

DESEMPENHO FISIOLÓGICO DA CULTIVAR IRGA 424 RI SUBMETIDA A ALTAS TEMPERATURAS

Autores: Luana Bueno Longaray¹; Ana Carolina de Oliveira Alves²; Natan da Silva Fagundes³; Mirege Robaina Viviam⁴, Sidnei Deuner⁵.

Palavras-chave: *Oriza sativa* L., estresse térmico; trocas gasosas, fluorescência da clorofila.

Introdução

O arroz possui papel fundamental para a segurança alimentar mundial, visto que é a base alimentar para mais de 3 bilhões de pessoas ao redor do mundo, suprimindo as necessidades nutricionais de populações de países desenvolvidos e em desenvolvimento. Apresenta-se também como um grão de grande importância na dieta dos brasileiros, que consomem, em média, 32 kg per capita ao ano (SOSBAI, 2022).

No entanto, a produção desta cultura tem sido afetada pelas condições ambientais adversas cada vez mais frequentes. Temperaturas do ambiente superiores ao ideal para o desenvolvimento de plantas, podem comprometer diversas funções metabólicas e fisiológicas, como provocar instabilidade nas membranas, aumentado extravasamento de eletrólitos, aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), reduzindo a síntese de carboidratos, e provocando danos a proteínas e DNA, além de afetar severamente o aparato fotossintético das plantas (PRASAD *et al.*, 2017 apud ARYAN *et al.*, 2022). Segundo Restrepo-Diaz e Garces-Varon (2013), a taxa fotossintética pode ser reduzida em até 50% em plantas submetidas a temperaturas diurnas superiores a 35°C, podendo esta redução ser consequência da degradação oxidativa da clorofila ocasionada pelas EROs, desestabilização das membranas dos tilacoides (ASHRAF e HARRIS, 2013), reduzindo a eficiência na captação de luz (WAHID *et al.*, 2007), ou ainda, ser consequência de estratégias de defesa da planta contra o estresse ao qual está submetida (BITA e GERATS, 2013).

Diante da exposição ao estresse térmico, plantas de arroz podem apresentar alterações morfofisiológicas relacionadas a mecanismos de adaptação ou sobrevivência. Considerando este contexto, o presente estudo objetivou avaliar respostas fisiológicas de plantas de arroz irrigado, cv. IRGA 424 RI, submetidas a altas temperaturas durante o estágio reprodutivo.

Material e Métodos

A semeadura foi realizada na segunda quinzena de outubro de 2024 na área experimental do Centro Agropecuário da Palma, pertencente à Universidade Federal de Pelotas (UFPel). O manejo de adubação e tratamentos culturais foram realizados de acordo com as recomendações técnicas para a cultura no Sul do Brasil (SOSBAI, 2022).

Ao atingirem o estágio fenológico R1 (COUNCE *et al.*, 2000), foi imposto o tratamento de estresse térmico, onde as plantas foram submetidas a condição de temperatura elevada através da instalação de estruturas confeccionadas a partir de canos PVC e filme de polietileno transparente (150 micras), cobrindo uma área de 1,0 x 2,7 x 1,5 metros de largura, comprimento e altura, respectivamente, possuindo aberturas laterais, permitindo assim, as trocas gasosas entre ambiente interno e externo. Para o tratamento testemunha, as plantas foram conduzidas em condição ambiente ao longo de todo o ciclo, sendo utilizadas parcelas na proporção de 2,7 m², cada tratamento contou com quatro repetições. O monitoramento da

¹ Eng. Agrônoma, Mestranda em Fisiologia Vegetal, Departamento de Botânica, Instituto de Biologia (IB), Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Av. Eliseu Maciel, s/n – Capão do Leão, RS, 96160-000, Brasil, buenolongaray@gmail.com

² Eng^o Agrônoma, mestranda no PPG em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Pelotas (UFPel), aco.alves@outlook.com

³ Eng^a Agrônomo, mestrando no PPG em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Pelotas (UFPel), natanfagundes@gmail.com

⁴ Eng^a Agrônomo, mestrando no PPG em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Pelotas (UFPel), viviamirege@gmail.com

⁵ Prof. Dr., Universidade Federal de Pelotas (UFPel), sdeuner@yahoo.com.br

temperatura interna às estruturas foi realizado com auxílio de um Datalogger digital (AKSO, modelo AK172), tendo sido observado um incremento médio de 8°C em relação ao ambiente externo ao longo do dia, e de 3°C no período noturno.

