

MILLER HENRIQUE FERREIRA

USO DE BIORREGULADORES EM FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.) CULTIVADO SOB DOIS REGIMES HÍDRICOS NO SOLO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa *Campus* de Rio Paranaíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

RIO PARANAÍBA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca da Universidade Federal
de Viçosa - Câmpus Rio Paranaíba**

T

F383u
2018

Ferreira, Miller Henrique, 1995-

Uso de biorreguladores em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*
L.) cultivado sob dois regimes hídricos no solo / Miller Henrique
Ferreira. – Rio Paranaíba, MG, 2018.
vi, 22f ; 29 cm.

Orientador: Willian Rodrigues Macedo.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 17-22.

1. Agricultura tropical. 2. Ácido abscísico. 3. Metil
Jasmonato. I. Universidade Federal de Viçosa. Instituto de
Ciências Agrárias. Mestrado em Agronomia-Produção Vegetal
(campus CRP). II. Título.

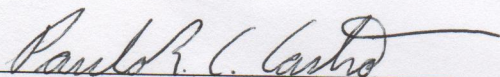
635.652

MILLER HENRIQUE FERREIRA

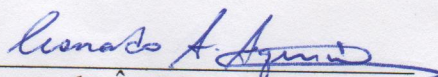
USO DE BIORREGULADORES EM FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.)
CULTIVADO SOB DOIS REGIMES HÍDRICOS NO SOLO

Dissertação apresentada à Universidade
Federal de Viçosa *Campus* de Rio
Paranaíba, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Agronomia – Produção Vegetal, para
obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 27 de Agosto de 2018.



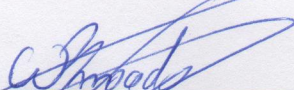
Paulo Roberto de Camargo e Castro



Leonardo Ângelo de Aquino



Luciano Bueno dos Reis



Willian Rodrigues Macedo
(Orientador)

A Deus pelas infinitas oportunidades.

A minha família, em especial minha mãe, pelo amor e apoio incondicional.

Ao querido professor Willian, por ser o melhor orientador que qualquer aluno poderia ter.

A todos que estiveram envolvidos direta ou indiretamente envolvidos neste trabalho.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus pelas infinitas oportunidades.

A minha família por todo o apoio, amor e dedicação durante todo esse tempo.

Ao professor Willian Rodrigues Macedo pela incansável atenção e dedicação.

Aos membros do grupo de pesquisa LAFIMEPRO por estarem presentes em todas as etapas de execução deste trabalho.

Aos membros da banca examinadora Paulo Castro, Luciano Bueno e Leonardo Aquino por se disporem a contribuir com o nosso trabalho.

A Universidade Federal de Viçosa – Campus de Rio Paranaíba e ao Programa de Pós – Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, pela oportunidade de realizar o curso de Mestrado.

A todos os amigos que auxiliaram nessa caminhada.

Aos grandes companheiros Bruno, Danilo e Paulo Henrique.

A cada um que fez parte deste trabalho de forma direta ou indireta.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos do autor desta dissertação.

A Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro a este projeto de pesquisa (processo: APQ-02110-15).

ÍNDICE

RESUMO.....	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	2
3. RESULTADOS	6
4. DISCUSSÃO	12
5. CONCLUSÕES	16
6. LITERATURA CITADA.....	17

RESUMO

FERREIRA, Miller Henrique, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa – *Campus* de Rio Paranaíba, agosto de 2018. **Uso de biorreguladores em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado sob dois regimes hídricos no solo.** Orientador: Willian Rodrigues Macedo.

Os biorreguladores são moléculas que podem promover o aumento da tolerância das plantas cultivadas a estresses bióticos e abióticos, bem como estimular seu desenvolvimento. O objetivo desse trabalho foi caracterizar alterações fisiológicas, bioquímicas e biométricas em plantas de feijão submetidas à aplicação foliar de ácido abscísico (ABA) e metil jasmonato (MeJA), sob diferentes regimes hídricos. Os tratamentos foram constituídos pela interação de dois fatores: biorreguladores e regime hídrico. Os biorreguladores foram compostos por controle (água), 5 μ M de ABA, 50 μ M de MeJA e 5 μ M de ABA + 50 μ M de MeJA, enquanto o fator regime hídrico foi composto por 60 e 80 % da capacidade de campo (CC). Os fatores em estudo resultaram em oito tratamentos combinados em esquema fatorial 4 x 2. Foi adotado o DIC com cinco repetições. Os dados foram submetidos à ANOVA e quando significativa utilizou-se o teste de Tukey a 5%. O tratamento ABA+MeJA incrementou a concentração de clorofila *b*, APX e CAT enquanto que a taxa fotossintética foi incrementada por essa mistura de biorreguladores no segundo dia de avaliação. ABA e MeJA proporcionaram maior taxa fotossintética ao feijoeiro no primeiro dia de avaliação das trocas gasosas. As variáveis biométricas somente foram influenciadas pelos regimes hídricos. A mistura de biorreguladores ABA+MeJA mostrou-se como alternativa para mitigação do estresse hídrico, pois incrementam a atividade das enzimas antioxidantes e melhoram as respostas de trocas gasosas em condição de menor disponibilidade hídrica. O fator nível de água sobrepõe o fator biorregulador na cultura do feijoeiro.

ABSTRACT

FERREIRA, Miller Henrique, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa – *Campus* de Rio Paranaíba, August, 2018. **Use of bioregulators in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivated under two soil water content.** Advisor: Willian Rodrigues Macedo.

Plant regulators are molecules that can increase the tolerance of cultivated plants to biotic and abiotic stresses, as well as stimulate their development. The objective of this work was to characterize physiological, biochemical and biometric changes in bean plants submitted to foliar application of abscisic acid (ABA) and methyl jasmonate (MeJA) under different water regimes. The treatments were constituted by the interaction of two factors: bioregulators and water regime. The bioregulators were composed by control (water), 5 μ M ABA, 50 μ M MeJA and 5 μ M ABA + 50 μ M MeJA, while the water regime factor was composed of 60 and 80% field capacity (FC). The factors under study resulted in eight treatments combined in a 4 x 2 factorial scheme, the experiment was conducted in completely randomized design (CRD) with five replicates. The data were submitted to ANOVA and when significant the Tukey test was used at 5%. The ABA + MeJA treatment increased the concentration of chlorophyll b, APX and CAT while the photosynthetic rate was increased by this mixture of bioregulators on the second day of evaluation. ABA and MeJA provided a higher photosynthetic rate to the bean in the first day of evaluation of the gas exchange. Biometric variables were only influenced by water regimes. The mixture of ABA + MeJA bioregulators has been shown to be an alternative for water stress mitigation, since they increase the activity of antioxidant enzymes and improve gas exchange responses in a condition of lower water availability. The water level factor overlaps the bioregulatory factor in the bean crop.

