

EFICIÊNCIA FOTOSSINTÉTICA DE PLANTAS DE ARROZ (*Oryza sativa*) SUBMETIDAS AO ESTRESSE HÍDRICO SOB CONDIÇÕES CONTROLADAS

PHOTOSYNTHETIC EFFICIENCY OF RICE PLANTS (*Oryza sativa*) UNDER TO WATER STRESS ON CONTROLLED CONDITIONS

Barroso Neto, J; Amorim, TL; Hermínio, PJ; Patriota, MA; Ferreira-Silva, SL
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Pós-Graduação em Produção Vegetal CEP 56.909-535, Serra Talhada/PE. Brasil. barroso.neto@hotmail.com; tiallaamorim@hotmail.com; pedro.herminio@ufrpe.br; maiapatriota@gmail.com; sergio.luiz@ufrpe.br

Resumo A escassez hídrica é um dos fatores abióticos mais preocupantes para o futuro da agricultura no mundo. Ao sofrerem estresse pela seca, as espécies apresentam diferentes estratégias e mecanismos adaptativos que influenciam principalmente o desempenho fotossintético, que é determinante para o seu desenvolvimento. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência fotossintética de plantas de arroz submetidas ao estresse hídrico sob condições controladas. Para isso, plantas de arroz cv. São Francisco foram cultivadas em câmara climática, com umidade relativa do ar e temperatura controlados (70% UR e 28 °C dia, 80% UR e 26 °C noite), submetidas a dois níveis de umidade do substrato (controle e seca). Curvas dos parâmetros fotoquímicos e de trocas gasosas em resposta ao aumento da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) e de assimilação líquida de CO₂ à pressão parcial do CO₂ intercelular foram realizadas após 20 dias de aplicação dos tratamentos. A partir destas curvas foram estimados os parâmetros associados a eficiência fotossintética. A assimilação líquida de carbono foi menor nas plantas submetidas ao estresse se comparadas aos controles, e um comportamento semelhante foi encontrado para os parâmetros fotoquímicos e de eficiência. Portanto, em condições de seca, o arroz perde em grande parte sua capacidade de assimilação de carbono, o que certamente comprometerá a sua produção.

Palavras-chave: Estresse abiótico; fotossíntese; *Oryza sativa*;

Introdução: O déficit hídrico é um importante fator abiótico que pode restringir o crescimento, sobrevivência e produtividade das culturas (TODAKA et al., 2017). Ao tentarem adaptar-se ao estresse, as plantas podem apresentar mudanças metabólicas, morfológicas e fisiológicas (FANG; XIONG, 2015), lançando-se mão de estratégias, como o fechamento estomático, que reduz a perda de água por transpiração. Em contrapartida, esse mecanismo afeta inevitavelmente a fotossíntese ao reduzir o influxo de CO₂ para os sítios de carboxilação (PINHEIRO; CHAVES, 2011). A limitação da assimilação líquida de carbono também pode promover um desequilíbrio entre a transferência e o consumo de elétrons pelas etapas fotoquímicas (JE et al., 2017), e subsequentes danos ao maquinário fotossintético. Isso acontece através da fotoinibição dos centros de reação do fotossistema II (PSII), impondo uma outra limitação estrutural, além da estomática (SOUZA et al., 2004). Além disso, em condições de campo, as plantas podem ser expostas à estresses simultâneos, que podem causar uma variedade de respostas, quer sejam aditivas, sinérgicas ou antagônicas (ALEXIEVA et al., 2001). Por isso, torna-se necessário que se investigue os reais danos causados exclusivamente pela seca, e o quanto se é perdido em termos de eficiência quântica e fotossintética. Para isso, nosso trabalho avaliou a eficiência fotossintética de plantas de arroz submetidas a estresse hídrico sob condições controladas. A execução deste estudo é importante devido ao pouco conhecimento que se tem sobre o comportamento do arroz sob





III SINPROV condições de estresse hídrico, visto que a cultura demanda grandes quantidades de água para o seu cultivo.

