



DISTÚRBIOS DA ATIVIDADE FOTOQUÍMICA EM PLANTAS DE ARROZ (*Oryza sativa*) SUBMETIDAS AO ESTRESSE HÍDRICO

DISTURBANCES OF PHOTOCHEMICAL ACTIVITY IN RICE PLANTS UNDER WATER STRESS

Patriota, M.A; Baroso Neto, J; Amorim, T.L; Hermínio, P.J; Ferreira-Silva, S.L;

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, CP 063, 56.900-000, Serra Talhada-PE. Brasil. maiapatriota@gmail.com; barroso.neto@hotmail.com; tiallaamorim@hotmail.com; pedro.herminio@ufrpe.br; sergio.luiz@ufrpe.br

Resumo: O estresse hídrico é um dos fatores mais limitantes de crescimento e produção das diversas culturas, devido a distúrbios metabólicos associados aos mecanismos de aclimação das plantas sob condições adversas. O objetivo do presente estudo foi caracterizar danos fotossintéticos associados a restrição de crescimento de duas variedades de arroz submetidas ao estresse hídrico. Sementes de arroz das variedades São Francisco e BRS Sertaneja foram germinadas em vermiculita de textura média em vasos de 4 L com a umidade do substrato mantida próxima da saturação por irrigações diárias com água destilada. Após a germinação, as plantas foram irrigadas com solução nutritiva por 30 dias. Em seguida uma parte das plantas foi mantida sob irrigação diária (controle) e a outra submetida ao déficit hídrico pela aplicação de apenas 30% do volume de solução aplicado nas plantas controle durante 18 dias. Após 18 dias foram realizadas as medidas de fluorescência da clorofila e curva de assimilação de CO₂ em resposta a luz, dano de membrana, conteúdo relativo de água na folha, pesagem da massa seca e conteúdo de clorofila na folha. A variedade São Francisco se mostrou mais resistente a seca do que a variedade Sertaneja, conforme dados de dano de membrana e conteúdo de água na folha, além de mostrar uma maior eficiência no processo de aclimação como mostrado pelos dados de crescimento e dados fotoquímicos. Conclui-se que a variedade São Francisco é menos adaptada e porem, possui uma maior eficiência do uso dos recursos mesmo sob condições de escassez hídrica.

Palavras-chave: seca; fotossíntese; *Oryza sativa*;

Introdução: As condições impostas pelos estresses abióticos causam diariamente diversas perdas de produção. Para que sobrevivam em ambientes hostis, as plantas buscam formas de adaptação, que por sua vez podem reduzir, segundo Tardieu (2013), suas capacidades máximas de expressão genotípica no ambiente. Além de limitar o crescimento quando as culturas são submetidas ao estresse hídrico, seus efeitos podem causar diversos distúrbios. Entretanto as plantas conseguem desenvolver vários mecanismos para melhorar a eficiência de consumo dos recursos e ajustar seu crescimento nessas condições (OSAKABE, 2014). Um exemplo de mecanismo adaptativo é o fechamento estomático, a fim de evitar perdas de água para a atmosfera (CHAVE et al, 2009). Essa estratégia, no entanto, afeta diretamente as taxas fotossintéticas (CRISTINA et al, 2018), por limitar a disponibilidade de CO₂ no meio intracelular. Além disso, outros processos também podem ser limitados com a diminuição da disponibilidade de água, como por exemplo, a redução do conteúdo de clorofila na folha (VIANA et al, 2002). Um baixo teor de clorofila nas folhas acaba limitando a quantidade de elétrons transportados, uma vez que a luz que chega até os centros de reação das clorofilas excitará menos elétrons provenientes da oxidação da água, o que causa uma diminuição na eficiência quântica, ocasionada pela limitação de pigmentos fotossintéticos em funcionamento (FAHAD et al, 2017). O objetivo do presente estudo foi observar e comparar as respostas de



duas variedades de arroz submetidas ao estresse hídrico com base em marcadores morfológicos e fotoquímicos essenciais aos processos de aclimação e crescimento.