1. INTRODUÇÃO

Estima-se que até o ano de 2050 a produção de alimentos deverá ser aumentada em aproximadamente 70% para que se possa atender a futura demanda da população mundial. Isso leva a necessidade de buscar novas técnicas de manejo e tecnologias que proporcionem maior uso eficiente da água e fertilizantes, de processos produtivos para produção de alimentos e da redução dos impactos negativos que a agricultura causa ao ambiente (Grafton et al., 2015; Rahman, 2016).

Os biorreguladores são moléculas orgânicas produzidas naturalmente ou artificialmente, que promovem ou inibem o crescimento e desenvolvimento vegetal, atuando na divisão e crescimento celular, padrões de formação, florescimento, frutificação e formação de sementes (Giannakoula et al., 2012), podendo promover maiores rendimentos das plantas cultiváveis, através da amenização de estresses abióticos, assim como estimulando o desenvolvimento das plantas (Ratnakumar et al., 2016).

O ácido abscísico (ABA) apresenta um precursor biossintético em comum com a giberelina, citocinina e brassinoesteróide, o isopentenildifosfato (IPP) (Taiz e Zeiger, 2009). Nos vegetais o ABA tem papel importante como mediador dos mecanismos de defesa, promovendo tolerância a estresses induzidos por seca, salinidade, ozônio e baixa temperatura (Bari e Jones, 2009). O metil jasmonato (MeJA) e ácido jasmônico (AJ) são geralmente reconhecidos como jasmonatos, pertencem ao grupo das oxilipinas, as quais tem sua via biossintética a partir do ácido α -linolenico, via atividade de enzimas lipoxigenases (Wasternack, 2007). Nas plantas possuem importantes funções na regulação celular, participando ativamente da germinação de sementes, crescimento radicular, fertilidade das flores, amadurecimento de frutos e senescência da planta (Wasternack e Hause, 2002).

Informações importantes sobre o ABA e MeJA são fornecidas pela literatura, indicando que o uso dessas moléculas podem promover a eficiência de uso de água das plantas (Yang et al., 2016), aumento da concentração de enzimas antioxidantes (Soares et al., 2010; Choudhary et al., 2012), além de aumento da concentração de pigmentos foliares e carotenoides (Sankar et al., 2013). Portanto essas moléculas apresentam grande potencial de uso na redução dos efeitos danosos da deficiência hídrica nas plantas, podendo vir a se tornar uma tecnologia importante no aumento da produção de alimentos.

Especificamente para o feijoeiro tem sido reportado o uso da aplicação exógena do ABA e seu efeito na mitigação do estresse salino (Khadri et al., 2006), enquanto que o MeJA está envolvido em estudos de indução de respostas de defesa e tolerância à doenças em cultivos (Oliveira et al., 2015). No entanto são escassos os trabalhos que objetivam estudar o efeito desses dois biorreguladores em plantas de feijão cultivadas sob diferentes condições hídricas.

A cultura do feijão possui importante papel socioeconômico, por ser cultivada por pequenos e médios agricultores, além de apresentar suscetibilidade a estresses ambientais como a escassez ou excesso de água no solo (Silva e Wander, 2013). No Brasil, das três épocas de cultivo, duas estão sujeitas a condições de seca (Lanna et al., 2016), o que demonstra a relevância de estudos que permitam encontrar soluções que amenizem os impactos negativos da falta de água nas culturas.

O objetivo deste trabalho foi caracterizar alterações fisiológicas, bioquímicas e biométricas em plantas de feijão em função da aplicação foliar de ácido abscísico e metil jasmonato, submetidas a dois níveis de água no solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na área experimental da Universidade Federal de Viçosa *campus* de Rio Paranaíba. O solo utilizado no experimento foi um Latossolo vermelho amarelo muito argiloso com os seguintes resultados da análise química de solo: pH H₂O: 6,0; P (melich 1): 2 mg dm⁻³; P (rem): 3,5 mg l⁻¹; K: 0,03 cmolc dm⁻³; Ca: 2,2 cmolc dm⁻³; Mg: 0,4 cmolc dm⁻³; Al: 0,0 cmolc dm⁻³; H+Al: 3,7 cmolc dm⁻³; M.O: 32 g dm⁻³.

Os tratamentos foram compostos da combinação de dois fatores: Biorreguladores e regime hídrico. O fator biorreguladores foi composto por água (controle), 5 µM de ABA, 50 µM de MeJA e 5 µM de ABA + 50 µM de MeJA. O fator regime hídrico foi composto por 60 e 80 % da capacidade de campo (CC). Os fatores em estudo resultaram em oito tratamentos combinados em esquema fatorial 4 x 2. Foi adotado o DIC com cinco repetições.

A unidade experimental foi uma planta de feijoeiro por vaso de 5 dm³. O cultivar utilizado foi o Pérola. Os vasos foram preenchidos com solo adquirido da própria área experimental e adubado seguindo recomendação para a cultura,

posteriormente realizou-se o plantio de seis sementes por vaso, previamente tratadas com o inseticida thiamethoxam na dose de 250 ml por 100 kg de semente. Após a emergência foi efetuado o desbaste das plantas remanescentes mantendo uma por vaso, assim as plantas foram conduzidas após esse período irrigando os vasos uma vez por dia ao nível de 80% da capacidade de campo, até o estágio em que foram aplicados os tratamentos, quando as plantas se encontravam em estágio fenológico V4.

A determinação da capacidade de campo foi realizada em laboratório através do método descrito por Fernandes e Syke (1968).

2.2 Imposições dos tratamentos

Quando as plantas se encontravam no estágio de desenvolvimento V4, aos 33 dias após o plantio (DAP), foram impostos os oito tratamentos, descritos previamente, com aferições diárias para manutenção dos níveis de água durante oito dias. 30 horas após a aplicação dos tratamentos, foi realizada reaplicação dos biorreguladores. No dia de imposição dos tratamentos a temperatura no momento da aplicação era de 25° C e na reaplicação 27° C.

Os biorreguladores foram diluídos em solução aquosa, com adição de 0,1% do espalhante adesivo Break-Thru (copolímero poliéter-polimetil siloxano). A aplicação se deu via pulverizador manual, de capacidade de 1L e pressão máxima de 300 kPa, sendo as plantas aspergidas até o ponto de escorrimento superficial.

Para evitar deriva dos biorreguladores, a pulverização das plantas foi realizada individualmente, em local isolado e distante das demais plantas. Os vasos foram pesados diariamente, em balança eletrônica, e irrigados para manutenção dos regimes hídricos estabelecidos. Adicionalmente, plantas de feijoeiro foram cultivadas em vasos a parte para que em cada dia de pesagem pudesse ser descontado o peso de uma planta.

2.3 Análises bioquímicas

Aos oito dias após a primeira imposição dos tratamentos foi coletada uma folha por planta, padronizando a escolha das folhas do terço médio, e as acondicionando em tubos cônicos para centrifugação (Falcon[®]), posteriormente foram dispostos em caixa de isopor contendo gelo, e levadas imediatamente para o laboratório para realização de análises bioquímicas.

