

APLICAÇÃO EXÓGENA DE ÁCIDO SALICÍLICO EM FEIJOEIRO

JOSÉ GUSTAVO VIEIRA

APLICAÇÃO EXÓGENA DE ÁCIDO SALICÍLICO EM FEIJOEIRO

JOSÉ GUSTAVO VIEIRA

Dissertação apresentada a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos obtenção do título de Mestre em Agronomia

Área de Concentração: Produção Vegetal

Orientadora:
Prof Dr^a Ana Claudia Pacheco Santos

633.372
V657a

Vieira, José Gustavo.

Aplicação exógena de ácido salicílico no feijoeiro / José Gustavo Vieira. – Presidente Prudente, 2011.

48 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE: Presidente Prudente – SP, 2011.

Bibliografia

Orientador: Ana Claudia Pacheco Santos

1. *Phaseolus vulgaris*. 2. Restrição hídrica. 3. Efeitos fisiológicos. I. Título.

JOSÉ GUSTAVO VIEIRA

APLICAÇÃO EXÓGENA DE ÁCIDO SALICÍLICO NO FEIJOEIRO

Dissertação apresentada a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Presidente Prudente, 30 de maio 2011.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof. Dra. Ana Claudia Pacheco Santos
Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE
Presidente Prudente - SP

Prof. Dra. Ceci Castilho Custódio
Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE
Presidente Prudente - SP

Prof. Dra. Mirian Ferraz Moreira
Instituto Agronômico de Campinas - IAC
Campinas - SP

AGRADECIMENTOS

A minha esposa e filho, Maly e Eduardo, que souberam fazer de nosso lar uma verdadeira escola, em cujo seio foi possível realizar meus compromissos.

Aos meus pais, José e Marlene, por todo apoio e esperança em mim depositados.

Aos professores, que me ensinaram a compreender que a maior honra do meu trabalho é o meu próprio trabalho.

A minha orientadora, Prof.(a) Dra. Ana Claudia Pacheco Santos, pela humildade em dividir comigo seus conhecimentos e pela paciência em recomeçar sempre que foi necessário.

A UNOESTE e a todos os funcionários que cruzaram pelo meu caminho durante este período, pela paciência com minhas fraquezas.

A direção da ETEC PROF. DR. ANTÔNIO EUFRÁSIO DE TOLEDO, pela compreensão, paciência e apoio em todas as vezes que precisei para realização deste trabalho.

Aos meus amigos de turma, especialmente João César, pelo apoio indispensável e pela “mãozinha” não hora certa.

Especialmente e sempre a Deus, por confirmar minha certeza de que nunca existirá um grande problema em minha vida, porque nela só há espaço para um grande Deus.

RESUMO

Aplicação exógena de ácido salicílico em feijoeiro

A cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*) é uma cultura anual da família Fabacea, é um importante componente alimentar na dieta dos seres humanos, devido a sua composição nutricional sendo uma importante fonte de carboidratos e minerais. As plantas superiores se desenvolvem em resposta as características ambientais em que são expostas. O Ácido Salicílico (AS) é um regulador de crescimento endógeno de natureza fenólica, o qual participa da regulação de processos fisiológicos nas plantas e também está relacionado com a indução de mecanismos de defesa. Além da atuação do AS como um importante regulador de diversos processos fisiológicos da planta, incluindo a fotossíntese, este ácido atua também como um potencial agente antioxidante não enzimático, estando envolvido na ativação das respostas de defesa no vegetal sob condições de estresse. O déficit hídrico tem efeito em diversos processos fisiológicos das plantas, os quais acarretam diminuição nos níveis de produtividade. A falta de água é prejudicial às plantas quando ocorre em fases específicas de seu desenvolvimento sendo que quando a mesma ocorre na fase de pré floração e enchimento de grãos acarretam queda nos níveis de produtividade.

Palavras-Chave: *Phaseolus vulgaris*. Restrição hídrica. Efeitos fisiológicos

ABSTRACT

Exogenous application of salicylic acid in beanstalks

The bean crop (*Phaseolus vulgaris*) is an annual crop of the Fabaceae family. Beans are an important component in the diet of humans and due to its nutritional composition it is an important source of carbohydrates and minerals. The national production of beans is estimated at 3.98 million hectares with an average yield of 38.5 bags per hectare. Higher plants develop in response to environmental characteristics to which they are exposed acquiring metabolic changes to adapt to biotic and abiotic stresses. Salicylic Acid (AS) is an endogenous growth regulator of phenolic nature, which participates in the regulation of physiological processes in plants and is also related to the induction of defense mechanisms. Besides the action of AS as an important regulator of several plant physiological processes, including photosynthesis, this acid also acts as a potential non-enzymatic antioxidant involved in the activation of defense responses in plant under stress conditions. The drought has an effect on several plant physiological processes that result in decreases in productivity levels. Lack of water is harmful to plants when it occurs in specific stages of its development, when it occurs in the pre flowering and grain filling period it causes a drop in productivity levels.

