



Respostas da soja ao *Azospirillum brasilense* e reguladores vegetais em condições de déficit hídrico

Lucas Guilherme Bulegon¹, Vandeir Francisco Guimarães¹, Adriano Mitio Inagaki¹,
Andre Gustavo Battistus¹, Luiz Claudio Offemann¹, Aline Kelly Pomini de Souza¹

¹ Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Marechal Cândido Rondon, PR, Brasil. E-mail: lucas_bulegon@yahoo.com.br; vandeirfg@yahoo.com.br; mitio.inagaki@gmail.com; andre_battistus@hotmail.com; l.offemann@hotmail.com; alinepomine@msn.com

RESUMO: Objetivou-se avaliar as respostas fotossintéticas e produtivas da cultura da soja inoculada com *Azospirillum brasilense*, via semente e foliar e aplicação de reguladores vegetais via foliar, submetida a déficit hídrico severo. Para isso utilizou-se delineamento de blocos casualizados, com cinco tratamentos e cinco repetições: controle irrigado, controle com déficit hídrico, *A. brasilense* na semente com déficit hídrico, *A. brasilense* foliar com déficit hídrico e reguladores vegetais (auxina, giberelina e citocinina - AX+GA+CK) foliar com déficit hídrico. A imposição do déficit hídrico ocorreu no florescimento pleno. As avaliações realizadas diariamente e após a reidratação consistiram de: teor relativo de água (TRA), umidade gravimétrica do solo (Ug) e trocas gasosas. No déficit hídrico severo avaliou-se a fluorescência da clorofila a, e no momento da maturação, o número de vagens por planta e grãos por vagem, massa de 100 grãos e produção. O TRA e a Ug não apresentaram variações entre os tratamentos mantidos em deficiência hídrica. Nas trocas gasosas a aplicação foliar de *A. brasilense* auxiliou na manutenção da assimilação de CO₂ e elevou a eficiência no uso da água. Em relação a produção a aplicação foliar de *A. brasilense* ou AX+GA+CK mitigaram as perdas pela incidência da deficiência hídrica. Conclui-se que o uso de *A. brasilense* foliar ou reguladores vegetais amenizam as perdas em produção quando da incidência de deficiência hídrica no período de florescimento.

Palavras-chave: fluorescência da clorofila a; relações hídricas; resistência a estresses abióticos; trocas gasosas

Soybean responses to *Azospirillum brasilense* and plant regulators in drought conditions

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the photosynthetic and productive responses of the soybean inoculated with *A. brasilense*, via seed and foliar spray application of foliar spray application of plant regulators, submitted to severe drought. For this we used a randomized block design with five treatments and five replications: irrigated control, drought control, *A. brasilense* seed with drought, foliar spray *A. brasilense* with drought and foliar spray plant regulators (auxin, gibberellin and cytokinin - AX+GA+CK) with drought. The evaluations performed daily and after rehydration consisted of: relative water content (RWC), soil gravimetric moisture (Ug) and gas exchange. In severe drought the chlorophyll a fluorescence was evaluated, and at the moment of maturation, the number of pods per plant and grains per pod, mass of 100 grains and production. RWC and Ug did not show variations between treatments maintained in drought. In the gas exchanges the foliar spray application of *A. brasilense* assisted in the maintenance of CO₂ assimilation and increased the water use efficiency. In relation to the production the foliar spray application of *A. brasilense* or AX + GA + CK softens the losses in drought conditions. It is concluded that the use of *A. brasilense* foliar or plant regulators alleviates losses in production when the incidence of drought in the flowering period.

Key words: fluorescence of chlorophyll a; water relations; resistance to abiotic stress; gas exchange

Introdução

A soja (*Glycine max* L.) é a principal oleaginosa cultivada no mundo, com produção estimada de 347,88 milhões de toneladas (USDA, 2017). Esta é classificada como C₃ tendo baixa eficiência na utilização do carbono durante o processo fotossintético. Desta forma, as folhas precisam manter os estômatos abertos por maior período para realizar a fotossíntese, o que favorece a perda de água por transpiração. Em estudo comparativo entre plantas de soja e milho, foi demonstrado que as taxas fotossintéticas são próximas em condições de campo, contudo, a soja apresenta transpiração de 8,816 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ frente a 4,673 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ do milho, o que resultou em eficiência no uso da água para a soja de 3,71 mg g^{-1} , ou seja, 50,4% inferior ao milho (Yu et al., 2004).

A soja possui demanda hídrica variando entre 450 a 800 mm durante o ciclo, com maior necessidade entre o florescimento e enchimento de grãos, sendo relatado nesse período demanda hídrica de até 7,4 mm dia⁻¹ (Gava et al., 2015). Desta forma, a ocorrência de restrição hídrica no florescimento acarreta redução na produtividade da cultura (Fioreze et al., 2013; Gava et al., 2015). Assim, são encontradas reduções entre 24 a 50% na produtividade quando estudou-se diferentes regimes hídricos na soja (Sadeghipour & Abbasi, 2012).

A principal forma de se elevar a tolerância das plantas de soja à deficiência hídrica está na seleção de genótipos tolerantes, entretanto, demanda um maior período de tempo para o melhoramento vegetal. Para respostas a curto prazo, são estudadas opções como o uso de bactérias promotoras do crescimento vegetal (Dimkpa et al., 2009; Vurukonda et al., 2016) e reguladores vegetais (Farooq et al., 2009).

Dentre as bactérias promotoras de crescimento vegetal (BPCV), são amplamente estudadas aquelas pertencentes a espécie *Azospirillum brasilense*. Essa bactéria produz e disponibiliza para as plantas reguladores vegetais, destacando-se a auxina, na forma de ácido índol-acético. Atualmente, estuda-se a eficácia da aplicação foliar da bactéria cultivado em meio de cultura líquido (Garcia et al., 2016; Kappes et al., 2017), nessa o meio de cultura onde a bactéria se desenvolve contém reguladores vegetais (Perrig et al., 2007), que são fornecido para as culturas, tendo assim, efeito análogo a aplicação foliar de reguladores vegetais.

Considerando o uso da BPCV *A. brasilense* em braquiária cultivada em condições de déficit hídrico, foi citado efeitos benéficos sobre a atividade antioxidante (Bulegon et al., 2016) e nas trocas gasosas (Bulegon et al., 2017), onde a aplicação foliar de *A. brasilense* minimizou nas plantas os danos causados pelo déficit hídrico, minimizando a redução das trocas gasosas e auxiliando na remoção de espécies reativas de oxigênio. Na cultura da soja, a inoculação via semente com *A. brasilense* promoveu ganhos quando comparado a plantas não inoculadas onde o uso de *A. brasilense* promoveu produtividade de 466,9 g m² enquanto na ausência de inoculação obteve-se produtividade de 247,6 g m², ou seja, superioridade de 88,5% (Sadeghipour & Abbasi, 2012).

Os regulares vegetais, são substâncias sintéticas que aplicados nos vegetais incrementam os níveis endógenos do hormônio e atuam no crescimento e desenvolvimento vegetal. Existem relatos na literatura, que incrementos nos níveis endógenos de auxinas (Peres et al., 2009), citocinina (Werner et al., 2010) e giberelina (Colebrook et al., 2014) em plantas cultivadas com deficiência hídrica, mitigaram os efeitos causados no desenvolvimento vegetal. Segundo Farooq et al. (2016), os reguladores vegetais atuam em nível celular resultando em desenvolvimento radicular, na manutenção das trocas gasosas e no incremento da atividade antioxidante, em condições de déficit hídrico. Nesse sentido o uso de cinetina elevou o teor relativo de água em folhas de soja sob deficiência hídrica (Fioreze et al., 2013).

Considerando que a deficiência hídrica provoca perdas significativas na produção da soja, o uso da BPCV *A. brasilense* ou de reguladores vegetais podem auxiliar a cultura a tolerar a deficiência hídrica, amenizando os efeitos sobre as trocas gasosas e na produção da cultura.

