

RECUPERAÇÃO DAS TROCAS GASOSAS APÓS A HIPÓXIA RECORRENTE DO SISTEMA RADICULAR DE PLANTAS DE SOJA

GEOVANA RAFAELI KLUG¹ ; DARWIN ALEXIS POMAGUALLI AGUALONGO² ; ANA CLÁUDIA BARNECHE DE OLIVEIRA³ ; LUCIANO DO AMARANTE⁴

1Universidade Federal de Pelotas – geovanarafaelik@gmail.com

2Universidade Federal de Pelotas – pomagualli@yahoo.es

3Embrapa Clima Temperado - ana.barneche@embrapa.br

4Universidade Federal de Pelotas – lucianodoamarante@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

O alagamento ou o encharcamento temporário do solo é um problema global que pode trazer sérios prejuízos para o desenvolvimento agropecuário. Embora, em diversas regiões seja um evento raro, em outras, porém, é um problema crônico, necessitando ser constantemente enfrentado pelos produtores (DIAS-FILHO, 1998).

Nos últimos anos, o cultivo de soja em terras baixas vem sendo excelente opção para estabelecer rotação com o arroz irrigado, pois permite o controle de plantas daninhas resistentes a herbicidas, além de também proporcionar maior rendimento econômico ao orizicultor (SILVA et al., 2002). A soja não tolera o encharcamento prolongado do solo, e esta característica implica na necessidade de se realizar técnicas de manejo específicas, quando for cultivada em terras baixas (EMBRAPA 2009).

A inundação ou o alagamento temporário do solo causa redução imediata na troca de gases entre a planta e o ambiente (ARMSTRONG et al. 1994), restringindo de forma abrupta a disponibilidade de oxigênio às raízes, o que inibe a respiração mitocondrial e limita a produção de ATP (PHUKAN et al. 2016). Em resposta, ocorre a ativação das vias fermentativas para reciclagem do NAD⁺ e continuidade da glicólise, causando acúmulo de lactato e produção de etanol (DA-SILVA & DO AMARANTE, 2020). A acidificação causada pelo acúmulo de lactato, associada à deficiência energética nas raízes, resulta na redução da funcionalidade das aquaporinas, diminuindo a absorção de água pelas raízes e com isso, a diminuição do potencial hídrico foliar (DAT et al., 2004; TAN & ZWIAZEK, 2019). Em resposta, ocorre um decréscimo da condutância estomática (DAVANSO et al., 2002) e redução na taxa fotossintética. A diminuição das taxas de assimilação líquida e a expansão foliar provocam a redução da taxa de crescimento da cultura de soja e, conseqüentemente, proporcionam menor rendimento de grãos (ALMEIDA et al., 2003).

As respostas das plantas ao estresse causada pelo alagamento é dependente do estágio de desenvolvimento, espécie, genótipo, severidade e duração do estresse (FUKAO; BAILEY-SERRES, 2004; WANG et al., 2009) e da habilidade das plantas em recuperar suas funções após o período de estresse hipóxico (HENSHAW et al., 2007). Além disso, as plantas têm a capacidade de reter a informação de um evento de estresse, resultando em uma resposta modificada ao estresse recorrente ou sustentar uma reposta após um “priming”, que pode ser de curta ou longa duração (LÄMKE & BÄURLE, 2017). Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a recuperação de parâmetros de trocas gasosas em plantas de soja submetidas ao estresse por alagamento em um único período (estádio de desenvolvimento reprodutivo R2) e de forma recorrente (nos estádios vegetativo V3 e reprodutivo R2).

2. METODOLOGIA

Este estudo foi realizado com o genótipo de soja PELBR10-6042, sensível ao alagamento, de acordo com o Programa de Melhoramento de Soja da Embrapa (Clima Temperado e Embrapa Soja). O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Terras Baixas da Embrapa, Capão do Leão, RS - Brasil. O experimento foi realizado em caixas de 1 x 1,2 x 1 m (36 plantas por caixa) contendo solo de terras baixas (Planossolo Hidromórfico Eutrófico Típico). A fertilidade do solo foi corrigida com 350 kg ha⁻¹ da formulação comercial NPK 00-25-25 e o pH elevado para 6,0. As sementes foram inoculadas na semeadura com *Bradyrhizobium japonicum* cepa SEMIA 5079 (BIOAGRO) e as plantas foram cultivadas em condições de luz natural e temperatura (18 - 39°C).