As avaliações foram realizadas após 01, 07 e 14 da imposição do estresse, em folhas totalmente expandidas do terço superior das plantas, sendo mensurado o índice de clorofilas (a, b e total) com auxílio do medidor de clorofila portátil (modelo FALKER - CFL2060) e, a condutância estomática (Gs), taxa transpiratória (E), déficit de pressão de vapor foliar (DPV), temperatura foliar (Tleaf), fluorescência inicial (Fs'), fluorescência máxima (Fm'), eficiência quântica efetiva do fotossistema II (PhiPSII) e taxa de transferência de elétrons (ETR), com auxílio do porômetro e fluorômetro foliar portátil (modelo Li-600, LI-COR Biosciences Lincoln, NE, EUA).

Os dados obtidos foram analisados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk, e após, realizada a análise de variância (ANOVA) utilizando o software Statistix 9 (TALLAHASSEE, 2009), seguido do teste de Tukey (5%) para comparação de médias.

Resultados e Discussão

Analisando os resultados apresentados para o índice de clorofilas, não foram observadas diferenças significativas para a clorofila a, b e total entre as plantas cultivadas em condição ambiente e aquelas expostas a altas temperaturas (Tabela 1).

Tabela 1. Índice de clorofila a, b e total de plantas de arroz da cv. IRGA 424 RI em resposta a altas temperaturas no estágio reprodutivo.

Período (dias)	Tratamentos	Clorofila a	Clorofila b	Clorofila total
01	Testemunha	27,2 A*	7,2 A	34,6 A
	Est. Térmico	28,5 A	8,3 A	36,8 A
	CV (%)	4,75	9,33	5,33
07	Testemunha	30,0 A	8,3 A	38,3 A
	Est. Térmico	28,8 A	8,6 A	37,4 A
	CV (%)	6,66	7,26	6,12
14	Testemunha	30,5 A	8,9 A	39,4 A
	Est. Térmico	31,8 A	9,6 A	41,5 A
	CV (%)	3,91	8,29	4,51

*Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna, para cada período avaliado, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey (5%).

Diversos estudos apontam prejuízos causados por calor em plantas cultivadas, visto que, esta condição compromete processos fisiológicos e bioquímicos, assim como a atividade de enzimas envolvidas no metabolismo da clorofila (WARAICH, *et al.*, 2021). No entanto, segundo Yang *et al.* (2025), o índice de clorofila é diretamente influenciado pelo estado hídrico da planta, assim, os dados observados podem ter relação com a condição hídrica de cultivo das plantas. Alguns estudos também sugerem uma adaptação fisiológica da cultivar, intensificando processos de resfriamento da planta a fim de manter sua capacidade fotossintética (PIVETA, *et al.*, 2021).

A condutância estomática e a taxa transpiratória foram significativamente superiores nas plantas submetidas a condição de temperatura elevada para as avaliações realizadas após 01 e 14 dias (Tabela 2). Isso pode estar relacionado a uma resposta estomática adaptativa das plantas ao aumento de temperatura, a fim de dissipar calor, já que seu aumento favorece a transpiração e resfriamento foliar (JAGADISH *et al.*, 2015).

O déficit de pressão de vapor não diferiu significativamente entre os tratamentos (Tabela 2), o que pode estar relacionado a disponibilidade hídrica, uma vez que as plantas foram cultivadas em sistema de inundação do solo (GROSSIORD *et al.*, 2020).