Sendo assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar as respostas fotossintéticas e produtiva da cultura da soja, quando inoculada com *A. brasilense* via semente e foliar ou com a aplicação de reguladores vegetais via foliar submetida a um déficit hídrico severo no período de florescimento.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no período de 12 de novembro de 2016 a 10 de março 2017. Durante a condução do experimento a temperatura média interna foi de 28,8 °C, umidade relativa média de 71,84% e ponto de orvalho médio de 20,8 °C.

Foram utilizados vasos plásticos com capacidade nominal de 12 L, que receberam como substrato solo do horizonte A de Latossolo Vermelho Eutrófico. O solo apresentava as seguintes características químicas e físicas: saturação de bases 62,68%, pH de 5,67, teor de matéria orgânica de 5,47 g dm⁻³, teor de P de 2,07 mg dm⁻³ e K de 0,18 cmol_c dm⁻³, teor de argila, silte e areia de 578, 348,58 e 3,42 g kg⁻¹, respectivamente, com população natural de bactérias diazotróficas, determinada pelo método do número mais provável, foi de 7,5 x 10⁴ UFC g⁻¹ solo. Realizou-se o fornecimento de 150 mg dm³ de K₂O (cloreto de potássio) e 300 mg dm³ de P₂O₅ (superfosfato simples), antecedendo a semeadura da cultura.

Foi adotado um delineamento em blocos casualizados, com 5 tratamentos e cinco repetições, conduzidos em triplicata. Os tratamentos foram representados por controle irrigado (sem restrição hídrica), controle seco (com restrição hídrica), inoculação das sementes com *A. brasilense* com restrição hídrica, aplicação foliar de *A. brasilense* com restrição hídrica, aplicação foliar de auxina, giberelina e citocinina (AX+GA+CK), com restrição hídrica.

Para a realização do experimento foram utilizadas sementes de soja cv. NA 5909[®] conduzidas duas plantas por vasos. Todos os tratamentos receberam inoculação com *Bradyrhizobium japonicum* (SEMIA 5079 e SEMIA 5080) na concentração de

5×10^9 UFC mL⁻¹ via solo por meio de pulverização nas covas que foram depositadas as sementes de 600 mL ha⁻¹ de inoculante líquido, com volume de calda de 200 L ha⁻¹.

A inoculação das sementes com *A. brasilense* estirpes AbV5 + AbV6 foi realizada na dose de 100 mL de inoculante (2×10^8 UFC mL⁻¹) para cada 50 kg sementes, as quais foram homogeneizadas e mantidas à sombra por cerca de 30 minutos.

Quando as plantas atingiram o estágio fenológico V₆, correspondendo a 45 dias após a semeadura foi realizada a aplicação foliar dos tratamentos, no período entre as 19 h 00 min e 20 h e 00 min. Para isso utilizou-se um pulverizador costal pressurizado com CO₂, dotado de uma barra de 3 m de largura com seis pontas tipo leque (Magno 11002 ADGA), pressão de trabalho de 2,2 bar, vazão de 200 L ha⁻¹ e altura de aplicação de 0,5 m acima do ápice das plantas.

Para o tratamento com regulador vegetal foi utilizada uma mistura entre auxina, giberelina e citocinina na dose de 0,025 g ha⁻¹ de ácido 4-indol-3-ilbutírico, 0,025 g ha⁻¹ de ácido giberélico e 0,045 g ha⁻¹ de cinetina, via produto comercial Stimulate®. Para a aplicação foliar de *A. brasilense* foi utilizado dose de 500 mL ha⁻¹ de inoculante comercial a base de *A. brasilense*, estirpes AbV5 e AbV6, numa concentração de 2×10^8 UFC mL⁻¹.

Os vasos foram mantidos constantemente irrigados e as plantas constantemente monitoradas, para garantir adequado desenvolvimento, não sendo realizada aplicação de nutrientes durante a condução do ensaio. Antes da imposição do déficit hídrico foi avaliado o acúmulo de massa seca de sistema radicular e da parte aérea, para verificar a homogeneidade entre o crescimento vegetal.

Quando as plantas atingiram o estágio fenológico R₂ (florescimento pleno) foi realizada a imposição do déficit hídrico. Para isso, as plantas foram irrigadas até a capacidade de campo e aquelas destinadas ao déficit hídrico retirou-se a irrigação até o momento em que fotossíntese líquida ('A') se aproximou de zero, correspondendo a dois dias após a imposição do déficit hídrico. Após o término das avaliações os vasos foram reidratados e constantemente irrigados até o momento da maturação plena, quando procedeu a colheita das vagens de soja.

A classificação dos estádios do déficit hídrico em plantas hidratadas (início do déficit hídrico e após a reidratação) e em déficit hídrico severo, foi estabelecido seguindo o critério da condutância estomática (gs) para plantas C₃, onde plantas hidratadas apresentam $gs \geq 0,2$ mol H₂O m⁻² s⁻¹ e plantas em déficit hídrico severo apresentam $gs \leq 0,1$ mol H₂O m⁻² s⁻¹ (Flexas et al., 2004).

A umidade gravimétrica do solo foi avaliada diariamente em antes do nascer do sol retirando-se uma amostra do substrato contido em cada vaso, que foi pesada no momento da coleta (U1). Em seguida, as amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 105 °C, por 24 horas e determinada a massa do solo seco em balança de precisão (U2), sendo a umidade gravimétrica determinada por: $Ug = (U1 - U2) / U2$. A determinação do TRA foi realizada diariamente

antes do nascer do sol coletando-se amostras foliares de 1,5 cm², as quais foram pesadas no momento da coleta, colocadas em placas de petri com água destilada e levadas para B.O.D. por seis horas a 25°C para ocorrer a saturação das amostras. Os discos tiveram sua superfície seca com papel toalha e foram pesados para obter a massa fresca turgida e em seguida secos em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até massa constante, para a determinação da massa seca.

Para a determinação das trocas gasosas, previamente à imposição do déficit hídrico, foram identificadas duas folhas completamente desenvolvidas, fotossinteticamente ativas e sem lesões aparentes, localizadas no terço médio onde procedeu-se as leituras diariamente. As leituras foram realizadas utilizando-se o equipamento IRGA (*Infra Red Gas Analyser*) modelo LI-6400XT (*Licor Inc. Lincoln, NE*), pela manhã, entre 09h00min e 11h00min, utilizando concentração de CO₂ de 400 μmol mol⁻¹, velocidade de fluxo na câmara de 500 μmol s⁻¹; temperatura do bloco em 25 °C e fluxo de fótons fotossinteticamente ativo de 1200 μmol fótons m⁻² s⁻¹.

Determinou-se a taxa de assimilação líquida de CO₂ ('A'), taxa de transpiração da folha ('E'); condutância estomática ('gs'), concentração interna de CO₂ ('Ci'), além das seguintes relações: $'WUE' = 'A'/'E'$ e $'Fc' = 'A'/'Ci'$, em que $'WUE'$ corresponde à eficiência do uso de água e $'Fc'$ é à eficiência instantânea de carboxilação.

No momento do déficit hídrico severo foi realizada a análise de fluorescência da clorofila *a* através do método do pulso de saturação (Schreiber et al., 1995). Em folhas no escuro, com leitura realizada durante a madrugada, foram obtidos os valores de fluorescência inicial (Fo), máxima (Fm) e eficiência quântica potencial do fotossistema II (Fv/Fm). Na presença de radiação solar, foi determinada a eficiência quântica efetiva do PSII (ΦPSII), a eficiência máxima do PSII (Fv'/Fm') e o coeficiente de extinção fotoquímico (qp).