Keywords: *Phaseolus vulgaris*. Water restriction. Physiological effects

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	08
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	10
2.1 Estresse Hídrico.....	10
2.2 Deficiência Hídrica em Feijão.....	12
2.3 Ácido Salicílico e Efeitos Fisiológicos na Planta.....	14
2.4 Ácido Salicílico e Estresse na Planta.....	15
REFERÊNCIAS.....	18
3 ARTIGO 1 - APLICAÇÃO EXÓGENA DE ÁCIDO SALICÍLICO NO PERÍODO VEGETATIVO SOBRE O CRESCIMENTO E A PRODUÇÃO DE FEIJÃO.....	22
3.1 Introdução.....	22
3.2 Material e Métodos.....	24
3.3 Resultados e Discussão.....	28
3.4 Conclusão.....	33
REFERÊNCIAS.....	34
4 ARTIGO 2 - DEFICIÊNCIA HÍDRICA E APLICAÇÃO DE ÁCIDO SALICÍLICO EM CULTIVARES DE FEIJÃO.....	36
4.3 Introdução.....	36
4.4 Material e Métodos.....	37
4.5 Resultados e Discução.....	41
4.6 Conclusão.....	45
REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO GERAL

O metabolismo, crescimento e morfogênese de plantas superiores em resposta ao ambiente dependem de sinais transmitidos de uma parte à outra da planta por mensageiros químicos, e por hormônios endógenos (TAIZ; ZEIGER, 2004). As mudanças climáticas que ocorrem no ambiente, impulsionadas pela crescente utilização humana dos recursos naturais e ocupação agrícola, são motivo de preocupação e geram a necessidade de se estudar o comportamento das plantas em ambientes alterados e limitantes ao desenvolvimento vegetal. Neste contexto, a seca é um dos principais fatores limitantes à produção agrícola, constituindo-se numa condição de estresse para as plantas que deve receber prioridade de estudos.

O ácido salicílico (AS) é um composto fenólico derivado do ácido benzóico e relacionado à aspirina. De acordo com Castro e Vieira (2001), o ácido salicílico é considerado componente de uma nova classe de substâncias de crescimento em plantas, além dos hormônios vegetais. Sua síntese ocorre a partir do aminoácido fenilalanina. Além da atuação do AS como um importante regulador de diversos processos fisiológicos da planta, incluindo a fotossíntese, este ácido atua também como um potencial agente antioxidante não enzimático (NOREEN et al., 2009), estando envolvido na ativação das respostas de defesa no vegetal sob condições de estresse.

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é um dos mais importantes componentes da dieta alimentar do brasileiro, por ser reconhecidamente uma excelente fonte proteica, além de possuir bom conteúdo de carboidratos, vitaminas, minerais, fibras e compostos fenólicos com ação antioxidante que podem reduzir a incidência de doenças. A maioria das cultivares de feijão apresenta em torno de 25% de proteína, que é rica no aminoácido essencial lisina, mas pobre nos aminoácidos sulfurados. Essa deficiência, contudo, é suprida pelo consumo dessa leguminosa com alguns cereais, especialmente o arroz, o que torna a tradicional dieta brasileira, o arroz com feijão, complementar, no que se refere aos aminoácidos essenciais (ABREU, 2005).

Segundo dados da CONAB (2011), a área plantada com feijão primeira safra foi estimada em 1,44 milhões de hectares, o que configura um crescimento de 2,1% em relação à safra passada. Considerando os números das três safras brasileiras em 2010-2011, estima-se que a área total de feijão alcance 3,98 milhões

de hectares, ou 10,3% maior que a safra passada. A produção nacional de feijão nas três safras deverá chegar a 3,80 milhões de toneladas, ou 14,5% maior que a temporada anterior, a produtividade do feijão é aproximadamente 38,5 sacas ha⁻¹.