Em laboratório, as folhas foram maceradas em nitrogênio líquido, com auxílio de almofariz e pistilo, para obtenção do extrato vegetal que foi utilizado nas seguintes

análises de: proteína total solúvel (PTS), atividade de superóxido dismutase (SOD, EC 1.15.1.1), atividade de ascorbato peroxidase (APX, EC: 1.11.1.11) e atividade de catalase (CAT, EC 1.11.1.6).

O método utilizado para a determinação dos teores de proteínas totais solúveis (PTS) foliares foi a descrita por Bradford (1976). A reação foi preparada com 20 µL do extrato proteico, somado a 3,0 mL de reagente de Bradford, pronto para uso (LGC Biotecnologia, Cotia, SP, Brasil). A leitura foi realizada em espectrofotômetro a 595 nm, e a concentração de PTS calculada a partir da curva padrão preparada com albumina de soro bovino (BSA). Os resultados obtidos foram expressos em mg de proteína por g⁻¹ de matéria fresca.

A atividade da SOD foi determinada pela adição de 50 µL do extrato proteico em uma solução contendo 23 mM de metionina, 75 µM de p-nitroblue tetrazolium (NBT), 100 nM EDTA e 2 µM de riboflavina em 50 mM de tampão fosfato de sódio a pH 7,8. A reação ocorreu em câmara sob iluminação controlada, encerrada internamente com papel alumínio e mantida a 25 °C. A reação tem início com o acendimento da lâmpada e finalizada 5 minutos depois, com o desligamento da mesma. A redução do NBT foi determinada através de leituras em espectrofotômetro no comprimento de onda de 560 nm. O branco apresenta a mesma composição, porém foi mantido no escuro. Uma unidade enzimática (U) da atividade da superóxido dismutase definida como a quantidade de enzima capaz de inibir 50% da fotoinibição nitroblue tetrazolium, em espectrofotômetro sob comprimento de onda de 560 nm. Os resultados foram expressos em U min⁻¹ mg⁻¹ de proteína (Beauchamp e Fridovich, 1971; Giannopolitis e Ries, 1977).

A atividade de APX foi determinada conforme o método descrito por Nakano e Asada (1981). A mistura da reação foi constituída de tampão fosfato de potássio 80 mM pH 7,0; ascorbato (5mM); EDTA (1mM); H₂O₂ (1mM) e extrato vegetal. A atividade foi determinada pela degradação do peróxido de hidrogênio durante um minuto, por alterações na absorbância a 290 nm. A mistura de reação contendo tampão fosfato, ascorbato e EDTA permaneceu em banho-maria a 30 °C e o peróxido de hidrogênio foi adicionado somente no início da leitura em espectrofotômetro. Os resultados foram expressos em µmol APX min⁻¹ mg⁻¹ proteína.

A atividade de CAT foi determinada pela adição de 100 µL do extrato proteico, em 2,9 mL de uma solução contendo 12,5 mM H₂O₂ e 50mM de tampão fosfato de potássio, em pH 7,0, com medições na diminuição da absorbância a 240 nm, em

espectrofotômetro, a 30°C. A atividade da enzima foi calculada através do coeficiente de extinção molar de $36 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$. Os resultados foram expressos em $\mu\text{mol CAT min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ proteína (Havir e McHale, 1987; Anderson et al., 1995).

2.4 Análise de pigmentos foliares

Essa análise seguiu o método de extração com uso de solvente (80% acetona), modificado de acordo com Macedo et al. (2013), sem o processo de maceração dos tecidos vegetais. No oitavo dia após a aplicação dos tratamentos, o material para realização dessa análise foi coletado, seguindo o mesmo padrão de escolha das amostras das análises bioquímicas.

A leitura foi feita em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de: 470, 645, e 663 nm para as clorofilas *a*, *b* e total (Witham et al., 1971), e de 470 nm para os carotenóides (Lichtenthaler e Wellburn, 1983). As leituras foram aplicadas nas seguintes fórmulas:

$$\begin{aligned} & \left(\frac{A_{645} - 0,10 A_{663}}{2,26} \right) \times \frac{1000}{P} \times V \\ & \left(\frac{A_{645} - 0,10 A_{663}}{2,26} \right) \times \frac{1000}{P} \times V \\ & \left(\frac{A_{645} - 0,10 A_{663}}{2,26} \right) \times \frac{1000}{P} \times V \\ & \frac{A_{470}}{2,26} \times \frac{1000}{P} \times V \end{aligned}$$

Onde: P = massa da amostra e V = volume do extrator.

Os resultados foram expressos em miligrama do pigmento por grama de peso fresco de tecido foliar (mg g^{-1}).

2.5 Análises biométricas

Foi mensurada a altura de plantas (AP, cm) e número de botões florais (BF, Planta^{-1}) no quinto dia após o início da imposição dos tratamentos. A altura de planta foi realizada com auxílio de trena milimetrada (cm).

2.6 Análises de trocas gasosas

As análises fotossintéticas consistiram de: taxa fotossintética (*A*, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); condutância estomática (*gs*, $\text{mol m}^{-1} \text{ s}^{-1}$), transpiração (*E*, $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração intracelular de CO_2 (*Ci*, $\mu\text{mol mol}^{-1}$) e uso eficiente de água (*A/E*). Os

horários de análise foram fixados entre 8:30 e 11:30 horas, sob radiação fotossinteticamente ativa de $1200 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, com auxílio de um analisador de gás infravermelho (IRGA) modelo LI-6400XT (LI-COR, Lincoln, Nebraska, USA), acoplado a uma fonte luminosa artificial (6400-02B, LI-COR Biosciences, USA). Foram realizadas duas análises, a primeira 24 h após a imposição dos tratamentos e a segunda 12 horas após a reaplicação dos tratamentos.

2.7 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise estatística com verificação das condições de normalidade e homocedasticidade dos dados. Quando atendidas as pressuposições da ANOVA e esta se mostrou significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%. O programa utilizado foi o software R versão 3.3.1. Foram utilizadas três repetições (n=3) para os dados de enzimas antioxidantes e quatro repetições (n=4) para os dados de trocas gasosas.

3. RESULTADOS

Tendo em vista o efeito dos fatores analisados sobre as plantas de feijoeiro, não observamos efeitos deletérios promovidos pelo uso dos biorreguladores ou pela restrição hídrica às plantas para o conteúdo de pigmentos fotossintetizantes: clorofila *a*, clorofila total e carotenoides (Tabela 1).

Tabela 1. Conteúdo de clorofila *a*, clorofila total e carotenoides (mg g^{-1}) em plantas de feijão tratadas com biorreguladores em dois níveis de água no solo.

