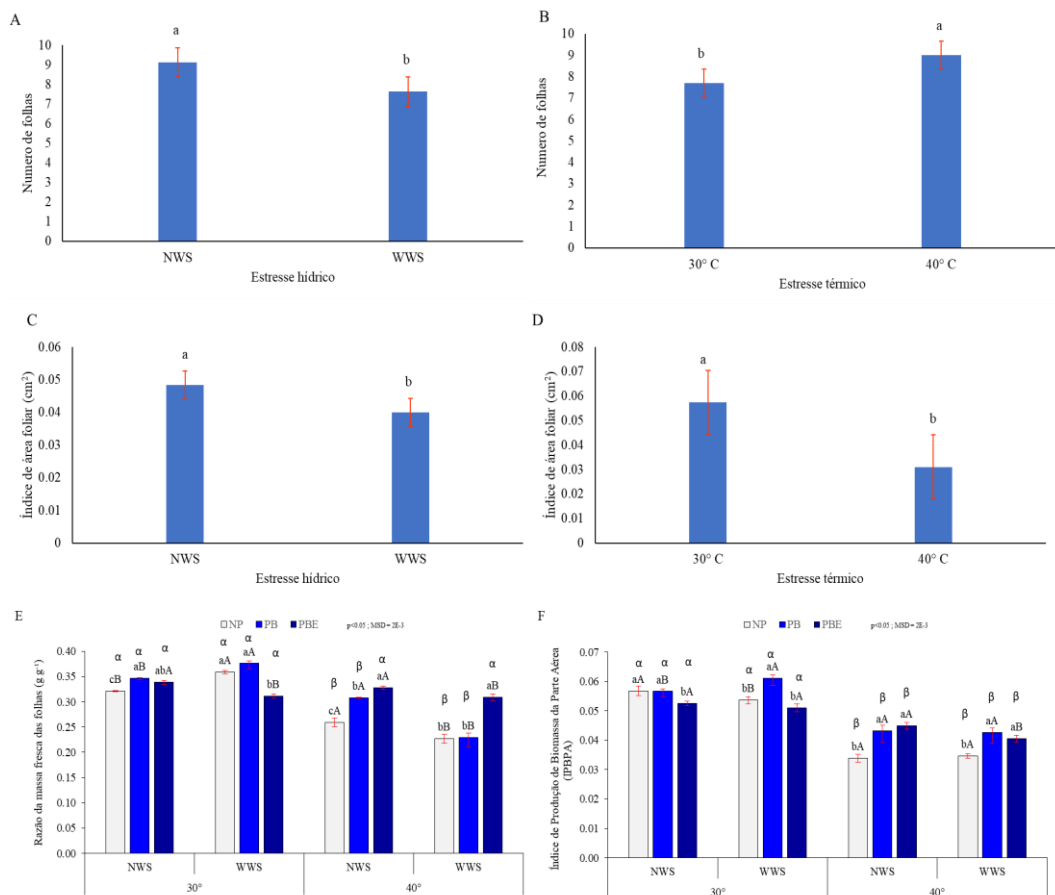


Figura 1- Número de folhas (A, B), índice da área foliar (C, D), razão da massa fresca das folhas (E) e índice de produção de biomassa da parte aérea (F) em mudas de *M. oleifera* sob reposição da água perdida por evapotranspiração sem estresse hídrico (NWS), com estresse hídrico (WWS), sem estresse térmico (30 °C) e com estresse térmico (40 °C). NP – sementes não tratadas, PB – sementes irradiadas com luz azul e PBE – sementes irradiadas com luz azul e etileno. Letras arábicas minúsculas diferenciam o condicionamento dentro de cada estresse, letras arábicas maiúsculas diferenciam o estresse hídrico e sem estresse hídrico dentro dos condicionamentos e a temperatura e letras gregas diferenciam o estresse térmico dentro dos condicionamentos e o estresse hídrico.

CONCLUSÕES

O condicionamento de sementes com luz azul associada ao etileno mitigou os efeitos dos estresses hídrico e térmico, favorecendo o crescimento foliar e produção de biomassa em mudas de *M. oleífera*. Essa técnica representa uma alternativa promissora para aumentar a tolerância de plantas cultivadas em condições ambientais adversas, com reflexos positivos na produtividade agrícola.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), código financeiro 001. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de auxílio financeiro (Proc. 408952/2021-0 e 307559/2022-0), Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (Fapesq/PB) (Edital FapesqPB/CNPq no. 77/2022), Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Agricultura Sustentável no Semiárido Tropical (INCTAgris), a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Laboratório de Ecofisiologia de Plantas Cultivadas (Ecolab).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENINCASA, M. M. P.; **Análise de crescimento de plantas**. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p.

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

KHOZA, T.; MASENYA, A.; KHANYILE, N.; THOSAGO, S. Alleviating Plant Density and Salinity Stress in *Moringa oleifera* Using Arbuscular Mycorrhizal Fungi: A Review. **Journal of Fungi**, v. 11, p.328, 2025.

MAHAVEERCHAND, H.; ABDUL SALAM, A. A. Environmental, industrial, and health benefits of *Moringa oleifera*. **Phytochemistry Reviews**, v. 23, n. 5, p. 1497-1556, 2024.

MAIA JÚNIOR, de O. S.; de ANDRADE, J. R.; SILVA, P. C.; AGUIAR, D. L.; PINHEIRO, F. A. S.; CAMPOS, L. S.; DINIZ, D. C.; TORRES, A. M de S.; FIGUEIREDO, F. A. M. M. A.; REIS, F. O.; FERRAZ, T. M. Soybean seed priming with brassinosteroids mitigates the effects of drought stress—**Journal of Plant Growth Regulation**, p. 1-15, 2024.

MENDES, K. R.; BONIFACIO, A.; MARTINS, M. O.; SOUSA, R. H.; MONTEIRO, M. V.; SILVEIRA, J. A. Heat shock combined with salinity impairs photosynthesis but stimulates antioxidant defense in rice plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 225, p.105851, 2024.

PECH, R.; VOLNÁ, A.; ŠPUNDA, V.; NEZVAL, J. Blue light as an important factor increasing plant tolerance to acute photooxidative stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 226, p.105923, 2024.

SHAHZAD, U.; JASKANI, M. J.; HAMEED, M.; NAFEES, M.; SAQIB, M.; SHAHJAHAN, M.; NAQVI, S. A. Effects of climate and soil on morphological diversity of *Moringa oleifera* L. Germplasm in Punjab, Pakistan. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 72, p. 5377-5391, 2025.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika Trust**, v. 52, p. 591-609, 1965.

TIESSEN, A.; LUNN, J.; GEIGENBERGER, P. Carbohydrate metabolism under water-limited conditions. **Drought adaptation in cereals**, p. 449-503. CRC Press. 2024.

VINODKUMAR, T.; DINESH, T.; GHOSH, K.; ILAVARASAN, R. A comprehensive analysis of minerals in *Moringa oleifera* leaves, seeds, stem bark, and ash using inductively coupled plasma-optical emission spectroscopy (ICP-OES). **Discover Chemistry**, v. 2, n. 1, p. 1-12, 2025.