

## PLANTAS DE SOJA CULTIVADAS SOB ELEVADO CO<sub>2</sub> ALTERAM O METABOLISMO DE CARBOIDRATOS EM FUNÇÃO DA COINOCULAÇÃO

ANDREI NUNES RODRIGUES<sup>1</sup>; ADRIANO UDICH BESTER<sup>2</sup>; EDUARDO PEREIRA SHIMOIA<sup>3</sup>; DOUGLAS ANTÔNIO POSSO<sup>4</sup>; CRISTIANE JOVELINA DA SILVA<sup>5</sup>; LUCIANO DO AMARANTE<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – [andreinunes6700@gmail.com](mailto:andreinunes6700@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas - [adriano.udich.bester@gmail.com](mailto:adriano.udich.bester@gmail.com)

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – [eduardopshimoia@gmail.com](mailto:eduardopshimoia@gmail.com)

<sup>4</sup>Universidade Federal de Pelotas - [douglasposso@hotmail.com](mailto:douglasposso@hotmail.com)

<sup>5</sup>North Carolina State University, USA - [cristianejovelinadasilva@gmail.com](mailto:cristianejovelinadasilva@gmail.com)

<sup>6</sup>Universidade Federal de Pelotas– [lucianoamarante@yahoo.com.br](mailto:lucianoamarante@yahoo.com.br)

### 1. INTRODUÇÃO

O aquecimento global causado pelo elevado CO<sub>2</sub>, também é responsável por precipitações extremas que ocasionam alagamentos. Por outro lado, o CO<sub>2</sub> atmosférico elevado pode aumentar o rendimento de vegetais, ou ao menos aumentar sua biomassa, principalmente os que apresentam metabolismo fotossintético C<sub>3</sub>. Uma maior taxa produção de fotoassimilados, dentre eles açúcares solúveis totais, tornaria estes mais exigentes em nutrientes em comparação com as plantas cultivadas nos dias atuais (400 ppm CO<sub>2</sub>). Portanto, espera-se que os vegetais respondam de outra forma ao aumento de CO<sub>2</sub> (800 ppm) previsto para o fim do século (Dong et al., 2019).

O aumento da população mundial exige uma produção de alimentos em grande escala. Na safra 22/23 o Brasil produziu 163 mil toneladas soja colocando o país em primeiro lugar no ranking mundial (FAZ-USDA 2023). A produção do país é diretamente dependente da inoculação da cultura com bactérias diazotróficas (*Bradyrhizóbium*) para promover a fixação biológica de nitrogênio (FBN) reduzindo custos com adubos nitrogenados. Esse processo ocorre por meio da redução do N<sub>2</sub> atmosférico à amônia tornando-o assimilável para a planta (Burns e Hardi., 1975).

A coinoculação com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* e/ou *Rhizophagos intraradices*, melhora a absorção de nutrientes pela planta (Moretti et al., 2020; Musyoka et al., 2020). O *Azospirillum brasilense* tem como característica a promoção do crescimento da planta pela interação com a produção de fitormônios (Rodrigues et al., 2012). O *Rhizophagos intraradices*, fungo micorrízico arbuscular, é responsável por aumentar o desempenho de plantas devido aumentos na absorção de nutrientes, principalmente fósforo (Musyoka et al., 2020). Essas interações microbiológicas, ocorrem por meio de trocas, as plantas fornecem açúcares para os microrganismos e eles, nutrientes e outros metabólitos.

Assim este trabalho tem por objetivo descrever as respostas de plantas de soja coinoculadas quando estas são cultivadas em ambientes de elevado CO<sub>2</sub> e passam por períodos de alagamento.