As plantas foram submetidas ao alagamento nos estágios de desenvolvimento, V3 e R2 (FEHR et al., 1971) em dois grupos: alagadas no estágio V3 por sete dias e, posteriormente no estágio R2, por cinco dias (V3R2) e alagadas apenas no estágio R2 (R2) por cinco dias. O alagamento foi imposto pela manutenção de uma lâmina de água de 2-3 cm acima do solo. Posteriormente, as caixas foram drenadas e as plantas puderam se recuperar por mais cinco dias. As trocas gasosas das plantas controle e alagadas dos grupos R2 e V3R2 foram avaliadas aos dois e cinco dias após a drenagem do solo, correspondendo aos períodos de dois e cinco dias de recuperação. A umidade do solo foi mantida na capacidade de campo durante todo o período de crescimento. Doenças, plantas invasoras e pragas foram constantemente monitoradas e controladas em cada tratamento.

As trocas gasosas [assimilação líquida de CO₂ (A) e transpiração (E)] foram medidas por meio de um sistema portátil de troca de gás de fluxo aberto (LI6400XT, LI-COR, Lincoln, EUA). As condições da câmara foliar foram definidas para umidade relativa de 50%, intensidade de luz de 1000 μmol m⁻¹ s⁻¹, temperatura de 25°C e CO₂ de 400 ppm. As avaliações foram realizadas no horário compreendido entre 9h30 e 10h30 da manhã na folha mais jovem totalmente expandida.

O experimento foi conduzido em esquema fatorial 3 x 2 (Estresse: controle, alagamento V3R2 e alagamento R2 x tempo: 2 e cinco dias), totalmente casualizado. Os dados foram submetidos à análise de variância e nos casos significativos (para cada fator e interação entre fatores), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey para comparação entre os estresses e teste t para comparação entre períodos, ao nível de 5% de probabilidade. A unidade experimental consistiu de duas plantas/caixa, totalizando cinco repetições por tratamento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As respostas de recuperação das taxas de assimilação líquida de CO₂ (A) nas plantas de soja frente ao alagamento, foram influenciadas apenas pelo fator estresse, não diferindo para os tempos de recuperação (dois e cinco dias). Assim, foi verificado que os dois grupos de plantas R2 e V3R2, não recuperaram as taxas fotossintéticas nos níveis das plantas controle (Tabela 1). No entanto, o grupo de plantas submetidas ao estresse no estágio anterior ao reprodutivo, V3, apresentaram taxas fotossintéticas mais próximas ao controle. Inversamente, as plantas submetidas ao estresse por alagamento apenas no estágio reprodutivo

R2, apresentaram as taxas de *A* cerca de 2,5 vezes inferior às das plantas controle e cerca de metade às mensuradas do grupo V3R2.

Tabela 1. Assimilação líquida de CO₂ (*A*; μmol CO₂ m⁻² s⁻¹) em plantas de soja genótipo PELBR10-6042 após cinco dias de recuperação ao alagamento imposto no estágio reprodutivo R2. As plantas, separadas em dois grupos, foram submetidas a um único ciclo de estresse (apenas no estágio R2; R2) e a dois ciclos de estresse (nos estádios V3 e R2; V3R2).

Estresse	<i>A</i> (Assimilação líquida de CO ₂)
Controle	28,46 A ^{1/}
Alagamento V3/R2	23,04 B
Alagamento R2	11,54 C

^{1/}Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05) comparando o tipo de estresse. n= 5

Em relação às taxas de transpiração (*E*), observou-se uma interação significativa entre os fatores de estresse e tempo. Aos dois dias de recuperação, pode-se observar resultados semelhantes aos da assimilação líquida de CO₂ (*A*) entre os grupos de plantas, onde apesar de valores inferiores ao controle, também houve uma maior recuperação no grupo de plantas que foram submetidas ao estresse nos dois estádios de desenvolvimento V3 e R2, cerca de 1,4 vezes superior ao do grupo R2. Aos cinco dias de recuperação, as taxas de *E* atingiram os níveis do controle, enquanto que no grupo R2, os valores permaneceram inferiores ao grupo V3R2 e controle.

Tabela 2. Transpiração (*E*; mmol m⁻² s⁻¹) em plantas de soja genótipo PELBR10-6042 após dois e cinco dias de recuperação ao alagamento imposto no estágio reprodutivo R2. As plantas, separadas em dois grupos, foram submetidas a um único ciclo de estresse (apenas no estágio R2; R2) e a dois ciclos de estresse (nos estádios V3 e R2; V3R2).

Estresse	Tempo	
	2 dias	5 dias
Controle	5,58 A ^{1/*}	4,49 A
Alagamento V3/R2	4,15 B ^{NS}	4,44 A
Alagamento R2	2,98 C ^{NS}	3,02 B

^{1/} Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05) comparando o tipo de estresse. * e ^{NS} significativo e não significativo, respectivamente, pelo teste t (p≤0,05) comparando os tempos de recuperação para cada tratamento de estresse.