Biorreguladores	Clorofila <i>a</i>	Clorofila total	Carotenoides
Controle	1,86 ($\pm 0,2$) a	2,82 ($\pm 0,1$) a	0,06 ($\pm 0,005$) a
ABA	1,78 ($\pm 0,2$) a	2,44 ($\pm 0,2$) a	0,06 ($\pm 0,004$) a
MeJA	1,84 ($\pm 0,1$) a	2,48 ($\pm 0,1$) a	0,06 ($\pm 0,003$) a
ABA+MeJA	1,68 ($\pm 0,2$) a	2,67 ($\pm 0,1$) a	0,06 ($\pm 0,006$) a
Nível de Água no Solo	Clorofila <i>a</i>	Clorofila Total	Carotenóides
60%	1,68 ($\pm 0,1$) a	2,47 ($\pm 0,1$) a	0,06 ($\pm 0,003$) a
80%	1,90 ($\pm 0,1$) a	2,74 ($\pm 0,1$) a	0,07 ($\pm 0,004$) a
CV(%)	30,9	17,1	21,9

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. n= 5 ($\pm$ erro padrão da média).

Em contrapartida observamos que houve interação significativa entre os biorreguladores e o nível de água no solo para a variável clorofila *b*, o tratamento ABA+MeJA, ao nível de 60% da CC, promoveu incrementos no conteúdo deste pigmento, e entre os níveis de água no solo o tratamento com 5,0 μM de ABA em plantas sob condição de estresse reduziu o conteúdo de clorofila *b* (Tabela 2).

Tabela 2. Clorofila *b* (mg g^{-1}) em plantas de feijão tratadas com biorreguladores em dois níveis de água no solo.

Biorreguladores	Nível de Água	
	60%	80%
Controle	0,64 ($\pm 0,07$) bA	0,84 ($\pm 0,10$) aA
ABA	0,55 ($\pm 0,04$) bB	0,77 ($\pm 0,06$) aA
MeJA	0,56 ($\pm 0,03$) bA	0,70 ($\pm 0,04$) aA
ABA+MeJA	0,93 ($\pm 0,09$) aA	0,85 ($\pm 0,09$) aA
CV(%)	21,2	

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna ou maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. $n = 5$ ($\pm$ erro padrão da média).

Em relação ao estudo das enzimas antioxidantes e PTS, foi observada interação significativa entre os fatores em estudo somente para a enzima SOD, e ao analisar a interação, somente o controle apresentou aumento da concentração dessa enzima na condição de maior disponibilidade de água (Tabela 3).

Tabela 3. Concentração da enzima Superóxido dismutase (SOD, $\text{U min}^{-1} \text{mg}^{-1}$ de proteína) em plantas de feijão tratadas com biorreguladores em dois níveis de água no solo.

Biorreguladores	Nível de Água	
	60%	80%
Controle	2,8 ($\pm 0,28$) aB	5,2 ($\pm 0,47$) aA
ABA	3,1 ($\pm 0,75$) aA	3,0 ($\pm 0,48$) aA
MeJA	4,6 ($\pm 1,44$) aA	2,7 ($\pm 0,80$) aA
ABA+MeJA	2,8 ($\pm 0,94$) aA	3,9 ($\pm 0,38$) aA
CV(%)	39,93	

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna ou maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. $n = 3$ ($\pm$ erro padrão da média).

Ao analisar o efeito isolado de cada nível dos fatores em estudo para APX e CAT verificamos que o tratamento ABA+MeJA incrementou a concentração dessas duas enzimas, e ainda para a APX os níveis de água no solo apresentaram diferença, sendo que a concentração dessa enzima foi reduzida em 28,5 % na condição de 80 % da

CC (Tabela 4). Ainda, nenhum dos níveis dos fatores em estudo promoveu alteração na concentração de PTS (Tabela 4).

Tabela 4. Concentração de Proteínas totais solúveis (PTS, mg g⁻¹ MF), Ascorbato peroxidase (APX, μmol APX min⁻¹ mg⁻¹ proteína) e Catalase (CAT, μmol CAT min⁻¹ mg⁻¹ proteína) em plantas de feijão tratadas com bio reguladores em dois níveis de água no solo.

Biorreguladores	PTS	APX	CAT
Controle	26,1 (±0,7) a	0,35 (±0,09) b	161,1 (±15,8) ab
ABA	27,2 (±0,7) a	0,49 (±0,10) b	194,9 (±36,6) ab
MeJA	26,5 (±1,0) a	0,49 (±0,01) b	98,4 (±26,2) b
ABA+MeJA	23,7 (±1,2) a	0,85 (±0,09) a	237,2 (±47,1) a
Nível de Água no Solo	PTS	APX	CAT
60%	26,5 (±0,5) a	0,63 (±0,07) a	157,1 (±19,9) a
80%	25,2 (±0,9) a	0,45 (±0,07) b	188,8 (±32,4) a
CV(%)	10,5	29	41,9

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. n= 3 (±erro padrão da média).

Analisando as trocas gasosas das plantas de feijoeiro, observamos que para a avaliação de A, ocorreu interação significativa dos fatores em estudo nos dois dias de avaliação, não sendo observadas diferenças entre os biorreguladores na condição de 80 % da CC em nenhuma das duas análises (Tabela 5). Na condição de menor disponibilidade hídrica os tratamentos MeJA e ABA incrementaram a taxa fotossintética das plantas de feijoeiro no primeiro dia de avaliação e o tratamento ABA+MeJA no segundo (Tabela 5).

Tabela 5. Taxa fotossintética (A, μmol m⁻² s⁻¹) em plantas de feijão tratadas com biorreguladores em dois níveis de água no solo.

Biorreguladores	1ª Avaliação		2ª Avaliação	
	Nível de Água			
	60%	80%	60%	80%
Controle	9,7 (±1,1) cB	19,4 (±0,9) aA	10,9 (±1,4) abA	12,0 (±2,3) aA
ABA	16,7 (±1,8) abA	13,7 (±2,4) aA	12,6 (±2,1) abA	13,6 (±0,8) aA
MeJA	21,3 (±2,0) aA	17,7 (±1,4) aA	7,8 (±0,3) bA	7,8 (±2,6) aA
ABA+MeJA	12,7 (±2,4) bcA	15,6 (±2,4) aA	18,2 (±1,7) aA	7,8 (±1,2) aB
CV(%)	24,22		36,2	

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna ou maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. n= 4 (±erro padrão da média).

Os biorreguladores não apresentaram influência em *gs* na condição de menor disponibilidade hídrica, no entanto o controle apresentou aumento de 60 % da *gs* quando comparado o nível de maior com o de menor nível de água no solo, sendo observado o contrário para o ABA, que apresentou redução de 40 % na *gs* realizando a mesma comparação (Tabela 6). Ainda, no nível de maior disponibilidade hídrica os biorreguladores MeJA e ABA promoveram redução da *gs* (Tabela 6). No primeiro dia de avaliação nem os tratamentos nem a interação dos fatores foram significativas (Tabela 6).

Tabela 6. Condutância estomática (*gs*, mol m⁻¹ s⁻¹) em plantas de feijão tratadas com biorreguladores em dois níveis de água no solo.