### 2. METODOLOGIA

Sementes de soja [*Glycine max* (L.) Merrill], cultivar sensível ao alagamento (PEL BRS 15-7060), foram inoculadas e coinoculadas com os seguintes tratamentos: 1) *Bradyrhizobium japonicum* (estirpes SEMIA 5079 e 5080, com 8x10<sup>9</sup> UFC/g) (Brad); 2) *Azospirillum brasilense* (cepas Ab-v5 e Ab-v6 com 2 x 10<sup>9</sup>

UFC/mL) (Azos), 3) *Rhizophagos intraradices* na concentração de 1,35 g/Kg de semente com garantia de 20.800 propágulos por grama de produto (Rhizo) e 4)

Combinação do três simbiotes: Brad, Azos e Rhizo (B+A+R). A germinação e cultivo ocorreu em vasos com volume de um litro contendo planossolo háplico. Os vasos foram dispostos em duas OTC (câmara de topo aberto) diferenciadas por suas concentrações de CO<sub>2</sub>, 400 ppm ([CO<sub>2</sub>] atmosférico; a[CO<sub>2</sub>]) e 750 ppm ([CO<sub>2</sub>] elevado; eCO<sub>2</sub>). Quando as plantas atingiram o estágio fenológico V5 foram alagadas colocando os vasos dentro de recipientes sem furos e preenchidos com água. Aos sete dias de alagamento, foram avaliados a concentração de açúcares solúveis totais (AST) conforme metodologia de (Graham e Smydzuk, 1965) e a massa fresca de raízes (MF). O experimento foi conduzido em esquema trifatorial condição hídrica, tratamento microbiológico e níveis de CO<sub>2</sub> atmosférico utilizando delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições e a unidade experimental constituída por três plantas. Os dados foram analisados por ANOVA e nos casos de interação significativa entre os fatores, as médias foram comparadas pelo teste Tukey ao nível de probabilidade de 0,05. As análises estatísticas e figuras foram realizadas utilizando os softwares RBio e Excel 365, respectivamente.

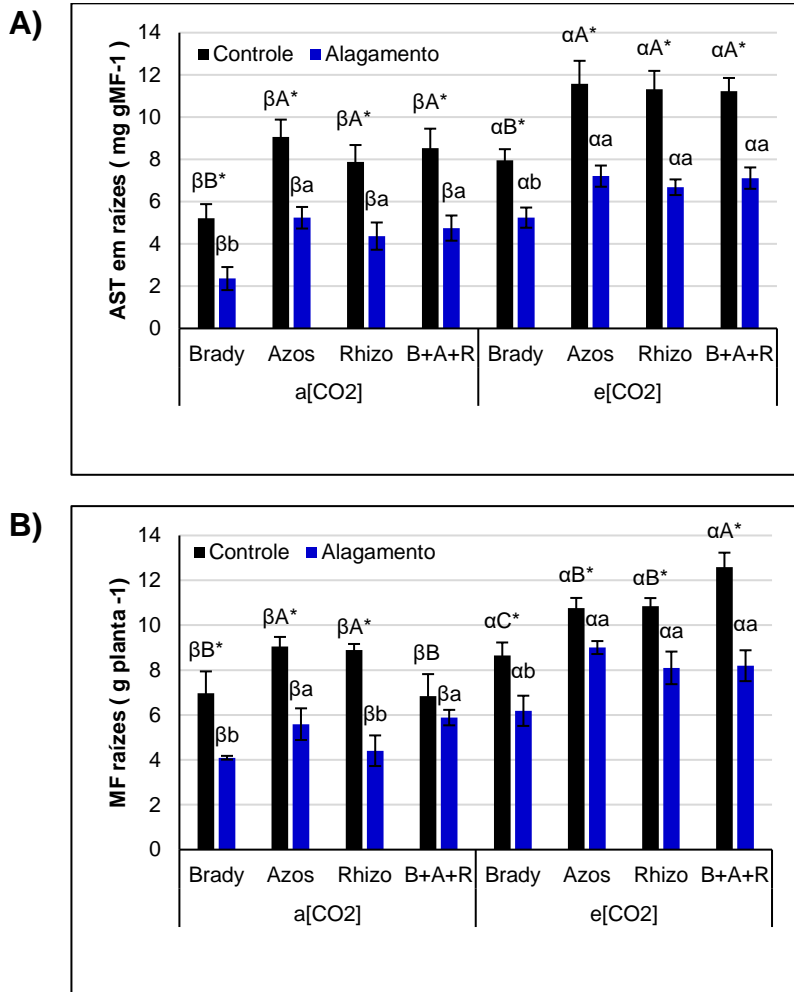
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Plantas alagadas apresentaram uma menor concentração de açúcares solúveis totais AST (Figura 1A) nas raízes em relação as plantas na condição controle, independentemente da [CO<sub>2</sub>] ou tratamento microbiológico. As plantas coinoculadas apresentaram maiores concentrações de AST em raízes quando comparadas com aquelas inoculadas apenas com *Bradyrhizobium*. Mesmo com reduções na concentração de AST durante o alagamento as plantas cultivadas em e[CO<sub>2</sub>] apresentam maiores concentrações de AST do que plantas cultivadas em a[CO<sub>2</sub>] independente do tratamento microbiológico, mantendo maiores níveis nos tratamentos de coinoculação.