4. CONCLUSÕES

Os resultados sugerem que plantas de soja submetidas a um período de estresse no estágio vegetativo V3 apresentam melhores condições fisiológicas de se recuperarem de um estresse por alagamento no estágio reprodutivo R2 em comparação a plantas submetidas ao estresse somente no estágio reprodutivo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A.M.; VRIEZEN, W.H.; STRAETEN, D. Molecular and Physiological mechanisms of flooding avoidance and tolerance in rice. **Russian Journal of Plant Physiology**, v.50, p.743-751, 2003.
- ARMSTRONG, W.; BRÄNDLE, R.; JACKSON, M.B. Mechanisms of flood tolerance in plants. **Acta Botanica Neerlandica**. v.43, p.307-358, 1994.
- BAILEY-SERRES, J.; FUKAO, T.; GIBBS, D.J.; HOLSWORTH, M.J.; LEE, S.C.; LICAUSI, F.; PERATA, P.; VOESENEK, L.A.C.J.; VAN DONGEN, J.T. Making sense of low oxygen sensing. **Trends in Plant Science**, v. 17, p.129-138, 2012.
- DA-SILVA C.J.; DO AMARANTE, L. Time-course biochemical analyse of soybean plants during waterlogging and reoxygenation. **Environmental and Experimental Botany**, v. 176:104078, 2020.
- DAT, J.F.; CAPELLI, N.; FOLZER, H.; BOURGEADE, P.; BADOT, P.M. Sensing and signalling during plant flooding. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.42(4), p.273–282, 2004. [https:// doi. org/ 10. 1016/j. plaphy. 2004. 02. 003](https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2004.02.003)
- DAVANSO, V.M.; SOUZA, L.A.; MEDRI, M.E.; PIMENTA, J.A.; BIANCHINI, E. Photosynthesis, growth and development of *Tabebuia avellanadae* Lor. Ex Griseb. (Bignoniaceae) in flooded soil. **Brazilian archives of Biology and Technology**, v.45, p.375-384, 2002.
- DIAS-FILHO, M.B. Opções forrageiras para áreas sujeitas a inundação ou alagamento temporário. In: PEDREIRA, C.G.S.; MOURA, J.C. de; DA SILVA, S.C.; FARIA, V.P. de (Ed.). 22o **Simpósio sobre manejo de pastagem**. Teoria e prática da produção animal em pastagens. Piracicaba: FEALQ, 2005, p.71-93.
- FANTE, C. A. et al. **Respostas fisiológicas em cultivares de soja submetidas ao alagamento em diferentes estádios**. *Bragantia* [online]. 2010, v. 69, n. 2 [Acessado 8 Agosto 2021] , pp. 253-261. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000200001>>. Epub 02 Mar 2011. ISSN 1678-4499. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000200001>.
- FUKAO, T.; BAILEY-SERRES, J. Plant responses to hypoxia. Is survival a balancing act? **Trends in Plant Science**, v. 9, p. 1403-1409, 2004.
- HENSHAW, T.L.; GILBERT, R.A.; SCHOLBERG, J.M.S.; SINCLAIR, T.R. Soya bean (*Glycine max* L. Merr.) genotype response to early-season flooding. I. Root and nodule development. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 193, p. 177-188, 2007.
- LÄMKE, J.; BÄURLE, I. Epigenetic and chromatin-based mechanisms in environmental stress adaptation and stress memory in plants. **Genome Biology**, v. 18, n. 1, p. 124, 27 dez. 2017.
- PHUKAN, U.J.; MISHRA S.; SHUKLA, R.K. Waterlogging and submergence stress: affects and acclimation. **Critical Reviews in Biotechnology**, v.36(5), p.956–966, 2016. [https:// doi. org/ 10. 3109/ 07388 551. 2015. 1064856](https://doi.org/10.3109/07388551.2015.1064856)
- SILVA, J.J.C.; MELO, R.; ALMEIDA, R. Camalhões: uma opção para o problema de drenagem das terras baixas na região costeira da Lagoa Mirim, RS. Pelotas: **Embrapa Clima** 2002. 33 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 95).
- TAN, X.; ZWIAZEK, J.J. Stable expression of aquaporins and hypoxia responsive genes in adventitious roots are linked to maintaining hydraulic conductance in tobacco (*Nicotiana tabacum*) exposed to root hypoxia. **PLoS ONE** v. 14(2):e0212059, 2019. [https:// doi. org/ 10.1371/ journ al. pone. 02120 59](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212059)
- VEIGA, A. B.; CAMPOS, A. D. S.; SINNEMANN, C. S.; SILVA, L. B. X.; MELO, T. S.; VEIRA, P. A.; CONCENÇO, G.; PARFITT, J. M. B.; Efeito do sistema de cultivo e manejo do solo no estabelecimento de soja em terras baixas. In: **XI Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado**, Balneário Camboriú, 2019