A deficiência hídrica desencadeia uma série de reações na planta que tem como consequência perda considerável de produtividade, daí a necessidade de se avaliar estratégias que sejam capazes de minimizar os efeitos da seca, devido a importância que a cultura do feijão possui no cenário nacional.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Estresse Hídrico

O estresse é definido como qualquer fator ambiental que retira energia dos organismos, restringe o crescimento e a reprodução ou perturba o equilíbrio de um sistema, mobilizando seus recursos/reservas e aumentando seus gastos energéticos (LEVITT, 1980).

Segundo Taiz e Zeiger (2004), produtividade de plantas, limitada pela água, depende da quantidade disponível deste recurso e da eficiência do seu uso pelo organismo. A deficiência hídrica é uma condição que pode ou não causar estresse nos vegetais. A resposta da planta é resultado de uma interação entre o tipo de estresse (severidade, duração, número de exposições e combinação com outros estresses) e a própria planta (genótipo, estágio de desenvolvimento e órgão/tecido afetados).

A planta pode ser capaz de reparar a injúria através de um gasto ativo de energia metabólica, produzindo uma resposta física ou química (mudança no metabolismo). Desta forma, o estresse ocorrerá quando os processos de reparo gastam energia metabólica da planta (o catabolismo fica maior do que o anabolismo), ocorrendo um desvio significativo das condições ótimas para a vida. Do ponto de vista agrônomo, o estresse é definido como uma perturbação causada pelo ambiente de produção que resulta numa redução da produtividade (LARCHER, 2004).

O déficit hídrico tem efeito em diversos processos fisiológicos das plantas, visto que o estresse geralmente aumenta a resistência difusiva ao vapor de água, mediante fechamento dos estômatos, reduzindo a transpiração e, conseqüentemente, o suprimento de CO₂ para a fotossíntese. Muitos desses efeitos refletem mecanismos de adaptação das plantas ao ambiente (NOGUEIRA, 1997).

A área foliar total de uma planta não permanece constante depois de todas as folhas terem atingido a maturidade. Se as plantas sofrerem um estresse hídrico após um desenvolvimento substancial da área foliar, as folhas sofrerão senescência e subseqüentemente cairão (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Ao nível da planta, uma resposta usual ao estresse, antes mesmo de haver variação no conteúdo de água dos tecidos, é uma diminuição do crescimento,

a qual é associada com alterações no metabolismo de carbono e de nitrogênio. Ao nível celular, a resposta é caracterizada por mudanças fundamentais na relação da célula com a água (metabolismo celular e estrutura de membranas e organelas)

A redução de área foliar é uma das respostas à ocorrência da deficiência hídrica, onde plantas que foram submetidas a falta de água no período de desenvolvimento vegetativo diminuem a área foliar para que conseqüentemente se diminua a transpiração e também a perda de água. O turgor das folhas funciona como sinalizador de estresse e que atua juntamente com a área foliar, onde quando se diminui o turgor a planta vegeta menos, conseqüentemente diminui-se a área foliar. A deficiência hídrica não limita apenas o tamanho das plantas mas também o número de folhas, pois ele diminui o número e a taxa de crescimento dos ramos (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Uma das mais bem estudadas respostas das plantas ao déficit hídrico é a acumulação de prolina nas células. O acúmulo deste aminoácido é resultado do aumento do fluxo de glutamato, que é metabolizado pela Pirrolina-5-Carboxilato Sintetase (P5CS), enzima que regula a taxa de biossíntese de prolina; bem como de um decréscimo de metabolismo desse aminoácido. A enzima P5CS, responsável pela transformação de Pirrolina-5-Carboxilato (P_5C) em prolina, tem sua expressão regulada por mudanças no potencial osmótico no citoplasma. Um decréscimo no potencial osmótico da célula leva a um aumento na síntese de P_5C e, conseqüentemente, a um aumento na síntese de prolina (HARE; CRESS, 1997).

A acumulação de prolina em células vegetais submetidas a déficit hídrico tem sido sugerida como um mecanismo de ajuste osmótico. O ajuste osmótico é um aumento líquido no conteúdo de solutos por célula e independe das mudanças de volume resultantes da perda de água. Esse ajuste pode ser calculado pelos aumentos da concentração de uma variedade de solutos comuns, tais como açúcares, ácidos orgânicos e aminoácidos (especificamente prolina). Este aminoácido tem a capacidade de se unir com a água e formar uma “concha” ao redor da molécula de proteína, protegendo sua estrutura terciária (evitando a desnaturação) e, portanto atuando como um soluto osmótico do citoplasma (TAIZ; ZEIGER, 2004).