Metodologia: Sementes de arroz (*Oryza sativa*), cv. São Francisco foram desinfetadas com hipoclorito de sódio 5% (v/v) durante 5 minutos e lavadas com água destilada para remoção do excesso de hipoclorito. A germinação foi realizada em vasos plásticos de 3 litros contendo areia e vermiculita na proporção de 1/1 (v/v) irrigados com água destilada, em câmara climática (Fitotron - SCG 120) com condições controladas, umidade relativa 70% dia e 80% noite, temperatura 28 °C dia e 26 °C noite, fotoperíodo de 12 h escuro/12 h luz, luminosidade em torno de 400 μmol de fótons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Após a germinação (cerca de cinco dias), as plantas (duas/vaso) foram irrigadas diariamente com solução nutritiva (HOAGLAND; ARNON, 1950) até os primeiros 30 dias, em regime próximo da saturação. Para a aplicação dos tratamentos, a umidade do substrato das plantas bem irrigadas (controle) foi mantida próximo da saturação por reposição diária com solução nutritiva, enquanto para o tratamento de déficit hídrico (seca) a umidade do substrato foi mantida pela reposição de apenas 30% do volume utilizado nas plantas bem irrigadas. As curvas de fotossíntese líquida (A) e condutância estomática (g_s) em resposta ao aumento da pressão intercelular de CO_2 (A/CO_2) e ao incremento da luminosidade, densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) (A/DFFF), foram realizadas em folhas totalmente expandidas, sempre pela manhã, 20 dias após a aplicação dos tratamentos, utilizando o analisador de gás infravermelho GFS-3000 (Heinz Walz, Germany), com fonte de luz variando de 0 a 2000 μmol de fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, pressão parcial de CO_2 de 0 a 2000 $\mu\text{mol} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, e temperatura de 28 °C. Nas curvas A/DFFF foi mantido a pressão parcial de CO_2 a 390 $\mu\text{mol} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, e nas curvas A/CO_2 o DFFF foi fixado em 1.000 $\mu\text{mol} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A partir disso foram estimados a respiração no escuro (R_{dark}), rendimento quântico aparente (ϕ), ponto de compensação de luz (LCP), taxa máxima absorção de CO_2 (A_{max}), taxa máxima de carboxilação da Rubisco (V_{cmax}), taxa máxima de transporte de elétrons fotossintéticos (J_{max}), e condutância mesofílica (g_m) (MARSHALL; BISCOE, 1980; SHARKEY et al., 2007). Utilizando um fluorômetro portátil de luz modulada MINI-PAM II (Heinz Walz, Germany), foram medidos através do método do pulso de saturação a fluorescência inicial (F_0), a fluorescência máxima (F_m), e estimados o rendimento quântico máximo do PSII (F_v/F_m), a taxa relativa de transporte de elétrons (ETR), o quenching fotoquímico (qP) e o quenching não-fotoquímico (NPQ), bem como a eficiência quântica atual do PSII ($\Delta F/F_m'$). Com o auxílio de pinças metálicas colocadas na região mediana, na parte adaxial, evitando-se a nervura central, as folhas foram submetidas a 50 minutos na obscuridade para que todos os centros de reação permanecessem "abertos". As leituras para obtenção das variáveis ocorreram com pulsos de luz saturante de 0,7 s, para promover o fechamento dos centros de reação do PSII, sendo as variáveis ETR, qP, NPQ e $\Delta F/F_m'$ determinadas em uma curva de resposta à luz, com densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) de 0 a 1580 $\mu\text{mol} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, por um período de cerca de seis minutos. Cada parcela experimental foi representada por um vaso contendo duas plantas e os tratamentos tiveram três repetições. Os dados dos parâmetros fotossintéticos foram submetidos ao teste F a 0,05 de probabilidade e as médias comparadas pelo teste de Tukey em mesmo nível significância com auxílio do programa R (R Development Core Team - 2010).