Biorreguladores	2ª Avaliação	
	Nível de Água	
	60%	80%
Controle	0,12 (±0,02) aB	0,30 (±0,03) aA
ABA	0,2 (±0,01) aA	0,12 (±0,01) bcB
MeJA	0,15 (±0,03) aA	0,10 (±0,01) cA
ABA+MeJA	0,17 (±0,04) aA	0,20 (±0,02) abA
CV(%)	29,6	

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna ou maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. n= 4 (±erro padrão da média).

Os dados da concentração interna de CO₂ do primeiro dia de avaliação das trocas gasosas apresentaram interação significativa entre hormônio e nível de água, sendo que sob condições de melhor disponibilidade hídrica não observamos diferenças no fator biorreguladores (Tabela 7). Os tratamentos MeJA e ABA promoveram redução da *Ci* na condição de 60 % da CC e ainda quando comparados os níveis de água no solo, o controle e o tratamento ABA+MeJA apresentaram maior *Ci* nessa mesma disponibilidade hídrica. Em contrapartida no segundo dia de avaliação somente as diferentes disponibilidades hídricas no solo influenciaram a variável *Ci*, que apresentou incremento de 35,9 % na condição de melhor disponibilidade hídrica quando comparada a de menor água disponível no solo (Tabela 7).

Tabela 7. Concentração interna de gás carbônico (C_i , Pa) em plantas de feijão tratadas com bioreguladores em dois níveis de água no solo

1ª Avaliação		
Biorreguladores	Nível de Água	
	60%	80%
Controle	35,4 (±0,9) aA	28,0 (±1,0) aB
ABA	31,0 (±2,5) abA	28,5 (±2,1) aA
MeJA	24,7 (±0,8) bA	26,7 (±1,1) aA
ABA+MeJA	33,9 (±2,2) aA	25,0 (±1,6) aB
CV(%)	12,8	
2ª Avaliação		
Biorreguladores	Ci	
Controle	22,7 (±2,0) a	
ABA	26,1 (±3,6) a	
MeJA	25,5 (±1,2) a	
ABA+MeJA	31,6 (±3,5) a	
Nível de Água no Solo	Ci	
60%	20,7 (±1,4) b	
80%	32,3 (±3,7) a	
CV(%)	40,5	

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna ou maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. n= 4 ($\pm$ erro padrão da média).

Estudando a transpiração das plantas de feijoeiro nenhuma diferença foi promovida na variável E no primeiro dia de avaliação, enquanto que na segunda avaliação das trocas gasosas foi observada interação entre Biorregulador e nível de água no solo, no entanto somente o controle aumentou a transpiração das plantas à medida que se elevou o nível de água no solo (Tabela 8).

Tabela 8. Transpiração (E , mol H_2O m⁻² s⁻¹) em plantas de feijão tratadas com bioreguladores em dois níveis de água no solo

2ª Avaliação		
Biorreguladores	Nível de Água	
	60%	80%
Controle	2,0 ($\pm 0,4$) aB	5,0 ($\pm 1,8$) aA
ABA	4,8 ($\pm 0,4$) aA	2,3 ($\pm 0,8$) aA
MeJA	4,3 ($\pm 0,7$) aA	3,0 ($\pm 0,7$) aA
ABA+MeJA	4,1 ($\pm 1,1$) aA	4,0 ($\pm 0,8$) aA
CV(%)	50,5	

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna ou maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. n= 4 ($\pm$ erro padrão da média).

Por fim, analisando a influência dos biorreguladores e dos níveis de água no solo no *A/E* foram observadas interações significativas entre os fatores em estudo em ambos os dias de análise (Tabela 9). Os biorreguladores não promoveram nenhum efeito no *A/E* na condição de melhor nível de água no solo em nenhuma das duas avaliações. No entanto os tratamentos MeJA e ABA no primeiro dia de análise, assim como o ABA+MeJA no segundo, promoveram o incremento da variável *A/E* na condição de 60% da CC. Além disso, o tratamento ABA+MeJA apresentou maior *A/E* no melhor nível de água no solo na primeira avaliação, sendo o contrário para a segunda análise, onde o controle e ABA+MeJA apresentaram essa resposta na condição de 60 % da CC (Tabela 9).

Tabela 9. Eficiência do uso de água (*A/E*) em plantas de feijão tratadas com biorreguladores em dois níveis de água no solo

Biorreguladores	1ª Avaliação		2ª Avaliação	
	Nível de Água			
	60%	80%	60%	80%
Controle	2,4 (±0,3) bA	3,8 (±0,3) aA	5,9 (±0,7) aA	2,4 (±1,1) aB
ABA	3,4 (±0,6) abA	3,8 (±0,6) aA	2,8 (±1,1) bcA	4,1 (±2,8) aA
MeJA	4,8 (±0,3) aA	4,0 (±0,4) aA	2,0 (±0,4) cA	2,5 (±0,4) aA
ABA+MeJA	2,6 (±0,5) bB	4,9 (±1,0) aA	5,0 (±0,7) abA	2,1 (±0,3) aB
CV(%)	29,2		35,4	

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna ou maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. n= 4 ($\pm$ erro padrão da média).

Os biorreguladores e os níveis de água no solo não apresentaram interação significativa em nenhuma das variáveis biométricas estudadas, no entanto avaliando-se o desdobramento para cada nível dos fatores separadamente, as variáveis AP e BF Planta⁻¹ apresentaram diferença entre as duas disponibilidades hídricas, em que à medida que se aumentava a disponibilidade hídrica as duas variáveis também aumentavam. Esse aumento foi de 11,7% e 35%, para AP e BF Planta⁻¹ respectivamente (Tabela 10).

As plantas que receberam o tratamento ABA+MeJA apresentaram sintomas de fitotoxidez após a imposição dos tratamentos e desapareceram ao longo dos oito dias de duração da diferenciação de níveis de água no solo e primeira aplicação dos biorreguladores.

Tabela 10. Avaliação da altura de plantas (AP) e número de botões florais por planta (BF) em plantas de feijão tratadas com biorreguladores em dois níveis de água no solo

Biorreguladores	AP (cm)	BF (Planta ⁻¹)
Controle	44,2 (±1,8) a	7,4 (±1,0) a
ABA	45,2 (±1,8) a	7,4 (±0,9) a
MeJA	49,3 (±1,9) a	8,7 (±0,8) a
ABA+MeJA	50,5 (±4,0) a	7,6 (±0,8) a
Nível de Água no Solo	AP (cm)	BF (Planta ⁻¹)
60%	44,35 (±1,4) b	6,1 (±0,4) b
80%	50,25 (±2,0) a	9,45 (±0,6) a
CV(%)	16,5	28,6

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. n= 5 (±erro padrão da média).

4. DISCUSSÃO

Os pigmentos fotossintéticos podem ser afetados negativamente por estresses como o hídrico (Jaleel et al., 2009), assim são bons indicadores do desenvolvimento adequado das plantas (Pavlović et al., 2014). Não observamos efeitos deletérios nos pigmentos clorofila *a* ou carotenóides sugerindo que a condição de 60% da CC pode não ser uma condição drástica para a cultura do feijoeiro.