As folhas que são capazes de realizar o ajuste osmótico podem claramente manter o turgor sob potenciais hídricos mais baixos do que as folhas sem tal capacidade. A manutenção do turgor possibilita a continuação do

alongamento celular e facilita condutâncias estomáticas mais altas sob potenciais hídricos mais baixos, sugerindo que o ajuste osmótico é uma aclimação que aumenta a tolerância das plantas à desidratação. Entretanto, alguns autores sugerem outras funções para o acúmulo de prolina: estabilizador de estruturas sub-celulares e redutor de radicais livres; depósito de energia (HARE; CRESS, 1997); componente de cascata de sinalização molecular do estresse e constituinte principal de proteínas de parede celular das plantas (NANJO et al., 1999).

2.2 Deficiência Hídrica em Feijão

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), pertencente à família Fabaceae, é uma espécie anual cujo ciclo varia de 61 a 110 dias. O desenvolvimento do feijoeiro compreende duas fases distintas básicas, sendo elas denominadas de fase vegetativa e fase reprodutiva. A fase vegetativa é caracterizada pelo desdobramento das folhas primárias até o primeiro botão floral. A fase reprodutiva transcorre da emissão do primeiro botão floral até o pleno preenchimento das vagens, com posterior maturação das sementes (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

Devido ao curto período de seu ciclo, pequenos períodos de seca podem afetar severamente o crescimento do feijoeiro. A cultura requer de 300 a 500 mm de água, dependendo do clima. Quando estas necessidades não são satisfeitas, o rendimento se reduz a um valor dependente da etapa fenológica em que o déficit de água acontece. Quando a seca se apresenta na etapa vegetativa, por exemplo, o efeito sobre o crescimento é mínimo, enquanto que na etapa de pré-floração e enchimento de vagens, a planta é muito sensível à falta de água no solo (CALVACHE; REICHARDT, 1996).

Todos os cultivares de feijão, uns em maior outros em menor grau, são sensíveis às condições climáticas adversas. O feijoeiro é pouco tolerante a deficiência hídrica, o que pode afetar o ciclo com mudanças em algumas fases de seu desenvolvimento. A falta de água pode reduzir o ciclo biológico do feijoeiro (ARAÚJO et al., 1998; DOURADO NETO; FANCELLI, 2000).

O cultivar 'Siriri' foi lançado pelo IAPAR (Instituto Agrônomo do Paraná) em 2008, sendo caracterizado como bastante rústico e produtivo, resistente ao calor e moderadamente resistente à seca. Apresenta potencial de rendimento que pode superar 3.100 kg/ha. No quesito doenças, tem resistência moderada ao

crestamento bacteriano comum e murcha de bactéria. É resistente à ferrugem, mosaico comum e oídio. O ciclo é de aproximadamente 85 dias. (LIBERAL, 2008).

O cultivar denominado 'Pérola', lançado em 1994 pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), é recomendado para os Estados de Minas Gerais, Mato Grosso, Goiás, Bahia e para o Distrito Federal. Apresenta produtividade, com irrigação, de 3 mil kg por hectare, tendo alguns produtores superado esse número. O cultivar é resistente à ferrugem, ao mosaico comum e a uma raça de antracnose. Apresenta também resistência intermediária à murcha do fusarium e à mancha angular. Sendo resistente, o cultivar Pérola dispensa significativos volumes de agrotóxicos, com redução de custos para o produtor e com ganhos ambientais para o solo e para as águas. Em relação ao mercado, o feijão Pérola apresenta um grão mais claro, o que lhe dá um preço cerca de 10% superior nos principais mercados atacadistas e consumidores (EMBRAPA, 2004).

O cultivar 'IAPAR 81' pertencente ao grupo carioca, foi recomendada para cultivo a partir de junho de 1997. Apresenta hábito de crescimento indeterminado, porte ereto, guias curtas a médias, com possibilidade de colheita mecânica direta. O tempo médio até o florescimento é de 43 dias e o ciclo médio é de 92 dias da emergência a colheita. Em avaliações efetuadas no campo apresentou-se como moderadamente tolerante ao déficit hídrico e alta temperatura ocorridos durante a fase reprodutiva (IAPAR, 1997).