III SINPROV
SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS EM
PRODUÇÃO VEGETAL NO SUDOESTE

contato@sinprovs.com.br
WWW.SINPROVS.COM.BR
(83) 3322-3222

Resultados e Discussão: A fotossíntese líquida em resposta a crescente luminosidade e pressão parcial de CO_2 foi evidentemente maior nas plantas bem irrigadas em comparação às plantas que foram submetidas ao estresse hídrico (Figura 1). Houve uma estabilização da assimilação líquida de CO_2 das plantas estressadas em torno de $800 \mu\text{mol} \text{ fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, enquanto as plantas do controle ainda respondiam proporcionalmente à densidade de fluxo de fótons fotossintéticos acima de $1800 \mu\text{mol} \text{ fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. O rendimento quântico aparente das plantas com déficit hídrico foi menor do que as bem irrigadas, indicando que a planta estressada necessita de mais luz para produzir uma quantidade equimolar de CO_2 , em comparação com o controle (Tabela 1), embora não tenha sido constatado diferença estatística significativa. As plantas bem irrigadas apresentaram um rendimento cerca de 65% maior que as tratadas com seca, equivalendo a uma diferença de $0,017 \text{ mol de } \text{CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ fótons}$. Isso ficou evidente também ao observar o ponto de compensação de luz, em que as plantas que sofreram o déficit hídrico apresentaram maior valor que as bem irrigadas. Quando expostos a quantidades crescentes de luminosidade, as plantas estressadas apresentaram, em média, taxa máxima de assimilação de CO_2 de $13,76 \mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, enquanto as plantas do controle apresentaram valor superior a $30 \mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, cerca de 2,3 vezes maior. Da mesma forma, a condutância estomática foi inferior quando as plantas estão expostas à seca. Esse comportamento comprova as evidências de que sob condições limitantes de água o atraso na resposta fotossintética está relacionado à limitação estomática durante as transições de luz provocada pela menor condutância estomática nas condições iniciais sob baixa luminosidade, fornecendo quantidades insuficientes de CO_2 necessário para o ciclo do carbono (SLATTERY et al., 2018).

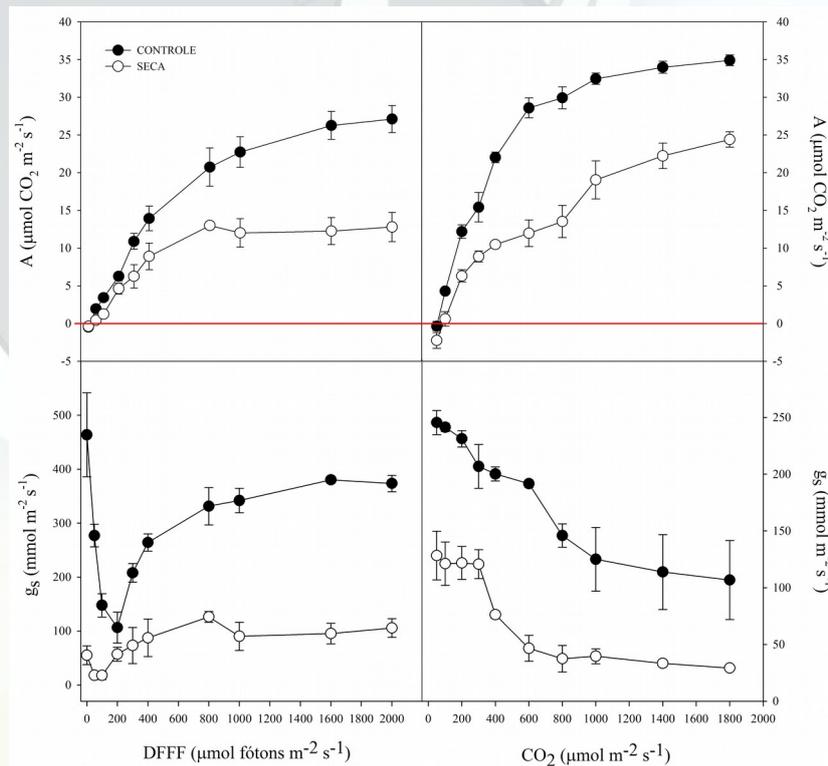


Figura 1. Curvas das taxas de assimilação líquida de CO_2 (A) e condutância estomática (g_s) em resposta ao aumento da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) e à pressão parcial do CO_2 intercelular nas plantas de arroz submetidas a estresse hídrico ou não sob condições controladas. Para a curva A/DFFF, a pressão parcial de CO_2 foi mantido em $390 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, e na curva A/ CO_2 foi fixado $1000 \mu\text{mol} \text{ fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ de DFFF.