A clorofila *b* é produzida através de uma reação de oxidação do grupo metil da clorofila *a* e está envolvida no processo de captação de luz pela planta (Taiz e Zeiger, 2009). O tratamento ABA+MeJA foi capaz de incrementar essa variável, é relatado na literatura que ambos os carotenóides, clorofilas e o ABA são derivados da via MEP, assim o ABA possui a capacidade de interferir na concentração destas moléculas no tecido foliar (Barickman et al., 2014). Além disso o MeJA é capaz de realizar uma cascata de reações envolvidas com a senescência foliar onde o gene CCGS está envolvido com a síntese de clorofilas (Huang et al., 2017). Portanto estas informações seriam uma possível explicação do porque essa mistura de biorreguladores foi capaz de interferir na concentração de clorofila *b*.

O comportamento da enzima SOD nesse trabalho (Tabela 3) indica que mais mecanismos de defesa poderiam estar atuando na eliminação de superóxido (O₂^{•-}), substrato da enzima SOD, uma vez que essa enzima é considerada a primeira linha de defesa antioxidante das plantas (Gill et al., 2015). Mecanismos de defesa não enzimáticos também possuem capacidade de eliminar a espécie reativa de oxigênio (ERO) superóxido (Das e Roychoudhury, 2014).

Por outro lado, como as enzimas APX e CAT estão ambas envolvidas na eliminação do peróxido de hidrogênio, a primeira convertendo essa ERO em duas moléculas de água e a segunda em água mais oxigênio molecular, tiveram suas concentrações aumentadas devido ao aumento do substrato peróxido de hidrogênio (Caverzan et al., 2012; Barbosa et al., 2014). Tendo em vista que o tratamento que promoveu suas maiores concentrações foi o ABA+MeJA, essa resposta pode estar relacionada a capacidade que tanto o ABA como o MeJA possuem de aumentar a concentração dessas enzimas (Soares et al., 2010; Choudhary et al., 2012).

Diversos trabalhos na literatura reportam que o metil jasmonato diminuiu a taxa fotossintética das plantas quando aplicado externamente (Janoudi e Flore, 2003; Anjum et al., 2011), evidenciando o efeito inibitório desta molécula sobre processos fisiológicos das plantas (Giannakoula et al., 2012). No entanto nossos resultados demonstraram que o tratamento com MeJA atingiu as maiores taxas fotossintéticas na primeira avaliação (Tabela 5), resultados que corroboram com pesquisa de Ma et al. (2014) que avaliaram a aplicação de 25 μM de MeJA em plantas de trigo constatou que este biorregulador ameniza o declínio da fotossíntese pela imposição do déficit hídrico, levando a um leve fechamento estomático para a manutenção do equilíbrio hídrico.

Ahmad et al (2016) apontam que aplicação externa dos jasmonatos nas plantas, em condições de estresse, são influenciadas pela concentração utilizada, estágio fenológico de aplicação e espécie utilizada no estudo. Uma vez que com a reaplicação dos biorreguladores a dose pulverizada somava então 100 μM (duas aplicações de 50 μM cada) e o MeJA foi o tratamento que apresentou a menor taxa fotossintética na segunda avaliação (Tabela 5), sugerindo que essas respostas estariam relacionadas com o efeito das doses proporcionadas pelas duas aplicações de biorreguladores.

Considerando que o tratamento ABA não diferiu do MeJA na primeira avaliação (Tabela 5), McLaren e Smith (1976) estudando o efeito da aplicação externa de ácido abscísico em *Limna minor* L. reportaram que nos primeiros dois dias após a aplicação externa de ácido abscísico houve aumento da taxa fotossintética e após declínio da mesma, esses autores relatam que essa é uma resposta complexa de ser explicada, mas que provavelmente está envolvida com a acumulação de carboidratos na planta.

Anjum et al (2011) estudando o efeito da aplicação externa de metil jasmonato em soja sob déficit hídrico no estágio de florescimento, encontrou que o tratamento que continha a condição de menor disponibilidade de água e a aplicação externa de metil jasmonato, diminuiu a A em 11,3%. Até mesmo no tratamento que continha o metil

jasmonato nas plantas com disponibilidade adequada de água, A também teve uma ligeira diminuição de 4,2%. Esse autor atribui esse resultado à influência que o metil jasmonato apresenta no fechamento estomático, com consequente menor aporte das moléculas de CO₂, que por sua vez provoca diminuição da taxa fotossintética. O mesmo fenômeno foi observado para o tratamento MeJA no segundo dia de avaliação das trocas gasosas (Tabela 5).

O ABA e o MeJA são duas moléculas que possuem forte influência no fechamento estomático (Suhita et al., 2003), sendo este fenômeno muito bem reportado na literatura (Janoudi e Flore, 2003; Anjum et al., 2011; Kobayakawa e Imai, 2012), até mesmo em condições de boa disponibilidade hídrica a condutância estomática pode ser afetada pelo metil jasmonato, uma vez que este biorregulador diminuiu essa variável em 7,56% nessas condições (Anjum et al., 2011). Os menores valores no nível de maior disponibilidade hídrica promovidos pelos tratamentos MeJA e ABA no segundo dia de avaliação (Tabela 6), provavelmente estão relacionados as informações discutidas acima.

Silva et al. (2015) trabalhando com diferentes lâminas de irrigação e sua influência nas trocas gasosas encontrou relação linear entre aumento da disponibilidade hídrica e aumento da concentração interna de CO₂. Esse comportamento foi observado na segunda avaliação das trocas gasosas (Tabela 7), uma vez que as plantas quando colocadas em melhores condições hídricas aumentam a condutância estomática e por consequência o aporte de CO₂ (Oliveira et al., 2005). Uma possível explicação para a redução de *C_i* causada pelos tratamentos MeJA e ABA na primeira avaliação (Tabela 7) é o envolvimento do metil jasmonato e do ácido abscísico no fechamento estomático, que leva ao menor aporte de moléculas de CO₂ (Suhita et al., 2003).

A transpiração das plantas diminui quando estas são submetidas a situações com menor disponibilidade de água ou que caracterizam um ambiente de estresse hídrico (Ohashi et al., 2006). Os resultados deste trabalho para a variável transpiração na segunda avaliação das trocas gasosas (Tabela 8) refletem exatamente a resposta discutida acima, no menor nível de água no solo, uma vez que o controle apresentou este comportamento quando submetido à condição de menor disponibilidade hídrica.

Devido aos tratamentos não apresentarem diferença para a variável *E* e o tratamento com MeJA ter atingido o maior valor de *A*, o tratamento MeJA alcançou o melhor resultado de *A/E* na primeira avaliação, isso significa que a planta está perdendo menos moléculas de água por molécula de CO₂ aportada (Webber et al., 2006). Uma

interessante resposta das plantas é aumentar a eficiência do uso da água quando submetidas ao estresse hídrico (Zhao et al., 2017), essa resposta foi observada na segunda avaliação para o tratamento controle (Tabela 9).