Metodologia: O experimento foi conduzido em casa de vegetação durante todo o processo, localizada na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada (07°59'31''S, 38°17'54''W), estado de Pernambuco, Brasil. Duas variedades de arroz (*Oryza sativa*), São Francisco e BRS Sertaneja, foram submetidas à condição de estresse hídrico. As sementes foram desinfetadas com hipoclorito de sódio a 5% por cinco minutos e foram semeadas em vasos de 4L contendo areia e vermiculita em proporção 1:1 (v/v). Após germinadas iniciou-se a aplicação de solução nutritiva diariamente segundo as recomendações de Hogland e Arnon (1950). O desbaste foi realizado 10 dias após a germinação, mantendo duas plantas por vaso, as quais foram irrigadas até a umidade do substrato ficar próximo da saturação. Aos 40 dias, após a germinação, as plantas foram submetidas a dois tratamentos hídricos, sendo a umidade do substrato do controle de cada variedade mantido próxima da saturação e o tratamento de seca com 30% do volume aplicado nas plantas do controle. Após 18 dias de aplicação dos tratamentos, foram realizadas as análises de fluorescência da clorofila utilizando o MINI-PAM (Heinz Walz, Germany), através do método do pulso de saturação, determinando a fluorescência inicial (F_0), a fluorescência máxima (F_m), e estimando 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 ($\Delta F/F_m'$), 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 $1580 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, por um período de cerca de seis minutos. Curvas de assimilação líquida de CO_2 (A) em resposta à crescentes radiação fotossinteticamente ativa (PAR) foram realizadas com o analisador de gás infravermelho GFS-3000 (Heinz Walz, Germany) com fonte de luz variando de 0 a $2000 \mu\text{mol de fótons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, temperatura de $28 \text{ }^\circ\text{C}$, pressão parcial de CO_2 a $390 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A partir destas curvas foram estimados os parâmetros de respiração no escuro (R_{dark}), rendimento quântico aparente (ϕ), ponto de compensação de luz (LCP) e fotossíntese máxima (A_{max}). No mesmo dia, foi realizada a coleta destrutiva das plantas para análises de danos de membrana (DM), que foi determinado com base no vazamento de eletrólitos. Amostras de 100 mg de massa fresca de cada tratamento foram imersas em 10 ml de água deionizada em tubos fechados e incubados a $40 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 30 min, sendo determinada a condutividade elétrica da solução (C_1). Em seguida, os tubos foram incubados a 100°C por uma hora e após atingir a temperatura ambiente foi determinada a condutividade elétrica da solução (C_2). O dano de membrana (DM) foi estimado pela relação: $\text{DM} = (C_1/C_2) \times 100$. O conteúdo relativo de água (CRA) foi determinado conforme Fidalgo et al. (2004), na qual coletou-se amostras de 100 mg de massa fresca (MF), sendo pesado imediatamente. Em seguida, as amostras foram imersas em 30 ml de água deionizada por 8 h, em placas de Petri, e após breve secagem dos discos em papel toalha, para remover o excesso de água, foi determinada a massa túrgida (MT). A massa seca (MS) foi determinada após secagem dos discos a $70 \text{ }^\circ\text{C}$, durante 48 h em estufa, e o CRA foi estimado pela seguinte relação: $\text{CRA} = [(MF - MS)/(MT - MS)] \times 100$. Para a determinação da massa seca (MS) das plantas, as amostras foram separadas em folhas, raízes e colmos, e submetidas à secagem em estufa a $100 \text{ }^\circ\text{C}$ por 48h, pesadas em seguidas. As medidas de clorofilas foram realizadas por leituras pontuais em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 645, 652 e 663 nm. Os pigmentos foram extraídos por maceração com acetona a 80% e as concentrações foram estimadas substituindo as leituras nas seguintes relações: clorofila a = $[(12,7 \times A_{663} - 2,69 \times A_{645}) / (1000 \times W)] \times V$, clorofila b = $[(22,9 \times A_{645} - 4,68 \times A_{663}) / (1000 \times W)] \times V$ e clorofilas totais = $[(A_{652} \times 1000) / (34,5)] \times (V/1000 \times W)$, sendo A a absorvância, V o volume final e W o peso em gramas do tecido vegetal.