A taxa máxima de carboxilação da Rubisco ($V_{\text{cmáx}}$), calculada a partir das curvas A/ CO_2 , foi 56,24% menor nas plantas de seca em comparação às de controle, e uma tendência





III SINPROVS
SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS EM
PRODUÇÃO VEGETAL NO SUDOESTE

contato@sinprovs.com.br
WWW.SINPROVS.COM.BR
(83) 3322-3222

semelhante foi encontrada para a taxa máxima de transporte de elétrons fotossintéticos (J_{max}), que foi aproximadamente 36,44% menor (Tabela 1). Em adição, a condutância mesofílica (g_m) foi 31,3% menor nas plantas estressadas que nas bem irrigadas. Portanto, a limitação fotossintética está intimamente associada a menor condutância estomática e ao caráter mesofílico das plantas sob estresse (STALEV et al., 2014), como demonstrado. Os tratamentos também diferiram no comportamento dos parâmetros fotoquímicos (Figura 2), com a seca obtendo valores inferiores para o qP , ETR, e $\Delta F/F_m'$, e superiores para o NPQ. Isso demonstra que as plantas estressadas apresentam um sistema menos eficiente de absorção luminosa e maior dissipação na forma de calor sob crescente densidade de luz, utilizando essa estratégia para evitar possíveis danos ao maquinário fotossintético pelo excesso de luz. Já a taxa de transporte de elétrons (ETR) foi estabilizada para as plantas testemunhas com cerca de $400 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, enquanto nas plantas que foram submetidas a seca essa estabilização ocorreu antes mesmo dos $200 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, sendo a ETR reduzida à metade.

Tabela 1. Parâmetros associados à eficiência fotossintética calculados a partir dos ajustes nas curvas $A/DFFF$ e A/CO_2 em plantas de arroz submetidas ao estresse hídrico ou não cultivadas em condições controladas. Médias e desvios seguidos de diferentes letras na coluna mostram diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Tukey a 5%.

	R_{dark} $\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{s}^{-1}$	ϕ $\text{mol (CO}_2\text{) mol}^{-1}$ (f\u00f3tons)	LCP $\mu\text{mol (f\u00f3tons) m}^{-2} \text{s}^{-1}$	A_{max} $\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{s}^{-1}$	V_{cmax} $\mu\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{s}^{-1}$	J_{max} $\mu\text{mol e}^- \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$	g_m $\text{mol (CO}_2\text{) m}^{-2} \text{s}^{-1}$
CONTROLE	$0,601 \pm 0,67$ a	$0,043 \pm 0,008$ a	$20,81 \pm 0,84$ b	$31,45 \pm 1,70$ a	$98,16 \pm 10,94$ a	$109,80 \pm 1,98$ a	$0,083 \pm 0,009$ a
SECA	$1,011 \pm 0,92$ a	$0,026 \pm 0,007$ a	$46,79 \pm 15,44$ a	$13,76 \pm 2,35$ b	$67,54 \pm 1,73$ b	$69,78 \pm 5,00$ b	$0,057 \pm 0,001$ b

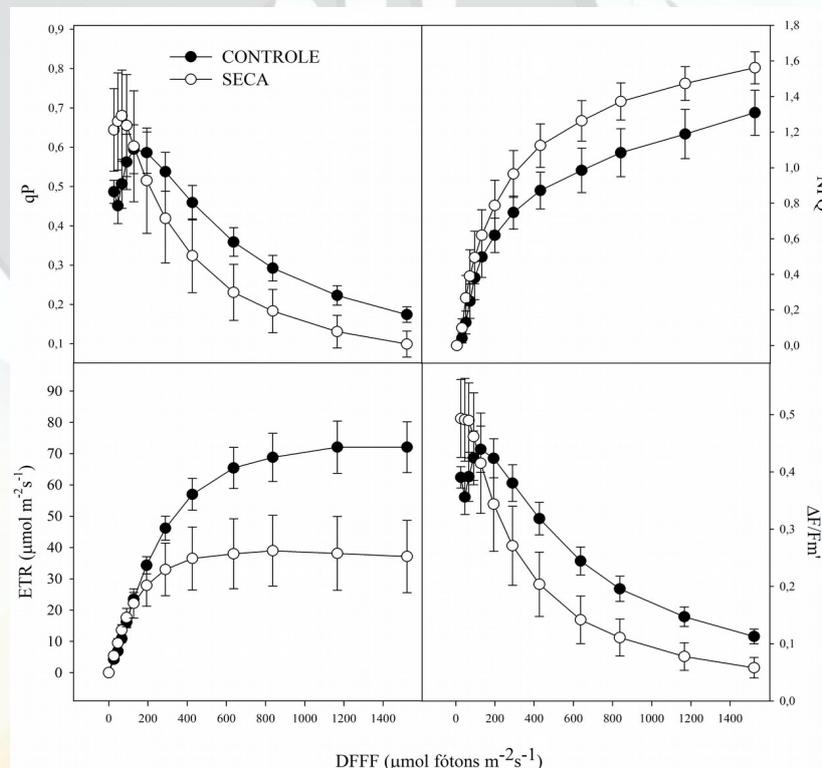


Figura 2. Curvas dos parâmetros fotoquímicos em resposta ao aumento da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) nas plantas de arroz submetidas ao estresse hídrico ou não sob condições controladas. O desvio padrão é mostrado quando superior ao símbolo.