Os componentes da produção foram determinados quando as plantas atingiram maturação plena. Inicialmente, determinou-se o número de vagens por planta, pela contagem do total de vagens presente nas plantas. A colheita de todas as vagens foi realizada manualmente e a partir da escolha aleatória de 10 vagens determinou-se o número de grãos por vagem. Em seguida as vagens foram debulhadas e determinou-se a produção por planta. Por fim, foi determinada a massa de cem grãos, pela contagem de quatro amostras de 100 grãos as quais eram contadas, pesadas e retornavam para o total da amostra, sendo homogeneizadas para realizar uma nova contagem, devido ao pequeno volume de grãos.

Os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste F e quando pertinente tiveram suas médias comparadas pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK) a 5% de probabilidade de erro, com auxílio do software Sisvar. As médias obtidas para as variáveis avaliadas foram submetidas a análise de correlação de Pearson com a produção por planta, com auxílio do programa Genes.

Resultados e Discussões

No momento da imposição do déficit hídrico, as plantas de soja não apresentavam diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os tratamentos para o acúmulo de massa seca da raiz, parte aérea e total (dados não mostrados). Essa condição evidencia que as respostas obtidas não foram influenciadas por diferenças impostas pelos tratamentos no crescimento e desenvolvimento vegetal.

A umidade gravimétrica do solo (Ug) apresentou diferença significativa apenas para a avaliação realizada em déficit hídrico severo onde as plantas mantidas irrigadas mostraram maior média, não sendo observado diferença entre os tratamentos em restrição hídrica (Figura 1A).

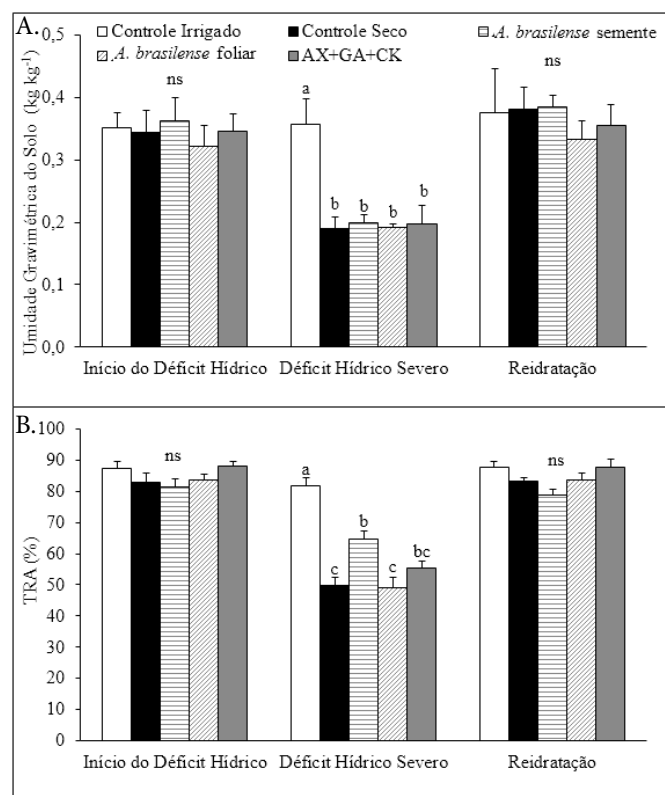
O teor relativo de água (TRA) respondeu de forma similar à Ug, em condições de déficit hídrico severo foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. Nesse momento, a maior média ocorreu no controle irrigado com TRA superior a 80%, ao se considerar os tratamentos sob restrição hídrica o controle seco e a aplicação foliar de *A. brasilense* exibiram médias inferiores com redução de 39% e 39,8%, em relação ao controle irrigado, respectivamente, todavia ambos não diferiram da aplicação foliar de AX+GA+CK, que teve redução de 32% em relação ao controle irrigado. Por sua vez, a inoculação

das sementes com *A. brasilense* resultou em TRA superior com incremento de 35,12% e 31,62% comparado ao controle seco e a aplicação foliar de *A. brasilense*, respectivamente (Figura 1B). Na reidratação não foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos.

Para a assimilação líquida de CO_2 ('A'), foram constatadas diferenças significativas no início do déficit hídrico, onde a aplicação foliar de *A. brasilense* evidenciou menor média, com inferioridade de 21,5% comparado ao controle irrigado. Em déficit hídrico severo, maior 'A' foi verificado no controle irrigado, com 27,57 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Ao se comparar as plantas irrigadas com as plantas em déficit hídrico observou-se redução de 91,18%, 94,30%, 80,70% e 96,84% para o controle seco, *A. brasilense* na semente, *A. brasilense* foliar e AX+GA+CK, respectivamente (Figura 2A).

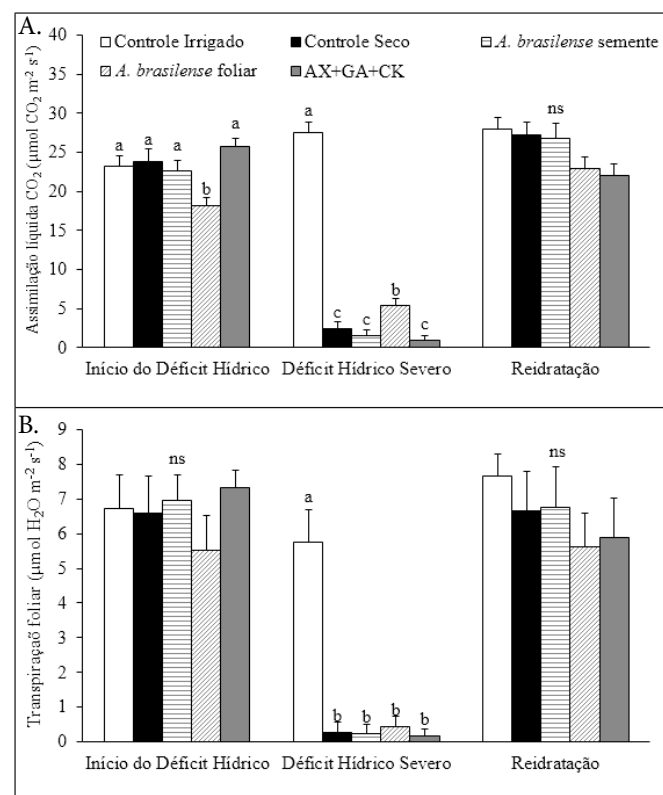
Nas plantas mantidas em restrição hídrica maiores valores de 'A' foram obtidos com aplicação foliar de *A. brasilense* (5,33 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), superando em 219,34%, 339,50% e 605,69% o controle seco, *A. brasilense* na semente e AX+GA+CK, respectivamente. Na reidratação das plantas, não foram observadas diferenças entre os tratamentos.

As variações obtidas no TRA se mostram importante em estudos envolvendo tolerância a deficiência hídrica, contudo isoladamente essa variável não representa com exatidão a



ns: não significativo; ** médias seguidas das mesmas letras minúsculas indicam ausência de diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Student-Newman-Keuls a 5% de probabilidade. Barras verticais indicam o erro padrão da média para n=5. AX+GA+CK: auxina, giberelina e citocinina.

Figura 1. Umidade gravimétrica do solo (Ug) e teor relativo de água (TRA) de plantas de soja inoculadas com *A. brasilense* ou com aplicação de reguladores vegetais submetidas ao déficit hídrico no florescimento, Marechal Cândido Rondon, 2016/2017.



ns: não significativo; ** médias seguidas das mesmas letras minúsculas indicam ausência de diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Student-Newman-Keuls a 5% de probabilidade. Barras verticais indicam o erro padrão da média para n=5. AX+GA+CK: auxina, giberelina e citocinina.