A temperatura foliar diferiu significativamente nos dias 01 e 07 (Tabela 2), sendo superiores nas plantas estressadas, apesar da condutância estomática e a transpiração terem sido superiores (01 dia) ou iguais (07 dias) às plantas testemunha. Este comportamento sugere

que a temperatura foliar é influenciada por outros fatores, como maior acúmulo de radiação solar e térmica no ambiente, comprometendo o resfriamento foliar, apesar da condutância estomática e transpiração estarem ativas (JIANG *et al.*, 2022). Em contrapartida, a temperatura foliar obtida no último período de avaliação foi igual para plantas estressadas e testemunhas, demonstrando efetividade no resfriamento das plantas, ainda, este resultado pode ter relação com uma resposta adaptativa da planta, possibilitando a aclimação térmica (RASHID *et al.*, 2020).

Tabela 2. Condutância estomática (Gs), taxa transpiratória (E), déficit de pressão de vapor (DPV) e temperatura foliar (Tleaf) de plantas de arroz (cv. IRGA 424 RI) em resposta a altas temperaturas.

Período (dias)	Tratamentos	Gs (mol m ⁻² s ⁻¹)	E (mmol m ⁻² s ⁻¹)	DPV (kpa)	Tleaf (°C)
01	Testemunha	0,190 B*	109,7 B	15,3 A	28 B
	Est. Térmico	0,461 A	151,8 A	15,7 A	30 A
	CV (%)	19,52	13,55	11,48	3,08
07	Testemunha	0,325 A	117,3 A	12,4 A	23 B
	Est. Térmico	0,433 A	148,5 A	11,8 A	26 A
	CV (%)	24,43	17,77	9,47	2,36
14	Testemunha	0,285 B	119,0 B	30,7 A	29 A
	Est. Térmico	0,513 A	229,7 A	29,9 A	29 A
	CV (%)	19,10	23,83	4,56	2,46

*Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna, para cada período avaliado, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey (5%).

A avaliação da fluorescência da clorofila demonstrou influência direta da temperatura elevada sobre estes parâmetros fotossintéticos. Nas análises realizadas nos dias 01 e 14 (Tabela 3) a fluorescência máxima e a eficiência quântica efetiva do fotossistema II foram significativamente superiores nas plantas expostas as altas temperaturas, quando comparadas às plantas em condição ambiente, indicando ativação de mecanismos fotoprotetores. Alguns estudos sugerem que plantas em condições de estresse térmico ativam vias compensatórias a fim de manter o funcionamento do fotossistema II e evitar danos mais severos (SUAREZ-SALAZAR, 2024; SARAIVA, 2017).

Tabela 3. Fluorescência inicial (Fs'), Fluorescência máxima (Fm'), eficiência quântica efetiva do fotossistema II (PhiPSII) e taxa de transferência de elétrons (ETR) de plantas de arroz (cv. IRGA 424 RI em resposta a altas temperaturas.

Período (dias)	Tratamentos	Fs'	Fm'	PhiPSII	ETR (μmol m ⁻² s ⁻¹)
01	Testemunha	132,3 A*	287,8 B	0,412 B	290,3 A
	Est. Térmico	138,1 A	359,9 A	0,636 A	205,1 B
	CV (%)	18,02	13,24	19,52	14,50
07	Testemunha	215,0 A	479,2 A	0,385 B	229,0 A
	Est. Térmico	208,9 A	479,8 A	0,570 A	98,2 B
	CV (%)	27,59	10,82	34,18	20,11
14	Testemunha	280,5 A	362,9 B	0,329 B	376,6 A
	Est. Térmico	230,9 A	398,5 A	0,433 A	292,2 B
	CV (%)	23,78	12,96	28,85	18,18

*Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna, para cada período avaliado, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey (5%).

Já a taxa de transferência de elétrons sofreu redução significativa nas plantas sob altas temperaturas, com relação às plantas testemunha, em ambos os períodos avaliados. Esta redução pode estar relacionada a alterações sofridas pelo fotossistema II como meio de proteção, segundo Silva *et al.*, (2006), mecanismos compensatórios ativados pelas plantas em condições estressantes, impactam na cadeia transportadora de elétrons.