A massa fresca de raízes (MF) (Figura 1B), reduziu durante o alagamento independente da [CO<sub>2</sub>], com exceção das plantas coinoculadas com B+A+R cultivadas em a[CO<sub>2</sub>]. Quando em condições de a[CO<sub>2</sub>], as plantas com Azos ou B+A+R, apresentam maiores massas radiculares em comparação com os tratamentos Brady e Rhizo. Já quando cultivamos as plantas em e[CO<sub>2</sub>], todos os tratamentos de coinoculação apresentaram maior MF que apenas inoculação, destacando-se o tratamento B+A+R, com a maior média dentre as plantas controle.

Observamos que tanto AST quanto MFR reduziram mais em tratamentos de coinoculação quando comparamos com seus respectivos controles, independente da [CO<sub>2</sub>]. Enquanto o tratamento Brad reduziu em torno de 40%, as plantas dos tratamentos coinoculados reduziram entorno de 50%.

Figura 1: Açúcares solúveis totais (AST) (A), massa fresca de raízes (MFR) (B) em plantas de soja cultivadas em associação com *Bradyrhizobium* e em combinação com *Azospirillum* e/ou *Rhizophagus* sob dois níveis de CO<sub>2</sub> atmosférico (400 e 750  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ) submetidas à condição de alagamento por sete dias. Asteriscos indicam diferença entre plantas alagadas e controles para cada condição simbiótica e concentração de CO<sub>2</sub>, letras maiúsculas diferentes indicam diferença entre os controles e letras minúsculas indicam diferença entre os tratamentos para a condição de alagamento para cada concentração de CO<sub>2</sub> e letras gregas diferentes indicam diferença entre os níveis de CO<sub>2</sub> para cada associação simbiótica e condição de estresse (controle e alagamento). Valores representam a média  $\pm$  DP, n=4. (teste t; P <0,05). Brady - Inoculação com *Bradyrhizobium*; Azos - coinoculação com *Azospirillum* + *Bradyrhizobium*; Rhizo – coinoculação com *Rhizophagus intraradices* + *Bradyrhizobium*; B+A+R – Coinoculação com *Bradyrhizobium* + *Azospirillum* + *Rhizophagus*.



Raízes de plantas em estágios iniciais de desenvolvimento são consideradas como órgãos dreno por apresentarem uma grande demanda de fotoassimilados e nutrientes para sustentar o seu crescimento. Aparentemente essa demanda é aumentada quando coinoculamos as plantas com mais microrganismos, visto que os tratamentos de coinoculação apresentaram maiores concentrações de AST. As maiores concentrações de AST encontradas em plantas coinoculadas, está justamente relacionada com a maior necessidade da planta em sustentar as relações simbióticas, drenando assim mais AST para as raízes. Isso também pode explicar um melhor desempenho frente ao alagamento, visto que as plantas conseguem de alguma maneira remobilizar mais reservas para manter o metabolismo de carboidratos aumentando o suprimento de energia frente a maior demanda imposta pela deficiência de O<sub>2</sub>.