Figura 2. Assimilação líquida de CO_2 ('A') e taxa de transpiração foliar ('E') de plantas de soja inoculadas com *A. brasilense* ou com aplicação de reguladores vegetais submetidas ao déficit hídrico no florescimento, Marechal Cândido Rondon, 2016/2017.

eficiência dos tratamentos em ensaios em condições de vasos, visto os parâmetros fisiológicos como a assimilação líquida de CO_2 não responder na mesma intensidade. Corroborando com o presente é evidenciado em estudo comparativo entre genótipos de soja tolerante e suscetível ao déficit hídrico decréscimo nas médias de TRA, todavia, com elevação de 'A' (Hossain et al., 2014). A ausência de relação entre as variáveis ocorre devido a manutenção da atividade fisiológica estar ligada em maior intensidade a 'gs' e em menor ao TRA, assim, plantas que mantêm maior abertura estomática, apresentam maiores taxas fotossintéticas (Flexas et al., 2006a) e maior atividade da ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase oxigenase, devido não haver limitação do substrato (Flexas et al., 2006b).

As menores médias de 'A' obtidas na avaliação no início do déficit hídrico podem estar ligada a um efeito de sinalização provida pela aplicação de *A. brasilense* (Vurukonda et al., 2016), através da produção de compostos voláteis. A produção de compostos voláteis, resulta em respostas fisiológicas como fechamento estomático reduzindo assim os efeitos do déficit hídrico (Holopainen & Gershenson, 2010). Além dos compostos voláteis destaca-se como sinalizadores o ácido abscísico (ABA) e as auxinas.

Nesse seguimento, estudando-se o desenvolvimento de *A. brasilense* em meio de cultura líquido, foi observado presença de ácido abscísico (ABA) em uma concentração de $0,075 \mu\text{g mL}^{-1}$ (Perrig et al., 2007). Em plantas de milho colonizadas com *A. brasilense* observa-se redução nos níveis de estresse por deficiência hídrica, devido a produção de ABA pelas bactérias (Cohen et al., 2009; 2015), os mesmos relatam que os níveis de auxina também auxiliam tais respostas.

A auxina é o principal hormônio sintetizado pela bactéria *A. brasilense*, na forma de ácido indol-ácetico (AIA), onde plantas inoculadas demonstram incrementos nos teores de AIA (Radwan et al., 2004). Perrig et al., (2007), também citam que no meio de cultura onde a bactéria se desenvolve o AIA é o hormônio majoritário, alcançando concentração de até $10 \mu\text{g mL}^{-1}$, ou seja, a aplicação foliar também fornece esse hormônio, de forma análoga a aplicação foliar de reguladores vegetais.

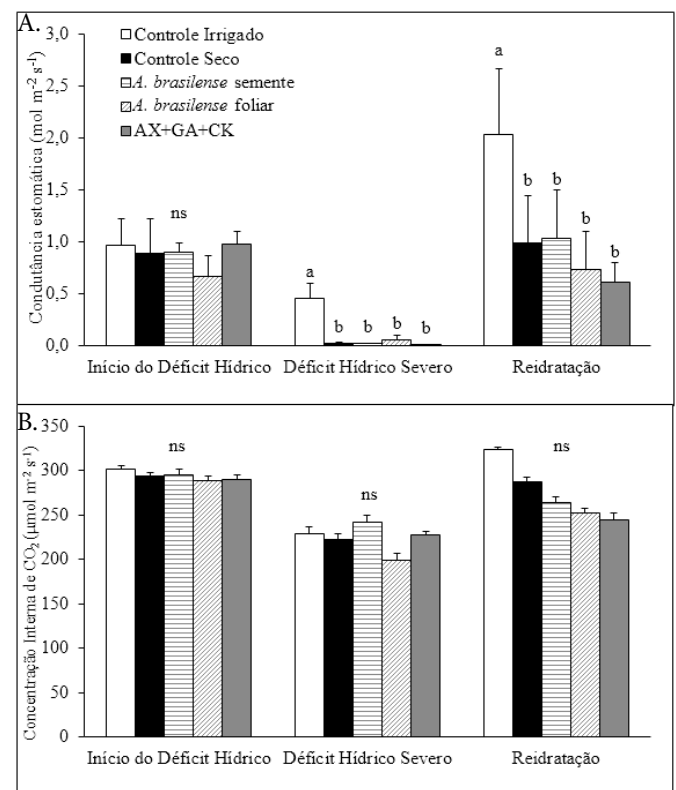
Resultados semelhantes ao presente são demonstrados em estudos com deficiência hídrica em plantas forrageiras com aplicação foliar de *A. brasilense* no perfilhamento, onde as plantas com *A. brasilense* tiveram fechamento dos seus estômatos com um dia de antecedência em relação ao controle, o que representou ganhos nas trocas gasosas quando o estresse hídrico antigo o nível severo (Bulegon et al., 2017), podendo tal resultado ser explicado a partir da sinalização provida pelo ABA no sistema radicular das plantas. Em outras culturas também são citados efeitos positivos da inoculação com *A. brasilense* associado a deficiência hídrica sobre parâmetros fisiológicos, como no milho (Bano et al., 2013), trigo (Arzanesh et al., 2011) e *Arabidopsis thaliana* (Cohen et al., 2015), sendo que todos estes trabalhos citam que os estímulos hormonais estão associados, pelo menos em parte, a essas respostas positivas.

A taxa transpiratória ('E') e a condutância estomática ('gs') apresentaram respostas semelhantes. Ambas as características não se diferiram no início do déficit hídrico

e na reidratação das plantas. Em déficit severo, maiores valores de 'E' e 'gs' foram obtidos nas plantas irrigadas, ao se observar as médias obtidas nas plantas em condições de deficiência hídrica não verificou-se diferença significativa entre os tratamentos estudados com valores médios para 'E' de $0,28 \mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 2B) e 'gs' de $0,022 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 3A), ou seja, uma redução de 95,13% e 95,11%, respectivamente, comparado ao controle irrigado.

Os valores da concentração interna de CO_2 ('Ci') não demonstraram diferenças significativas entre os tratamentos estudados, em nenhum dos estágios de déficit hídrico avaliados (Figura 3B).

As ausências de variações observadas em 'E' e 'gs' são de difícil explicação, uma vez que era esperado comportamento semelhante ao obtido em 'A' visto a correlação exercida entre essas variáveis (Hui et al., 2008). Corroborando com essa condição Fioreze et al. (2013), citam em estudo com a cultura da soja que as variáveis 'A', 'E' e 'gs' decrescem na mesma intensidade quando se tem a incidência de deficiência hídrica. Chaves & Oliveira (2004), citam redução parcial da condutância estomática limita proporcionalmente mais a transpiração do que a entrada de CO_2 na folha o que possibilita a manutenção da assimilação líquida de CO_2 . Corroborando com os citados,



ns: não significativo; ** médias seguidas das mesmas letras minúsculas indicam ausência de diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Student-Newman-Keuls a 5% de probabilidade. Barras verticais indicam o erro padrão da média para n=5. AX+GA+CK: auxina, giberelina e citocinina.

Figura 3. Condutância estomática - 'gs' (a) e concentração interna de CO_2 - 'Ci' (b) de plantas de soja inoculadas com *A. brasilense* ou com aplicação de reguladores vegetais submetidas ao déficit hídrico no florescimento, Marechal Cândido Rondon, 2016/2017.

Catuchi et al. (2012), em estudo na cultura da soja com fornecimento de 40% observou que 'E' e 'gs' reduziram em maior intensidade que 'A', o que também foi observado no presente estudo.

Vale ressaltar que embora não significativo nas plantas com aplicação foliar de *A. brasilense* as médias absolutas foram maiores para 'E' e 'gs' onde se comparado ao controle seco verifica-se superioridade de 62,9% e 326,85%, respectivamente (Figura 2B e 3A), o que ajuda explicar o incremento em 'A' citado anteriormente para esse tratamento. Destaca-se também nesse momento que todas as características 'A', 'E' e 'gs' se correlacionaram positivamente com a produção por planta (Tabela 3), assim, mesmo de forma não significativa as variações absolutas observadas na aplicação foliar de *A. brasilense* para 'E' e 'gs' auxiliaram a minimizar as perdas em produção por planta (Tabela 2).