Considerando as variáveis biométricas do estudo, a altura de plantas adequada no feijoeiro é de extrema importância, pois interfere diretamente na altura de inserção da primeira vagem e no acamamento das plantas, que por sua vez interferem na produtividade final (Horn et al., 2000). Desta forma, é importante que as plantas possuam disponibilidade adequada de água para atingir uma altura final que promova os benefícios na produtividade que essa característica pode proporcionar.

Barnabás et al (2009) comentam que o estresse hídrico afeta drasticamente os processos de reprodução em grandes culturas, e os danos causados impedem que elevados níveis de fixação floral sejam atingidos. Este trabalho reflete essa informação, pois onde havia melhor disponibilidade de água para as plantas (80% da capacidade de campo) contabilizaram-se o maior número de botões florais (Tabela 10).

Os biorreguladores, em geral, não proporcionaram respostas na condição de melhor disponibilidade hídrica. É possível que essas observações tenham ocorrido pelo fato dos biorreguladores ácido abscísico e metil jasmonato estarem envolvidos com distintas respostas a estresses nas plantas (Ahmad et al., 2016; Sha et al., 2016), sugerindo que a condição de 80% da capacidade de campo é uma condição de disponibilidade hídrica adequada para o feijoeiro.

5. CONCLUSÕES

O ABA e o MeJA aumentam a taxa fotossintética das plantas em condição de menor disponibilidade hídrica.

A mistura de biorreguladores, ABA+MeJA pode ser uma alternativa viável para a mitigação do estresse hídrico em feijoeiro.

O nível de água no solo é fator predominante para o proeminente desenvolvimento da cultura, mostrando-se extremamente limitante para a cultura do feijoeiro.

6. LITERATURA CITADA

AHMAD, P.; RASOOL, S.; GUL, A.; SHEIKH, S.; AKRAM, N. A.; ASHRAF, M.; KAZI, A. M.; GUCEL, S. Jasmonates: Multifunctional Roles in Stress Tolerance. **Frontiers in Plant Science**. v. 7, Article 813, 2016.

ANDERSON, M.D.; PRASAD, T.K.; STEWART, T.R. Changes in isozyme profiles of catalase, peroxidase, and glutathione reductase during acclimation to chilling in mesocotyl of maize seedlings. **Plant Physiology**, v.109, p.1247-1257, 1995.

ANJUM, S. A.; XIE, X.; FAROOQ, M.; WANG, L. C.; XUE, L. L.; SHAHBAZ, M.; SALHAB, J. Effect of exogenous methyl jasmonate on growth, gas exchange and chlorophyll contents of soybean subjected to drought. **African Journal of Biotechnology**. v. 10, p. 9640-9646, 2011.

BARBOSA, M. R.; SILVA, M. M. A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R.; Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.3, p.453-460, 2014.

BARI, R.; JONES, J. D. G. Role of plant hormones in plant defence responses. **Plant Molecular and Biology**. v. 69, p.473–488, 2009.

BARICKMAN, T. C.; KOPSELL, D. A.; SAMS, C. E. Absciscic acid increases carotenoid and chlorophyll concentrations in leaves and fruit of twotomato genotypes. **Journal of the American Society for Horticultural Science**. 139(3):261-266. 2014.

BARNABÁS, B.; JAGER, K.; FEHÉR, A. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. **Plant, Cell and Environment**. v. 31, pag.11–38, 2008.

BEAUCHAMP, C.; FRIDOVICH, I. Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. **Analytical Biochemistry**, v.44, p.276-287, 1971.

BRADFORD, M.M. Rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**. v.72, p.248-254, 1976.

CAVERZAN, A.; PASSAIA, G.; ROSA, S. B.; RIBEIRO, C. W.; LAZZAROTO, F. Plant responses to stresses: Role of ascorbate peroxidase in the antioxidant protection. **Genetics and Molecular Biology**. v. 35, p. 1011-1019, 2012.

CHOUDHARY, R.; SAROHA, A. E.; SWARNKAR, P. L. Effect of abscisic acid and hydrogen peroxide on antioxidant enzymes in *Syzygium cumini* plant. **Journal of Food Science and Technology**. v. 49, p. 649–652, 2012.

CHOUDHARY, R.; SAROHA, A. E.; SWARNKAR, P. L. Effect of abscisic acid and hydrogen peroxide on antioxidant enzymes in *Syzygium cumini* plant. **Journal of Food Science and Technology**. v. 49, p. 649–652, 2012.

DAS, K.; and ROYCHOUDHURY, A. Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-Scavengers during environmental stress in plants. **Frontiers in Environmental science**. V. 2, article 53, 2014

FERNANDES, B. and SYKES, D.J. Capacidade de campo e retenção de água em três solos de Minas Gerais. **Revista Ceres**. v.15, p.1-39, 1968.

GIANNAKOULA, A. E.; ILIAS, F. I.; MAKSIMOVIC, J. J. D.; MAKSIMOVIC, V. M.; ZIVANOVIC, B. D. The effects of plant growth regulators on growth, yield, and phenolic profile of lentil plants. **Journal of Food Composition and Analysis**. v. 28, p. 46-53, 2012.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutases. I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**. V.59, p. 309-314, 1977.

GILL, S. S.; ANJUM, N. A.; GILL, R.; YADAV, S.; HASANUZZAMAN, M.; FUJITA, M.; MISHRA, P.; SABAT, S. C.; TUJETA, N. Superoxide dismutase-mentor of abiotic stress tolerance in crop plants. **Environmental Science and Pollution Research**. v. 22, p. 10375-10394, 2015.

GRAFTON, R.Q.; WILLIAMS, J.; JIANG, Q. Food and water gaps to 2050: preliminary results from the global food and water system (GFWS) platform. **Food Security**. v.7, p.209–220, 2015.

HAVIR, E.A.; McHALE, N.A. Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves. **Plant Physiology**. v.84, p.450-455. 1987.

HIROKI KOBAYAKAWA e KATSU IMAI. Methyl jasmonate affects O_3 inhibition of photosynthesis and ascorbic acid content in paddy rice grown at different CO_2 concentrations. **Environmental Control in Biology**. v. 50, n. 4, p. 335-345, 2012.

HORN, F. L.; SCHUCH, L. O. B.; SILVEIRA, E. P.; ANTUNES, I. F.; VIEIRA, J. C.; MARCHIORO, G.; MEDEIROS, D. F.; SCHWENGBER, J. E. Avaliação de espaçamentos e populações de plantas de feijão visando à colheita mecanizada direta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.35, n.1, p.41-46, 2000.

HUANG, H.; LIU, B.; LIU, L.; SONG, S. Jasmonate action in plant growth and development. **Journal of Experimental Botany**. v. 68, p. 1349-1359, 2017.

JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; WAHID, A.; FAROOQ, M.; JASIMAJUBURI, H.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. **International Journal of Agriculture and Biology**. v.11, p. 100-105, 2009.