III SINPROV
SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTRESSE HÍDRICO EM
PRODUÇÃO VEGETAL NO SERTÃO

contato@sinprovs.com.br
WWW.SINPROVS.COM.BR
(83) 3322-3222

Conclusão: Sob condições de estresse hídrico, o arroz apresenta limitações fotossintéticas diretamente relacionadas à diminuição da condutância estomática, bem como uma ineficiência quântica e/ou fotoquímica por limitações de atividade dos aparatos de absorção luminosa (funcionamento do PSII), com diminuição do rendimento em quase 40%.

Agradecimentos: à UFRPE, ao CNPq, à FACEPE, ao Prof. Josimar Bento Simplício (UFRPE) e ao Dr. José Nildo Tabosa (Instituto Agrônomo do Pernambuco) pelo fornecimento das sementes.

Referências

ALEXIEVA, V.; SERGIEV, I.; MAPELLI, S.; KARANOV, E. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. **Plant, Cell and Environment**, v. 24, n. 12, p. 1337–1344, 1 dez. 2001.

FANG, Y.; XIONG, L. General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v. 72, n. 4, p. 673–689, 22 fev. 2015.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. **The water-culture method for growing plants without soil**. v. 347, p. 1-32, 1950.

JE, S.-M.; WOO, S. Y.; LEE, S. H.; KWAK, M. J.; LEE, T. Y.; KIM, S. H. Combined effect of elevated CO₂ concentration and drought on the photosynthetic apparatus and leaf morphology traits in seedlings of yellow poplar. **Ecological Research**, p. 1–10, 29 ago. 2017.

MARSHALL, B.; BISCOE, P. V. A model for c₃ leaves describing the dependence of net photosynthesis on irradiance: II. Application to the analysis of flag leaf photosynthesis. **Journal of Experimental Botany**, v. 31, n. 1, p. 41–48, 1980.

PINHEIRO, C.; CHAVES, M. M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 3, p. 869–882, 1 jan. 2011.

SHARKEY, T. D.; BERNACCHI, C. J.; FARQUHAR, G. D.; SINGSAAS, E. L. Fitting photosynthetic carbon dioxide response curves for C₃ leaves. **Plant, Cell and Environment**, v. 30, n. 9, p. 1035–1040, 1 set. 2007.

SLATTERY, R. A.; WALKER, B. J.; WEBER, A. P. M.; ORT, D. R. The Impacts of Fluctuating Light on Crop Performance. **Plant physiology**, v. 176, n. 2, p. 990–1003, 1 fev. 2018.

SOUZA, R. P.; MACHADO, E. C.; SILVA, J. A. B.; LAGÔA, A. M. M. A.; SILVEIRA, J. A. G. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. **Environmental and Experimental Botany**, v. 51, n. 1, p. 45–56, 1 fev. 2004.

STALEV, B.; ANGELOV, L.; BEROVA, M.; IVANOV, V. Influence to the maintenance of the soil surface to the leaf gas exchange and vine production (*Vitis Vinifera*). **Bulgarian Journal of Agricultural Science Agricultural Academy**, v. 20, n. 2, p. 371–375, 2014.

TODAKA, D.; ZHAO, Y.; YOSHIDA, T.; KUDO, M.; KIDOKORO, S.; MIZOI, J.; KODAIRA, K.-S.; TAKEBAYASHI, Y.; KOJIMA, M.; SAKAKIBARA, H.; TOYOOKA, K.; SATO, M.; FERNIE, A. R.; SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. Temporal and spatial changes in gene expression, metabolite accumulation and phytohormone content in rice seedlings grown under drought stress conditions. **The Plant Journal**, v. 90, n. 1, p. 61–78, 1 abr. 2017.