Na América Latina, em cerca de 93% da área de cultivo de feijão, a necessidade hídrica da planta, durante o seu ciclo, não é satisfeita. A produtividade do feijoeiro é mais afetada pela falta da água, quando esta ocorre no período de pré-floração, na formação dos botões florais (FAGERIA et al. 1991, citado por Pimentel e Peres, 2000). Desta maneira a falta de água pode ter impacto direto na taxa de abscisão das flores a qual é o principal determinante de produção em culturas como feijão (CLEMENTS; ATKINS, 2001).

O feijoeiro apresenta dois principais mecanismos de adaptação à seca, para manutenção de alta hidratação da planta que são o controle de abertura de estômatos, diminuindo a taxa de transpiração e conseqüentemente a perda de água, e o desenvolvimento do sistema radicular, em detrimento ao crescimento da parte aérea, reservando energia para o crescimento desta (SUBBARAO et al., 1995).

2.3 Ácido Salicílico e Efeitos Fisiológicos na Planta

Recentemente, o AS vem sendo estudado quanto aos seus efeitos sobre vários processos fisiológicos relacionados ao crescimento e desenvolvimento das plantas sob condições normais (não estressantes), podendo mesmo ser incluído na categoria de fitohormônios. Dentre estes efeitos, são citados: indução de floração em espécies herbáceas (HEGAZI; EL-SHRAYI, 2007), estimulação do desenvolvimento radicular, fechamento dos estômatos e redução da transpiração (LARQUE-SAAVEDRA, 1979), manutenção da turgescência dos estômatos e pulvinos (SAEEDI et al., 1984), aumento do número de grãos por espiga e rendimento agrônomico em trigo (LOPEZ et al., 1996). O AS exerce também importante função na biossíntese de etileno, no comportamento estomático e na respiração (RASKIM, 1992).

Spronsen et al. (2003) testaram os efeitos do AS sobre a nodulação em leguminosas, afirmando que este ácido inibiu completamente a nodulação em plantas do tipo indeterminado, tais como ervilha, alfafa e trevo ; mas o mesmo efeito não foi verificado em plantas do tipo determinado, como soja e feijão.

Hegazi e El -Shrayi (2007) testaram os efeitos da aplicação foliar de AS e paclobutrazol sobre o feijão. O AS, na dosagem de 10^{-2} M aumentou consideravelmente o peso das plantas, atingindo os valores máximos de peso seco da parte aérea. Entretanto, esta dosagem resultou em diminuição nos conteúdos de clorofila a, clorofila b e clorofila total. Com relação ao florescimento, o AS na dose de 10^{-3} M proporcionou um aumento no número de flores por planta e nos pesos fresco e seco das flores. A dose menor de AS (10^{-3} M) favoreceu uma maior concentração de proteínas nas folhas e o número máximo de nódulos por planta.

Quanto ao papel hormonal atribuído ao AS, são citados os efeitos de inibição na germinação e desenvolvimento da semente; bloqueio na resposta a ferimentos e reversão dos efeitos do ácido abscísico – ABA - (SHETTEL; BALKE, 1983; DAVIES, 2004); regulador do gravitropismo (HUSSEIN et al., 2007) e inibidor do amadurecimento de frutos (SRIVASTAVA; DWVEDI, 2000).

2.4 Ácido Salicílico e Estresse na Planta

Segundo Castro e Meloto (1998), hormônio vegetal é um composto orgânico não nutriente, de ocorrência natural, produzido na planta, e que em baixas concentrações ($10^{-4}M$) promove, inibe ou modifica processos morfológicos e fisiológicos do vegetal. Até recentemente, apenas seis tipos de hormônios eram considerados: auxinas, citocininas, giberelinas, etileno, retardadores e inibidores. Contudo, hoje outras moléculas de efeitos similares têm sido descobertas, tais como, brassinosteróides, ácido jasmônico (jasmonato), ácido salicílico e poliaminas (TAIZ; ZEIGER, 2004).

O Ácido Salicílico (AS) é um regulador de crescimento endógeno de natureza fenólica, o qual participa da regulação de processos fisiológicos nas plantas e também está relacionado com a resistência às doenças. A função do AS como molécula sinalizadora para a indução de mecanismos de defesa na planta já é bastante conhecida.