Resultados e Discussão: A eficiência quântica atual do PSII, na variedade São Francisco sob condição de estresse, sofre uma redução de 50% em relação a condição de controle, e uma pequena redução também ocorre na variedade BRS Sertaneja, no entanto, a eficiência sob condições de controle desta variedade já é relativamente baixa, e menor que a São Francisco, o que mostra uma melhor adaptação ao estresse da BRS Sertaneja (Figura 1A). O mesmo comportamento foi observado para o quenching fotoquímico (Figura 1B). Já para o parâmetro de dissipação de luz na forma de calor (Figura 1C) é observado um aumento em ambas as cultivares sob estresse, sendo destaque a BRS Sertaneja com os maiores valores, até mesmo em condições de controle. Na figura 1D, observa-se que a taxa de transporte de elétrons da variedade São Francisco sob seca sofre uma redução pela metade quando comparada à condição de bem irrigada, e já a variedade BRS Sertaneja, embora sob condições de controle ter essa taxa menor, a seca quase não a afetou, sugerindo que a variedade São Francisco tem uma maior sensibilidade ao incremento de luz em condições de déficit hídrico para este parâmetro. Na figura 2, observa-se que a fotossíntese em função da luz na variedade São Francisco sofreu uma redução de 33,3% quando submetida ao estresse hídrico, enquanto que na BRS Sertaneja a redução foi de apenas 28%, e isso comprova que sob condições ótimas a variedade São Francisco tem um melhor desempenho e maior assimilação líquida de CO₂, porém sob condições restritivas isso não acontece, o que pode se justificar no fato de que esta é uma variedade adaptada a cultivos em várzea (inundado), e a BRS Sertaneja adaptada a cultivos em terras altas. Ao observar os dados obtidos para dano de membrana e conteúdo relativo de água (Figura 3AB), observa-se que as variedades tiveram um incremento de 20% a 25% do DM ao serem submetidas ao estresse, se comparadas aos controles, e uma redução substancial no conteúdo relativo de água. Ao analisar os dados morfológicos de ambas as variedades, nota-se que a variedade São Francisco sob estresse reduziu sua produção de massa seca da parte aérea em 32,7% em relação ao controle e 42,8% de massa seca da raiz, enquanto a BRS Sertaneja reduziu 42,14% da massa seca de parte aérea e 39,11% de massa seca da raiz, conforme Tabela 1, mostrando que a variedade Sertaneja investe no crescimento de suas raízes ao máximo possível, na busca por recursos, mesmo que isto lhe custe uma maior redução da parte aérea.

Tabela 1. Massa seca de folhas, colmos e raízes e relação parte aérea/raiz em duas variedades de arroz submetidas ao estresse hídrico durante 18 dias em condições de casa de vegetação. Letras minúsculas na coluna mostram diferença significativa a 5% pelo teste de Tukey.

		Massa seca (g vaso ⁻¹)			
Tratamentos		Folha	Colmo	Raiz	Parte aérea/Raiz
São Francisco	Controle	8,62 ± 0,95a	10,64 ± 0,52a	19,97 ± 0,7a	0,96 ± 0,06b
	Seca	5,50 ± 0,26b	7,64 ± 0,9b	8,55 ± 0,2b	1,54 ± 0,1b
BRS Sertaneja	Controle	9,77 ± 0,46a	10,47 ± 0,1a	12,76 ± 0,36a	1,59 ± 0,07a
	Seca	6,43 ± 0,53b	5,28 ± 0,23b	7,77 ± 0,45b	1,51 ± 0,13ab

Na tabela 2, é possível observar uma redução do conteúdo de clorofila na folha das plantas sobre estresse com relação ao controle, o que acaba limitando a quantidade de elétrons transportados dos centros de reação das clorofilas até o PSII, o que pode justificar a diminuição no rendimento quântico (ϕ) e na fotossíntese máxima (A_{max}) de ambas variedades como mostra a Tabela 3.