JANOUDI, A. and FLORE, J. A. Effects of multiple applications of methyl jasmonate on fruit ripening, leaf gas exchange and vegetative growth in fruit trees. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**. v.78, p. 793-797, 2003.

KHADRI, M.; TEJERA, N. A.; LLUCH, C. Alleviation of salt stress in common bean (*Phaseolus vulgaris*) by exogenous abscisic Acid supply. **Journal of Plant Growth Regulation**. v. 25, p. 110–119, 2006.

KOBAYAKAWA, H. and IMAI, K. Methyl jasmonate affects O_3 -inhibition of photosynthesis and ascorbic acid content in paddy rice grown at different CO_2 concentrations. **Environmental Control in Biology**. v. 4, p. 335-345, 2012.

LANNA, A. C.; MITSUZONO, S. T.; TERRA, T. G. R.; VIANELLO, R. P.; CARVALHO, M. A. F. Physiological characterization of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes, water-stress induced with contrasting response towards drought. **Australian Journal of Crop Science**. v. 10, p.1-6, 2016.

LICHTENTHALER, H.; WELLBURN, A. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. **Biochemical Society Transactions**, n. 603, 1983, p. 591-592, 1993.

MA, C.; WANG, Z. Q.; ZHANG, L. T.; SUN, M. M.; LIN, T. B. Photosynthetic responses of wheat (*Triticum aestivum* L.) to combined effects of drought and exogenous methyl jasmonate. **Photosynthetica**. v. 52, p. 377-385, 2014.

MACEDO, W. R.; ARAUJO, D. K.; CASTRO, P. R. C. Unravelling the physiologic and metabolic action of thiamethoxan on rice plants. **Pesticide Biochemistry and Physiology**. v. 107, p.244-249, 2013.

MACLAREN, S.; and HARRY, S. The effect of abscisic acid on growth, photosynthetic rate and carbohydrate metabolism in *Lemna minor*. **New Phytologist**. v.76, 1976.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant and Cell Physiology**. v. 22, p. 867-880, 1981.

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**. 50 (1), p.138-141, 2006.

OLIVEIRA, A. D.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. **Engenharia Agrícola Jaboticabal**. v.25, n.1, p.86-95, jan./abr. 2005.

OLIVEIRA, M. B.; JUNIOR, M. L.; SÁC, M. F. G.; PETROFEZA, S. Exogenous application of methyl jasmonate induces a defense response and resistance against *Sclerotinia sclerotiorum* in dry bean plants. **Journal of Plant Physiology**. v.182, p.13–22, 2015.

PAVLOVIC, D.; NIKOLIC, B.; DUROVIC, S.; WAISI, H.; ANDELKOVIC, A.; MARISAVLJEVIC, D. Chlorophyll as a measure of plant health: Agroecological aspects. **Journal Pesticides and Phytomedicine**. v. 29, p. 21-34, 2014.

PEIXOTO, P. H. P.; CAMBRAIA, J.; SANT'ANA, R.; MOSQUIM, P. R.; MOREIRA, M. A. Aluminum effects on lipid peroxidation and on the activities of enzymes of oxidative metabolism in sorghum. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**. v.11, p.137-143, 1999.

RAHMAN, M. H. Exploring sustainability to feed the world in 2050. **Journal of Food Microbiology**. v. 01, P. 7-16, 2016.

RATNAKUMAR, P.; KHAN, M. I. R.; MINHAS, P. S.; FAROOQ, M. A.; SULTANA, F. R.; PER, T. S.; DEOKATE, P. P.; KHAN, N. A.; SINGH, Y.; RANE, J. Can plant bio-regulators minimize crop productivity losses caused by drought, salinity and heat stress? An integrated review. **Journal of Applied Botany and Food Quality**. v. 89, p. 113 – 125, 2016.

SAH, S. K.; REDDY, K. R.; LI, J. Absciscic acid and abiotic stress tolerance in crop plants. **Frontiers in Plant Science**. v. 7, Article 571, 2016.

SANKAR, B.; KARTHISHWARAN, K.; SOMASUNDARAM, R. Photosynthetic pigment content alterations in *Arachis hypogaea* L. in relation to varied irrigation levels with growth hormone and triazoles. **Journal of Ecobiotechnology**. v.5, p. 7-13, 2013.

SILVA, F. G.; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M.; FILGUEIRAS, L. M. B.; MELO, A. S. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.19, n.10, p.946–952, 2015.

SILVA, O. F.; e WANDER, A. E. O feijão-comum no Brasil: passado, presente e futuro. **Documento 287 - Embrapa Arroz e Feijão**. Santo Antônio de Goiás, 61 p, 2013.

SOARES, A. M. S.; SOUZA, T. F.; JACINTO, T.; MACHADO, O. L. T. Effect of methyl jasmonate on antioxidative enzyme activities and on the contents of ROS and H₂O₂ in *Ricinus communis* leaves. **Brazilian Journal of Plant Physiology**. v. 22, p. 151-158, 2010.

SUHITA, D.; KOLLA, V. A.; VAVASSEUR, A.; RAGHAVENDRA, A. S. Different signaling pathways involved during the suppression of stomatal opening by methyl jasmonate or abscisic acid. **Plant Science**. v. 164, p. 481-488, 2003.

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Tradução: SANTARÉM, E.R. [et al.]. 4.ed. Porto Alegre: Artmed. 848 p, 2009.

WAFEE M. HAGGAG e F. ABD-EL-KAREEM. Methyl jasmonate stimulates polyamines biosynthesis and resistance against leaf rust in wheat plants. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**. v. 42, p. 16-31, 2009.

WASTERNAK, C. Jasmonates: An update on biosynthesis, signal transduction and action in plant stress response, growth and development. **Annals of Botany**. v.100, p. 681-697, 2007.

WASTERNAK, C.; HAUSE, B. Jasmonates and octadecanoids: signals in plant stress responses and development. **Progress in Nucleic Acid Research and Molecular Biology**. v.7, p.165-221, 2002.

WEBBER, H. A.; MADRAMOOTOO, C. A.; BOURGAULT, M.; HORST, M. G.; STULINA, G.; SMITH, D. L. Water use efficiency of common bean and green gram grown using alternate furrow and deficit irrigation. **Agricultural Water Management**. v. 86, p. 259–268, 2006.

WITHAM, F. H.; BLAYDES, D. F.; DEVLIN, R. M. **Experiments in Plant Physiology**. New York: D. Van Nostrand Company. p. 55-58, 1971.

YANG, Z.; LIU, J.; TICHER, S.V.; CHRISTMANN, A.; WINDISCHB, W.; SCHNYDERC,H.; GRILL,E. Leveraging abscisic acid receptors for efficient water use in *Arabidopsis*. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. v. 113, p. 6791–6796, 2016.

ZHAO, N.; MENG, P.; HEL, Y.; YU, X. Interaction of CO₂ concentrations and water stress in semiarid plants causes diverging response in instantaneous water use efficiency and carbon isotope composition. **Biogeosciences**. V. 14, p. 3431–3444, 2017.