A ausência de variações observadas para 'Ci' em todas as avaliações para as plantas mantidas em deficiência hídrica, associada a queda de 'gs' representa decréscimo na eficiência de carboxilação (Figura 4A).

Em relação à eficiência no uso da água ('WUE') houve diferenças entre os tratamentos apenas na avaliação realizada em deficiência hídrica severa. A maior média foi obtida em plantas que receberam aplicação foliar de *A. brasilense*,

superando em 253,14%, 236,50% e 261,37% o controle irrigado, inoculação das sementes com *A. brasilense* e aplicação foliar de AX+GA+CK, respectivamente (Figura 4A).

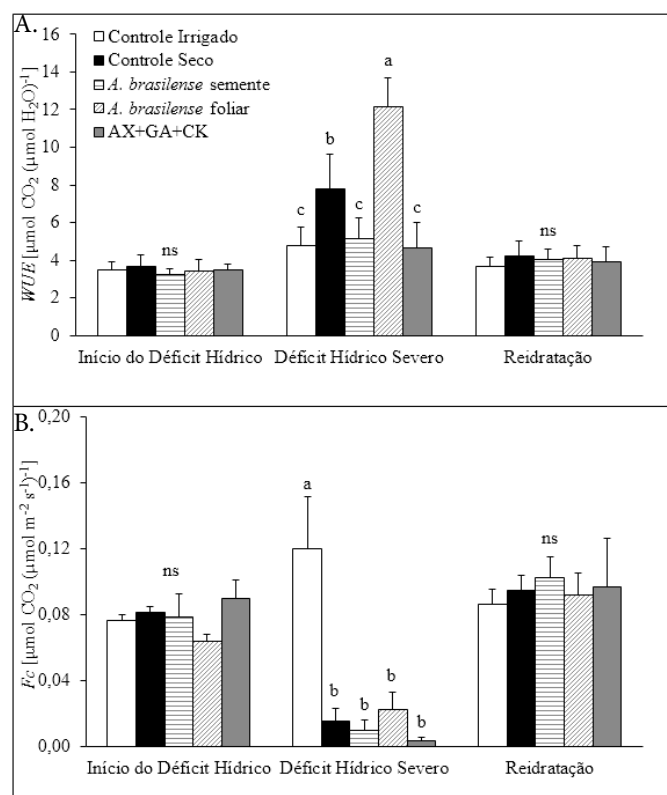
A eficiência instantânea de carboxilação ('F_c') não variou em função dos tratamentos no início do déficit hídrico e na reidratação das plantas. Em déficit hídrico severo as plantas mantidas irrigadas apresentaram maiores 'F_c', nas plantas mantidas em restrição hídrica não foram obtidas diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 4B).

Maiores valores de 'WUE' representa que as plantas de soja que recebem aplicação foliar de *A. brasilense* aproveitaram melhor a água disponível, possibilitando fixar mais CO₂ por unidade de água transpirada. A 'WUE' se eleva em condições de seca do solo, pois a planta passa a utilizar de forma mais eficiente a água contida nos tecidos foliares, devido ao fechamento estomático que limita as perdas de água por transpiração, sendo uma adaptação fisiológica de rápida resposta, a fatores estressantes do ambiente. Nesse sentido, a 'WUE' é citada como parâmetro importante para classificar genótipos de soja como tolerantes ao déficit hídrico (Hossain et al., 2014), sendo também utilizado para classificar genótipos tolerantes ao déficit hídrico em cevada (Thameur et al., 2012) e gramíneas forrageiras do gênero *Cynodon* spp. (Zhou et al., 2013). Em estudos realizados com *U. ruziziensis* foi demonstrado que a aplicação foliar de *A. brasilense* (300 mL ha⁻¹ de inoculante padrão comercial) durante o perfilhamento da planta, elevou a 'WUE' em condições de déficit hídrico severo em casa de vegetação (Bulegon et al., 2017).

Ao se considerar os resultados para as trocas gasosas para a aplicação de regulador vegetal, visto o mesmo também conter na sua composição auxina, citocinina e giberelina, deveriam exercer efeitos semelhantes aos das BPCV. Contudo, tal condição não ocorreu nas trocas gasosas, promovendo médias semelhantes ao controle seco. Xia et al. (2015), em estudos com estresse salino, relatam que a mitigação dos efeitos estressantes por parte dos reguladores vegetais está ligada ao maior desenvolvimento vegetal, o que não ocorreu no presente estudo. Outra condição é que o principal hormônio relacionado a deficiência hídrica é o ABA (Tardieu et al., 2010), além da elevação da concentração de etileno, que leva a queda da concentração de auxina, giberelina e citocinina em condições de deficiência hídrica (Farooq et al., 2016), desta forma, mesmo o fornecimento exógeno de reguladores vegetais, não foi suficiente para auxiliar o sistema fisiológico vegetal.

A ausência de diferenças significativas obtidas na reidratação das plantas, com exceção da condutância estomática, evidencia que as plantas recuperaram rapidamente sua condição inicial do ponto de vista fotossintético, corroborando com o citado em *U. ruziziensis* (Bulegon et al., 2017). O fato da condutância estomática ser inferior nas plantas com deficiência hídrica na reidratação deve-se a um efeito residual do déficit hídrico que continua a limitar a abertura estomática (Mattos et al., 2005).

A ocorrência da deficiência hídrica severa não influenciou as variáveis fluorescência mínima (F_o) e máxima (F_m), máxima eficiência quântica do fotossistema (F_v/F_m), eficiência máxima do PSII (F_v'/F_m'), entre os tratamentos avaliados (Tabela 1). O



ns: não significativo; ** médias seguidas das mesmas letras minúsculas indicam ausência de diferença significativa entre os tratamentos pelo teste de Student-Newman-Keuls a 5% de probabilidade. Barras verticais indicam o erro padrão da média para n=5. AX+GA+CK: auxina, giberelina e citocinina.

Figura 4. Eficiência no uso da água - 'WUE' (a) e eficiência instantânea de carboxilação - 'F_c' (b) de plantas de soja inoculadas com *A. brasilense* ou com aplicação de reguladores vegetais submetidas ao déficit hídrico no florescimento, Marechal Cândido Rondon, 2016/2017.

déficit hídrico severo causou variações significativas ($p \leq 0,05$) na eficiência quântica efetiva do PSII (Φ PSII) e no coeficiente de extinção fotoquímico (qP). Para essas variáveis a maior média foi observada para o controle irrigado. Os demais tratamentos mantidos sob restrição hídrica não apresentaram variações significativas entre si. Tal condição ocorre devido a relação tempo e intensidade do estresse hídrico imposto, que possivelmente não foi suficiente para interferir no transporte eletrônico vegetal, corroborando com Chaves & Oliveira (2004), que citam que quando a planta entra em condições estressantes as primeiras respostas fisiológicas ocorre em 'A' e 'gs', e a continuidade da condição leva a interferências no transporte eletrônico. Assim, como no presente estudo utilizou-se a 'A' e 'gs' como parâmetro para o nível de estresse a permanência da planta em condições estressantes não foram suficientes para interferir na fluorescência da clorofila, condição semelhante a obtida em soja cultivada sob níveis de deficiência hídrica (Chavarria et al., 2015).

Para as variáveis Φ PSII e qP, a redução nos valores evidenciam que a utilização fotoquímica da energia luminosa foi prejudicada pela imposição da deficiência hídrica. Esses resultados são de acordo com os demonstrados em plantas de soja (Ohashi et al., 2006). Estudos envolvendo plantas C_3 exemplificam reduções em Φ PSII e qP com o avanço da deficiência hídrica (Shangguan et al., 2000), relacionado a deficiência na dissipação do excesso luminoso pelos carotenoides durante a ocorrência da deficiência hídrica (Maghsoudi et al., 2015).