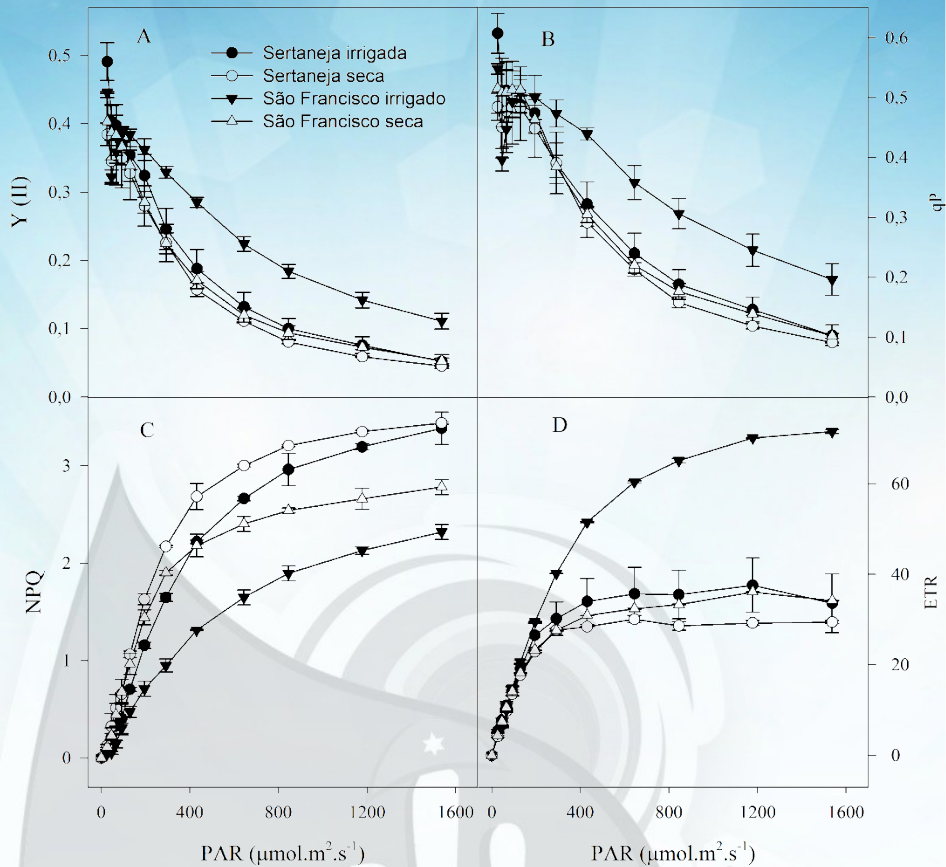


Figura 1. Eficiências quântica atual do PSII (A), quenching fotoquímico (B), quenching não fotoquímico (C) e taxa de transporte de elétrons (D) em função do incremento de luz em folhas de variedades de arroz submetidas ao estresse hídrico durante 18 dias em condições de casa de vegetação.





III SINPROVS
III SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS PRR
PRODUÇÃO VEGETAL NO SEMIÁRIDO

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

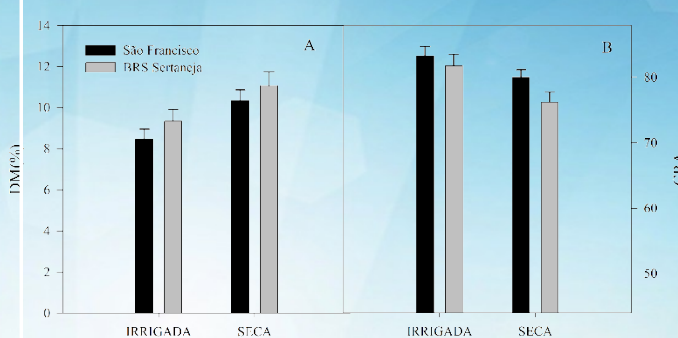
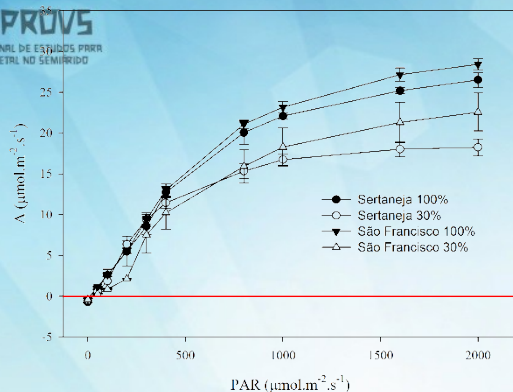


Figura 2. Curva de assimilação líquida de CO₂ (A) em resposta ao incremento de luz (PAR) (A/PAR) em folhas de variedades de arroz submetidas ao estresse hídrico durante 18 dias em condições de casa de vegetação.

Figura 3. Dano de membrana, através do vazamento de eletrólitos (A) e Conteúdo relativo de água na folha (B) de variedades de arroz submetidas ao estresse hídrico durante 18 dias em condições de casa de vegetação.

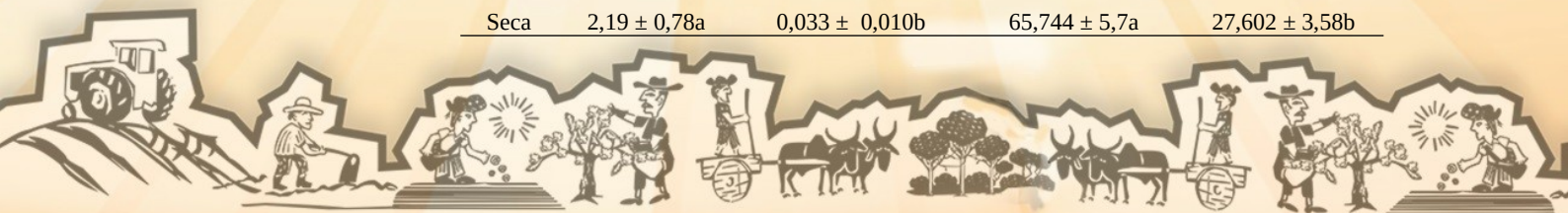
Tabela 2. Conteúdo de clorofilas a, b e totais em folhas de duas variedades de arroz submetidas ao estresse hídrico durante 18 dias em condições de casa de vegetação.