Conclusões

Os resultados obtidos através do estudo demonstram influência de temperaturas elevadas sobre parâmetros fisiológicos em plantas de arroz da cultivar IRGA 424 RI. Embora tenha-se visto redução na taxa de transferência de elétrons, a otimização da eficiência quântica efetiva do fotossistema II, associada a índices de clorofila estáveis e aumento na condutância estomática e taxa transpiratória, sugerem a ativação de mecanismos adaptativos, conferindo maior adaptabilidade parcial das plantas à condição de estresse.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e ao Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal – UFPel (PPGFV).

Referências

- ARYAN S, GULAB G, HABIBI N, KAKAR K, SADAT MI, ZAHID T, RASHID RA. Phenological and physiological responses of hybrid rice under different high-temperature at seedling stage. *Bull Natl Res Centre*. 2022.
- ASHRAF, M., & HARRIS, P. J. C. (2013). Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica*, 51(2), 163–190.
- BITA, C. E., & GERATS, T. (2013). Plant tolerance to high temperature in a changing environment: scientific fundamentals and production of heat stress-tolerant crops. *Frontiers in Plant Science*, 4, 273.
- COUNCE, P.A. et al. A uniform, objective, and adaptive system for expressing rice development. *Crop Science*, v.40, n.2, p.436-443, 2000.
- GROSSIORD, C., et al. (2020). *Plant responses to rising vapor pressure deficit*. *New Phytologist*, 226(6), 1550–1566.
- JAGADISH, S.V.K., et al. (2015). *Heat stress during flowering in cereals – Effects and adaptation strategies*. In: *Advances in Agronomy*, Vol. 135, pp. 1–59.
- JIANG, M., GUO, K., WANG, J., WU, Y., SHEN, X., & HUANG, L. (2023). Current status and prospects of rice canopy temperature research. *Food and Energy Security*, 12, e424.
- PIVETA, LB; ROMA-BURGOS, N.; NOLDIN, JA; VIANA, VE; OLIVEIRA, CD; LAMEGO, FP; AVILA, LAd. Respostas moleculares e fisiológicas do arroz e do arroz daninho ao estresse por calor e seca. *Agricultura* 2021, 11, 9.
- RASHID FAA, CRISP PA, ZHANG Y, et al. Respostas moleculares e fisiológicas durante a aclimação térmica da fotossíntese e respiração foliar em arroz. *Plant Cell Environ*. 2020; 43: 594-610.
- SARAIVA, Kátia Daniella Da Cruz. Respostas moleculares e fisiológicas envolvidas com tolerância a estresses isolados e combinados de salinidade e temperatura elevada em dois genótipos de *Sorghum bicolor* (L.) Moench. 2017. 380 f. Tese (Doutorado em Bioquímica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.
- SILVA, M. M. P. da; VASQUEZ, H. M.; BRESSAN-SMITH, R.; SILVA, J. F. C.da; ERBESDOBLERS, E. D; ANDRADE JUNIOR, P. S. C. de. Eficiência fotoquímica de gramíneas forrageiras tropicais submetidas à deficiência hídrica. *R. Bras. Zootec.*, v. 35, n. 1, p. 67-74, 2006.
- SOSBAI – Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. Recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil: arroz irrigado – safra 2022/2023. Pelotas: SOSBAI, 2022. 332 p.
- SUÁREZ-SALAZAR, J.C.; GUACA-CRUZ, L.; QUICENO-MAYO, E.J.; ORTIZ-MOREA, F.A. Photosynthetic responses and protective mechanisms under prolonged drought stress in cocoa. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.59, e03543, 2024.
- Statistix (2009) Statistix 9: Software analítico Tallahassee, FL.
- YANG, CY., ZHANG, YC. e HOU, YL. Assessing water status in rice plants in water-deficient environments using thermal Imaging. *Bot Stud* 66,6 (2025).
- WAHID, A.; GELANI, S.; ASHRAF, M.; FOOLAD, M.R. Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and Experimental Botany*, v.61, p.199-223. 2007.
- WARAICH, EA, HUSSAIN, A., AHMAD, Z., AHMAD, M., & BARUTÇULAR, C. (2021). A aplicação foliar de enxofre melhorou o crescimento, o rendimento e os atributos fisiológicos da canola (*brassica napus* L.) sob condições de estresse por calor. *Journal of Plant Nutrition*, 45 (3), 369–379.