Ao final do ciclo produtivo da soja, a imposição do déficit hídrico resultou em diferenças significativas sobre as variáveis número de grãos por vagem e produção por planta ($p \leq 0,05$) e não influenciou o número de vagens por planta e a massa

de 100 grãos ($p > 0,05$). Para o número de grãos por vagens a menor média ocorreu com a inoculação das sementes com *A. brasilense*, diferenciando apenas do controle irrigado e da aplicação foliar AX+GA+CK (Tabela 2).

A produção por planta foi superior no controle irrigado, as médias intermediárias ocorreram nos tratamentos com aplicação foliar de *A. brasilense* e AX+GA+CK, enquanto a menor média deu-se no controle seco. A inoculação das sementes com *A. brasilense* não diferenciou de nenhum dos tratamentos sob restrição hídrica. Ao se comparar os tratamentos sob restrição hídrica com o controle irrigado, foram obtidas reduções da produção por planta de 28,36%, 18,52%, 13,77% e 14,63% para o controle seco, inoculação das sementes com *A. brasilense*, aplicação foliar de *A. brasilense* e AX+GA+CK (Tabela 2). Quando se compara, a aplicação foliar de *A. brasilense* e AX+GA+CK com o controle seco, esses o superaram em 20,36% e 19,15%, respectivamente. Ou seja, a aplicação de foliar de *A. brasilense* e AX+GA+CK amenizaram as perdas na produção das plantas.

A mitigação das perdas providas por parte da BPCV *A. brasilense* se dá devido aos fatores mencionados anteriormente, que levam a planta fechar seus estômatos de forma antecipada, mantendo taxa de assimilação líquida de CO_2 mais elevada na ocorrência da deficiência hídrica severa, evitando que a planta consuma reservas importantes para sua manutenção e não necessite abortar órgãos vegetais, principalmente folhas, tendo maior disponibilidade de fontes para a formação de grãos e posteriormente seu enchimento. A aplicação de *A. brasilense* também promove maior capacidade de translocação de fotoassimilados (Didonet et al., 2000), o que pode explicar as menores perdas causadas por esse tratamento.

Tabela 1. Fluorescência da clorofila em folhas de soja inoculadas com *A. brasilense* ou com aplicação de reguladores vegetais submetidas ao déficit hídrico no florescimento, Marechal Cândido Rondon, 2016/2017.

Tratamentos	Fo	Fm	Fv/Fm	Φ PSII	Fv'/Fm'	qP
Controle Irrigado	144,50±5,90	895,27±13,52	0,840±0,006	0,258±0,01 a	0,552±0,03	0,476±0,03 a
Controle Seco	151,26±5,25	901,01±16,82	0,832±0,004	0,116±0,04 b	0,427±0,01	0,272±0,09 b
<i>A. brasilense</i> semente	149,66±5,17	901,27±14,72	0,834±0,006	0,145±0,07 b	0,451±0,08	0,304±0,09 b
<i>A. brasilense</i> foliar	152,70±2,63	897,54±19,13	0,830±0,005	0,155±0,03 b	0,473±0,05	0,329±0,05 b
AX+GA+CK	146,37±4,85	899,86±20,39	0,837±0,004	0,138±0,06 b	0,442±0,06	0,302±0,08 b
CV (%)	3,93ns	2,03 ns	0,78 ns	34,09	13,84 ns	24,42

^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; ^{**} significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. \pm indicam o erro padrão da média para $n = 5$. Letras semelhante minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK), a 5% de probabilidade. Fo: fluorescência mínima; Fm: fluorescência máxima; Fv/Fm: máxima eficiência quântica do fotossistema; Φ PSII: eficiência quântica efetiva do PSII; Fv'/Fm': eficiência máxima do PSII; qP: coeficiente de extinção fotoquímico. AX+GA+CK: auxina, giberelina e citocinina.

Tabela 2. Componentes de produção e produtividade de plantas de soja inoculadas com *A. brasilense* ou com aplicação de reguladores vegetais submetidas ao déficit hídrico no florescimento, Marechal Cândido Rondon, 2016/2017.

Tratamentos	Nº de vagens	Nº grãos vagem	M100 (g)	Produção (g planta ⁻¹)
Controle Irrigado	62,00±5,25	2,74±0,13 a	14,66±1,31	20,84±0,84 a
Controle Seco	52,93±10,18	2,57±0,12 ab	13,54±2,66	14,93±0,78 c
<i>A. brasilense</i> semente	57,56±10,10	2,48±0,21 b	13,68±3,40	16,98±1,42 bc
<i>A. brasilense</i> foliar	58,31±7,08	2,66±0,13 ab	14,32±2,21	17,97±0,40 b
AX+GA+CK	54,31±8,09	2,72±0,12 a	13,62±0,88	17,79±0,71 b
CV (%)	15,12ns	5,96	6,45ns	12,29

^{ns} não significativo pelo teste F a 5% de probabilidade; ^{**} significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F. \pm indicam o erro padrão da média para $n = 5$. Letras semelhante minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK), a 5% de probabilidade. M100: massa de cem grãos. AX+GA+CK: auxina, giberelina e citocinina.

Tabela 3. Correlação entre trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* no momento do déficit hídrico severo e componentes de produção com a produção de plantas de soja sob diferentes tratamentos com diferentes tratamentos com bactérias promotoras de crescimento vegetal e regulador vegetal, Marechal Cândido Rondon, 2016/2017.

Valores de correlação de Pearson									
Variáveis	TRA	Ug	A	gs	E	WUE	Fc	Ci	Fo
Produção	0,776	0,838**	0,832**	0,846**	0,829**	-0,033	0,809**	0,015	-0,692
Valores de correlação de Pearson									
Variáveis	Fm	Fv/Fm	ΦPSII	Fv'/Fm'	qP	NVP	NGV	M100	
Produção	-0,887*	0,703	0,928*	0,924*	0,926*	0,879*	0,688	-0,121	

* e ** indicam significância de 5% e 10% respectivamente da correlação de Pearson pelo teste t. TRA: teor relativo de água; Ug: umidade gravimétrica do solo; A: taxa assimilação líquida de CO₂; : condutância estomática; E: transpiração; WUE: eficiência no uso da água; Fc: eficiência instantânea de carboxilação; Ci: concentração interna de CO₂; Fo: fluorescência mínima; Fm: fluorescência máxima; Fv/Fm: máxima eficiência quântica do fotossistema; ΦPSII: eficiência quântica efetiva do PSII; Fv'/Fm': eficiência máxima do PSII; qP: coeficiente de extinção fotoquímico; NVP: número de vagens por planta; NGV: número de grãos por vagem; M100: massa de cem grãos.

Embora a aplicação de regulador vegetal não tenha influenciado as trocas gasosas, o mesmo amenizou as perdas de produção provida pelo déficit hídrico. Estudo envolvendo reguladores vegetais aplicados via foliar, contudo sem a presença de deficiência hídrica, relata incrementos na produtividade da cultura da soja, sendo essa condição relacionada principalmente aos seguintes fatores produtivos: maior número de nós o que aumenta o número de racemos e consequentemente maior número de flores e vagens (Albrecht et al., 2011). Nesse sentido é citado incremento médio da aplicação de regulador vegetal via foliar de 23%, em relação a plantas testemunhas (Bertolin et al., 2010). Por sua vez, Moterle et al., (2008), inferiu que as condições ambientais adversas, são fundamentais para que os reguladores vegetais elevem sua eficácia, condição demonstrada no presente estudo.

Visto a produção por planta ser a variável agrônômica de maior interesse, foi determinado o coeficiente de correlação entre as variáveis avaliadas e a produção. Nesse sentido foram verificadas correlação positivas e significativas entre produção e umidade do solo, 'A', 'gs', 'E', 'Fc', ΦPSII, Fv'/Fm', qP e número de vagens por planta. Também se obteve correlação negativa significativa para Fm (Tabela 3).