Tratamentos		Clorofilas A	Clorofilas B	Clorofilas Totais	Relação Clorofilas A/B
São Francisco	Controle	4,214 ± 0,053a	1,735 ± 0,02a	5,95 ± 0,06a	2,43 ± 0,04b
	Seca	3,337 ± 0,012b	1,05 ± 0,004b	4,39 ± 0,01b	3,18 ± 0,02a
BRS Sertaneja	Controle	3,818 ± 0,233a	1,712 ± 0,001a	5,53 ± 0,23a	2,23 ± 0,14a
	Seca	2,025 ± 0,061b	1,263 ± 0,12b	3,29 ± 0,18b	1,61 ± 0,12b

Letras minúsculas iguais na coluna não diferem significativamente no teste de Turkey a 0,05 % de probabilidade

Tabela 3. Parâmetros estimados a partir das curvas A/DFFF: respiração no escuro (R_{dark}), rendimento quântico aparente (φ), ponto de compensação de luz (LCP), fotossíntese máxima (A_{max}), em folhas de duas variedades de arroz submetidas ao estresse hídrico durante 18 dias em condições de casa de vegetação.

Tratamentos	R _{dark} µmol (CO ₂) m ⁻² s ⁻¹	φ mol (CO ₂) mol ⁻¹ (fótons)	LCP µmol (fótons) m ⁻² s ⁻¹	A _{max} µmol (CO ₂) m ⁻² s ⁻¹
São Francisco				
Controle	1,12 ± 0,43b	0,039 ± 0,05a	28,325 ± 7,8b	33,03 ± 1,78a
Seca	2,19 ± 0,78a	0,033 ± 0,010b	65,744 ± 5,7a	27,602 ± 3,58b



BRS Sertaneja	Controle	1,146 ± 0,43b	0,038 ± 0,004a	23,208 ± 2,67b	30,55 ± 2,77a
	Seca	2,17 ± 0,42a	0,032 ± 0,002b	40,183 ± 4,97a	22,006 ± 0,74b

Letras minúsculas iguais na coluna não diferem significativamente no teste de Turkey a 0,05 % de probabilidade

Conclusões: A variedade São Francisco (inundado) parece ser menos adaptada a condições de déficit hídrico, embora tenha um desempenho superior sob condições ótimas quando comparada à BRS Sertaneja (sequeiro).

Agradecimentos: à UFRPE, ao CNPq, à FACEPE, ao Prof. Josimar (UFRPE), ao Dr. Tabosa (IPA), e ao Grupo de Pesquisa Agrícola do Semiárido – GPAS.

Referências:

CHAVES, M.M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Ann. Bot.** 103, 551–560. 2009.

LIMA, C.S.; FERREIRA-SILVA, S.L.; CAVALHO, F. E. L.; LIMA NETO, M. C.; ARAGÃO, R.M.; SILVA, E.N.; SOUSA, R.N.J.; SILVEIRA, J.A.G. Antioxidant protection and PSII regulation mitigate photo-oxidative stress induced by drought followed by high light in cashew plants. **Environmental and Experimental Botany** v149, 59–69. 2018.

TARDIEU, F. Plant response to environmental conditions: assessing potential production, water demand, and negative effects of water déficit. **Frontiers in physiology**. volume 4, article 17. 1-11. 2013.

OSAKABE, Y.; OSAKABE, K.; SHINOZAKI, K.; TRAN, L. Response of plants to water stress. **Front. Plant Science**. vol. 5, article 86, 1-8. 2014.

FAHAD, S.; BAJWA, A.A.; NAZIR, U.; ANJUM, S.A.; FAROOQ A.; ZOHAIB, A; et al. Crop Production under Drought and Heat Stress: Plant Responses and Management Options. **Front Plant Science**. v8, 2017.

VIANA, M; CELUTA M.; QUEIROZ, C.G.S.; DURÃES, F.O.M., SOUZA, I.R.P; ALBUQUERQUE, P. E.P.; MACHADO, R.A.F. Alterações em Pigmentos e Danos em Membranas de Milho Submetido ao Déficit Hídrico. XXIV Congresso Nacional de Milho e Sorgo - Florianópolis - SC - 01 a 05 de setembro de 2002.