Com o aumento no número de simbioses as plantas precisam também aumentar seu volume de raízes para que melhore as relações planta-simbionte, isso fica evidente quando analisamos os resultados de MFR, pois plantas coinoculadas apresentaram maiores MFR, deixando claro que ao passo em que as raízes crescem mais, concomitantemente aumentam as exigências de fotoassimilados para sustentar tanto o crescimento quanto as relações com os microrganismos. Em condições de alagamento, observamos que essa maior massa, pode ter servido como fonte para o metabolismo das plantas, visto que plantas coinoculadas perdem mais massa que plantas somente inoculadas. A maior

concentração de AST bem como maior MFR em plantas coinoculadas mantidas em condição de controle suportam uma maior perda de MFR e AST quando as plantas passam por períodos de estresse por alagamento. Mesmo sob taxas maiores de consumo de carboidratos (condição de alagamento), as plantas coinoculadas ainda apresentam AST e MFR maiores que plantas somente inoculadas.

#### 4. CONCLUSÕES

Sem a inoculação de plantas de soja com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, seria impraticável as produtividades alcançadas atualmente. Porém ao coinocularmos as plantas estamos possibilitando que estas tenham um melhor desempenho frente a estresses abióticos como o alagamento. Com aumentos do CO<sub>2</sub> atmosférico as plantas aumentam a produção de açúcares solúveis totais, atrelando isso a técnica de coinoculação, é possível que as plantas melhorem suas respostas ao alagamento.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BURNS, R.C., HARDY, R.W.F. Nitrogen Fixation in Bacteria and Higher Plants. Madison. Springer, Agro-Ecosystems, 2:4, 339 1975. doi:10.1016/0304-3746(76)90154-2

Graham, D.; Smydzuk, J. Uso de Antrona na Determinação Quantitativa de Hexose Fosfatos. Anal. Bioquímica. 1965, 11, 246–255. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(65\)90012-6](https://doi.org/10.1016/0003-2697(65)90012-6)

Rodrigues, AC, Bonifácio, A., de Araújo, FF, Junior, MAL, do Vale Barreto Figueiredo, M. Azospirillum sp. como um desafio para a agricultura. In: Maheshwari, D. Metabólitos Bacterianos no Agroecossistema Sustentável. Suíça. Springer, 2015. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-24654-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-24654-3_2)

Musyoka D M, Njeru E M, Nyamwange M M & Maingi J M. Arbuscular mycorrhizal fungi and coinoculation of Bradyrhizobium increase nitrogen fixation and the growth of green grasses (*Vigna radiata* L.) under water stress, **Journal of Plant Nutrition**, v.43, n. 7, p.1036-1047, 2020. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1711940>

Dong, J., Gruda, N., Li, X., Tang, Y., Zhang, P., Duan, Z. Sustainable vegetable production under climate change: The impact of elevated CO<sub>2</sub> on vegetables and the with interactions environments- A review. **Journal of Cleaner Production**. v.253: 119920 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119920>

Moretti, L. G., Crusciol, C. A. C., Bossolani, J. W., Momesso, L., Garcia, A., Kuramae, E. E., & Hungria, M. Bacterial Consortium and Microbial Metabolites Increase Grain Quality and Soybean Yield. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**. Chile, v.20 p. 1923-1934, 2020. <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00263-5>

USDA. Soybean 2023 World Production. Foreign Agricultural Service, 23 mar. 2023. Acessado em 12 setembro. 2023. Online. Disponível em: [https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=2222000\\_](https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=2222000_)