As correlações obtidas evidenciam que o uso da aplicação foliar de *A. brasilense* eleva significativamente um parâmetro que se correlaciona diretamente com a manutenção da produção por planta, a taxa de assimilação líquida de CO₂. Nesse sentido são evidenciados que a manutenção de maior atividade fisiológica durante o déficit hídrico eleva os componentes de produção da soja (Catuchi et al., 2011).

Embora a 'WUE' seja uma variável de suma importância a mesma não se correlacionou significativamente com a produção por planta, essa condição pode ser explicada pois a soja naturalmente apresenta uma eficiência do uso da água baixa (Yu et al., 2004). A ausência de correlação significativa também pode ser explicada pois apenas a aplicação foliar de *A. brasilense* resultou em elevação na 'WUE' entre os tratamentos estudados.

Diante do exposto, considerando a fisiologia da soja o uso da aplicação de *A. brasilense* via foliar auxilia a planta de soja a tolerar o déficit hídrico minimizando a redução da taxa de assimilação líquida de CO₂ e eleva a eficiência na utilização da água durante a ocorrência da deficiência hídrica amenizando as perdas em produção por planta. Por sua vez, a aplicação foliar do regulador vegetal contendo AX+GA+CK embora não influenciaram nas

trocas gasosas da soja no momento das avaliações, também amenizam as perdas em produção por planta.

Conclusão

A aplicação foliar de *A. brasilense* interfere nas trocas gasosas da cultura da soja durante a ocorrência de deficiência hídrica severa no florescimento, enquanto a inoculação das sementes com *A. brasilense* e a aplicação de reguladores vegetais não interferiram de forma significativa nestas variáveis.

O uso da bactéria promotora de crescimento vegetal *A. brasilense* via foliar e a aplicação de reguladores vegetais auxina, giberelina e citocinina, amenizam as perdas em produção causadas pela ocorrência da deficiência hídrica no período de florescimento da soja.

Literatura Citada

- Albrecht, L.P.; Braccini, A.L.; Scapim, C.A.; Ávila, M.R.; Albrecht, A.P.; Ricci, T.T. Manejo de biorregulador nos componentes de produção e desempenho das plantas de soja. *Bioscience Journal*, v. 27, n. 6, p. 865-876, 2011. <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/7486>. 03 Mar. 2018.
- Arzanes, M.H.; Alikhani, H.A.; Khavazi, K.; Rahimian, H.A.; Miransari, M. Wheat (*Triticum aestivum* L.) growth enhancement by *Azospirillum* sp. under drought stress. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, v. 27, n. 2, p. 197-205, 2011. <https://doi.org/10.1007/s11274-010-0444-1>.
- Bano, Q.; Ilyas, N.; Bano, A.; Zafar, N.; Akram, A.; Hassan, F.U.L. Effect of *Azospirillum* inoculation on maize (*Zea mays* L.) under drought stress. *Pakistan Journal of Botany*, v. 45, n. 1, p. 13-20, 2013. [https://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/45\(S1\)/03.pdf](https://www.pakbs.org/pjbot/PDFs/45(S1)/03.pdf). 03 Mar. 2018.
- Bertolin, D.C.; Sá, M.E.; Arf, O.; Furlani Jr, E.; Colombo, A.S.; Carvalho, F.L.B.M. Aumento da produtividade de soja com a aplicação de bioestimulantes. *Bragantia*, v. 69, n. 2, p. 339-347, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000200011>.
- Bulegon, L.G.; Battistus, A.G.; Guimarães, V.F.; Inagaki, A.M.; Offemann, L.C.; Souza, A.K.P.; Oliveira, P.S.R. Physiological responses of *Urochloa ruziziensis* inoculated with *Azospirillum brasilense* to severe drought and rehydration conditions. *Australian Journal of Crop Science*, v. 11, n. 10, p. 1283-1289, 2017. <https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.10.pne577>.

- Bulegon, L.G.; Guimarães, V.F.; Laureth, J.C.U. *Azospirillum brasilense* affects the antioxidant activity and leaf pigment content of *Urochloa ruziziensis* under water stress. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 46, n. 3, p. 343-349, 2016. <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v46i41489>.
- Catuchi, T.A.; Vieira, F.; Guidorizzi, C.; Guidorizi, K.A. Respostas fisiológicas de cultivares de soja à adubação potássica sob diferentes regimes hídricos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, n. 4, p. 519-527, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000400007>.
- Catuchi, T.A.; Vitolo, H.F.; Bertolli, S.C.; Souza, G.M. Tolerance to water deficiency between two soybean cultivars: transgenic versus conventional. *Ciência Rural*, v. 41, n. 3, p. 373-378, 2011. <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v46i41489>.
- Chavarría, G.; Durigon, M.R.; Klein, V.A.; Kleber, H. Restrição fotossintética de plantas de soja sob variação de disponibilidade hídrica. *Ciência Rural*, v. 45, n. 8, p. 1387-1393, 2015. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140705>.
- Chaves, M.M.; Oliveira, M.M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. *Journal of Experimental Botany*, v. 55, n. 407, p. 2365-2384, 2004. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh269>.
- Cohen, A.C.; Bottini, R.; Pontin, M.; Berli, F.J.; Moreno, D.; Boccanlandro, H.; Travaglia, C.N.; Piccoli, P.N. *Azospirillum brasilense* ameliorates the response of *Arabidopsis thaliana* to drought mainly via enhancement of ABA levels. *Physiologia Plantarum*, v. 153, n. 1, p. 79-90, 2015. <https://doi.org/10.1111/ppl.12221>.
- Cohen, A.C.; Travaglia, C.N.; Bottini, R.; Piccoli, P.N. Participation of abscisic acid and gibberellins produced by endophytic *Azospirillum* in the alleviation of drought effects in maize. *Botany*, v. 87, n. 5, p. 455-462, 2009. <https://doi.org/10.1139/B09-023>.
- Colebrook et al., 2014
- Colebrook, E.H.; Thomas, S.G.; Phillips, A.L.; Hedden, P. The role of gibberellin signalling in plant responses to abiotic stress. *The Journal of Experimental Biology*, v. 217, n. 1, p. 67-75, 2014. <https://doi.org/10.1139/B09-023>.
- Didonet, A.D.; Lima, O.D.S.; Candaten, A.A.; Rodrigues, O. Realocação de nitrogênio e de biomassa para os grãos, em trigo submetido a inoculação de *Azospirillum*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 35, n. 2, p. 401-411, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000200019>.
- Dimkpa, C.; Weinand, T.; Asch, F. Plant - rhizobacteria interactions alleviate abiotic stress conditions. *Planta, Cell & Environment*, v. 32, n. 3, p. 1682-1694, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02028.x>.
- Farooq, M.; Gogoi, N.; Barthakur, S.; Baroowa, B.; Bharadwaj, N.; Alghamdi, S.S.; Siddique, K.H.M. Drought stress in grain legumes during reproduction and grain filling. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v. 203, n. 2, p. 1-22, 2016. <https://doi.org/10.1111/jac.12169>.
- Farooq, M.; Wahid, A.; Kobayashi, N.; Fujita, D.; Basra, S.M.A. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 29, n. 1, p. 185-212, 2009. <https://doi.org/10.1051/agro>.
- Fioreze, S.L.; Rodrigues, J.D.; Carneiro, J.P.C.; Silva, A.D.A.; Lima, M.B. Fisiologia e produção da soja tratada com cinetina e cálcio sob déficit hídrico e sombreamento. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 48, n. 11, p. 1432-1439, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2011000300015>.
- Flexas, J.; Bota, J.; Galme, J.; Medrano, H.; Ribas-Carbó, M. Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress. *Physiologia Plantarum*, v. 127, n. 1, p. 343-352, 2006a. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00621.x>.
- Flexas, J.; Bota, J.; Loreto, F.; Cornic, G.; Sharkey, T. D. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. *Plant Biology*, v. 6, n. 1, p. 269-279, 2004. <https://doi.org/10.1055/s-2004-820867>.
- Flexas, J.; Ribas-Carbó, M.; Bota, J.; Galmés, J.; Henkle, M.; Martínez-Cañellas, S.; Medrano, H. Decreased Rubisco activity during water stress is not induced by decreased relative water content but related to conditions of low stomatal conductance and chloroplast CO2 concentration. *New Phytologist*, v. 172, n. 1, p. 73-82, 2006b. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01794.x>.
- Garcia, N.F.S.; Arf, O.; Portugal, J.R.; Peres, A.R.; Rodrigues, M.; Penteado, M.S. Doses and application methods of *Azospirillum brasilense* in irrigated upland rice. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 20, n. 11, p. 990-995, 2016. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n11p990-995>.
- Gava, R.; Frizzzone, J.A.; Snyder, R.L.; Jose, J.V.; Fraga Jr, E.F.; Perboni, A. Estresse hídrico em diferentes fases da cultura da soja. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 9, n. 6, p. 349-359, 2015. <https://doi.org/10.7127/rbai.v9n600368>.
- Holopainen, J.K.; Gershenzon, J. Multiple stress factors and the emission of plant VOCs. *Trends in Plant Science*, v. 15, n. 3, p. 176-184, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.01.006>.
- Hossain, M. M.; Liu, X.; Qi, X.; Lam, H.M.; Zhang, J. Differences between soybean genotypes in physiological response to sequential soil drying and rewetting. *The Crop Journal*, v. 15, n. 5, p. 1-15, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2014.08.001>.
- Hui, Z.; Zhengbin, Z.; Hongbo, S.; Ping, X.; Foulkes, M.J. Genetic correlation and path analysis of transpiration efficiency for wheat flag leaves. *Environmental and Experimental Botany*, v. 64, n. 2, p. 128-134, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.11.001>.
- Kappes, C.; Silva, R.G.; Ferreira, V.E.N. Aplicação foliar de *Azospirillum brasilense* e doses de nitrogênio em cobertura no milho safrinha. *Scientia Agraria Paranaensis*, v. 16, n. 3, p. 366-373, 2017. <http://e-revista.unioeste.br/index.php/scientiaagraria/article/view/14550/11828>. 10 Mar. 2018.
- Maghsoudi, K.; Emam, Y.; Ashraf, M. Influence of foliar application of silicon on chlorophyll fluorescence, photosynthetic pigments, and growth in water-stressed wheat cultivars differing in drought tolerance. *Turkish Journal of Botany*, v. 39, n. 4, p. 625-634, 2015. <https://doi.org/10.3906/bot-1407-11>.
- Mattos, J.L.S.; Gomide, J.A.; Huaman, C.A.M. Effect of water deficit on the growth of *Brachiaria* species in greenhouse. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 34, n. 3, p. 746-754, 2005. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982005000300005>.

- Moterle, L.M.; Santos, R.F.; Braccini, A.L.; Scapim, C.A.; Barbosa, M.C. Efeito da aplicação de biorregulador no desempenho agrônômico e produtividade da soja. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 30, n. 5, p. 701-709, 2008. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v30i5.5971>.
- Ohashi, Y.; Nakayama, N.; Saneoka, H.; Fujita, K. Effects of drought stress on photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and stem diameter of soybean plants. *Biologia Plantarum*, v. 50, n. 1, p. 138-141, 2006. <https://doi.org/10.1007/s10535-005-0089-3>.
- Peres, L.E.P.; Zsögön, A.; Kerbauy, G.B. Abscisic acid and auxin accumulation in *Catsetum fimbriatum* roots growing in vitro with high sucrose and mannitol content. *Biologia Plantarum*, v. 53, n. 3, p. 560-564, 2009. <https://doi.org/10.1007/s10535-009-0101-4>.
- Perrig, D.; Boiero, M.L.; Masciarelli, O.A.; Penna, C.; Ruiz, O.A.; Cassán, F.D.; Luna, M.V. Plant-growth-promoting compounds produced by two agronomically important strains of *Azospirillum brasilense*, and implications for inoculant formulation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v. 75, n. 5, p. 1143-50, 2007. <https://doi.org/10.1007/s00253-007-0909-9>.
- Radwan, T.E.S.E.D.; Mohamed, Z.K.; Reis, V.M. Efeito da inoculação de *Azospirillum* e *Herbaspirillum* na produção de compostos indólicos em plântulas de milho e arroz. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, n. 10, p. 987-994, out. 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004001000006>.
- Sadeghipour, O.; Abbasi, S. Soybean response to drought and seed inoculation. *World Applied Sciences Journal*, v. 17, n. 1, p. 55-60, 2012. [http://www.idosi.org/wasj/wasj17\(1\)12/8.pdf](http://www.idosi.org/wasj/wasj17(1)12/8.pdf). 03 Mar. 2018.
- Schreiber, U.; Bilger, W.; Neubauer, C. Chlorophyll fluorescence as a noninvasive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis. In: Schulze, E.-D.; Caldwell, M. M. (Eds.). *Ecophysiology of photosynthesis*. Berlin: Springer-Verlag, 1995. p. 49-70. (Springer Study Edition, v. 100).
- Shangguan, Z.; Shao, M.; Dyckmans, J. Effects of nitrogen nutrition and water deficit on net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in winter wheat. *Journal of Plant Physiology*, v. 156, n. 1, p. 46-51, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(00\)80271-0](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(00)80271-0).
- Tardieu, F.; Parent, B.; Simonneau, T. Control of leaf growth by abscisic acid: hydraulic or non-hydraulic processes? *Plant, Cell & Environment*, v. 33, n. 4, p. 636-47, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02091.x>.
- Thameur, A.; Lachiheb, B.; Ferchichi, A. Drought effect on growth, gas exchange and yield, in two strains of local barley Ardhaoui, under water deficit conditions in southern Tunisia. *Journal of Environmental Management*, v. 113, n. 3, p. 495-500, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.05.026>.
- United States Department of Agriculture - USDA. World agricultural supply and demand estimates. Washington: USDA, 2017. 40p. (WASDE - 570). <https://downloads.usda.library.cornell.edu/usda-esmis/files/3t945q76s/tm70mv56x/08612n865/wasde-10-12-2017.pdf>. 05 Mar. 2018.
- Vurukonda, S.S.K.P.; Vardharajula, S.; Shrivastava, M.; Skz, A. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. *Microbiological Research*, v. 184, p. 13-24, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.12.003>.
- Werner, T.; Nehnevajova, E.; Köllmer, I.; Novák, O.; Strnad, M.; Krämer, U.; Schmölling, T. Root-specific reduction of cytokinin causes enhanced root growth, drought tolerance and leaf mineral enrichment in *Arabidopsis* and *Tobacco*. *The Plant Cell*, v. 22, n. 12, p. 1-17, 2010. <https://doi.org/10.1105/tpc.109.072694>.
- Xia, X.; Zhou, Y.; Shi, K.; Zhou, J.; Foyer, C.H.; Yu, J. Interplay between reactive oxygen species and hormones in the control of plant development and stress tolerance. *Journal of Experimental Botany*, v. 66, n. 10, p. 2839-2856, 2015. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv089>.
- Yu, G.R.; Wang, Q.F.; Zhuang, J. Modeling the water use efficiency of soybean and maize plants under environmental stresses: application of a synthetic model of photosynthesis-transpiration based on stomatal behavior. *Journal of Plant Physiology*, v. 161, n. 3, p. 303-318, 2004. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00972>.
- Zhou, Y.; Lambrides, C.J.; Fukai, S. Drought resistance of bermudagrass (*Cynodon* spp.) ecotypes collected from different climatic zones. *Environmental and Experimental Botany*, v. 85, n. 1, p. 22-29, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.07.008>.