Outra importante função do AS nas plantas está relacionada à indução de tolerância aos diferentes tipos de estresse abiótico. Recentes estudos tem dado considerável importância à habilidade do AS em induzir efeitos de proteção (adaptação e resistência) em plantas sob estresse. A fim de estudar o envolvimento do AS nas respostas ao estresse abiótico, são utilizadas tanto plantas transgênicas deficientes em produzir AS, as quais expressam uma enzima bacteriana que degrada o AS em catecol, como também plantas mutantes deficientes na percepção ou na produção de AS (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Segundo Chen et al. (1993), adaptação e resistência traduzem-se por profundas alterações no metabolismo da célula vegetal, entre elas a síntese de proteínas de defesa, expressas por genes específicos, ativadas através de mecanismos complexos. Tais proteínas exercem vários papéis na resistência e sobrevivência da planta, de forma direta (combatendo o agente agressor) ou indireta (mantendo a estrutura e as funções celulares). Os mecanismos de resposta e as substâncias envolvidas nos processos de defesa vêm sendo bastante pesquisados, em especial nas últimas décadas. As células vegetais têm diferentes receptores os quais, associados a substâncias específicas (substâncias derivadas de componentes estruturais da planta ou dos agressores), acionam os sinais que ativam, no núcleo das células, os genes ligados à defesa. O AS pode sensibilizar as

células para uma rápida ativação dos seus genes de defesa, atuando como um sinalizador na via de transdução que ativa estes genes.

A aplicação exógena ou o estímulo à síntese endógena de ácidos orgânicos como o ácido salicílico pode agir como indutor de proteínas de tolerância aos diferentes estresses, bem como para elevar/regular a atividade de enzimas de desintoxicação celular, como peroxidases e superóxido-dismutases, especialmente envolvidas na degradação de radicais ativos oxigenados (CARVALHO et al., 2007; HE et al., 2002).

Neste sentido, a aplicação exógena de AS tem sido testada em diferentes culturas agrícolas, investigando-se a capacidade do mesmo em mitigar os efeitos adversos do estresse hídrico. Por exemplo, verificou-se que o AS induziu tolerância ao calor em mostarda (DAT et al., 1998a,b), tolerância ao frio em milho (FAROOQ et al., 2008 a,b) e trigo (TASGIN et al., 2003), tolerância à salinidade em trigo (SAKHABUTDINOVA et al., 2003 apud HUSSAIN et al., 2008), tolerância a metais pesados em aveia (METWALLY et al., 2003) e tolerância à seca em trigo (SINGH; USHA 2003; HORVÁTH et al., 2007).

A pulverização foliar com baixas concentrações de AS pode ter um efeito de aclimação, proporcionando um aumento de tolerância aos mais diferentes tipos de estresses abióticos. Esta ação ocorre primariamente devido ao aumento da capacidade antioxidante. O AS participa no desenvolvimento dos sintomas de estresse na planta, mas o mesmo também é necessário para o processo de aclimação e indução de tolerância ao estresse.

Hussain et al. (2008) avaliaram o efeito mitigador do AS em plantas de girassol sob estresse hídrico. A falta de água causou redução no diâmetro das cabeças, número e peso de aquênios, produção de sementes e produção de óleo. Entretanto, a aplicação exógena de AS e glicina betaína aumentou significativamente estas variáveis nas plantas submetidas ao estresse hídrico. Como efeito do estresse, observaram-se aumentos nos teores foliares de prolina e glicina betaína; os quais se apresentaram mais elevados ainda como resultado da aplicação exógena de AS e glicina-betaína.

Hussain et al. (2007) avaliaram os efeitos do ácido salicílico no crescimento de plantas de milho sob estresse salino. As aplicações foliares de 200 ppm proporcionaram incrementos na altura das plantas, área foliar, diâmetro do caule e pesos seco do caule, folhas e planta inteira. A concentração de aminoácidos

foi diminuída pela salinidade, com exceção dos aminoácidos prolina e glicina. A aplicação foliar de AS resultou em aumentos na concentração de prolina, arginina, licina, serina e ácido glutâmico.

A pulverização foliar de plantas de trigo com 1 mM de AS causou aumento na atividade de enzimas antioxidantes, na quantidade de clorofilas e no conteúdo relativo de água da planta. Houve também aumento de estabilidade das membranas e decréscimo no nível de peroxidação de lipídeos sob estresse hídrico moderado (AGARWAL et al., 2005).

O pré-tratamento de plantas de aveia com AS, anterior à imposição de déficit, proporcionou redução de dano às membranas celulares e aumentou o conteúdo de ABA nas folhas (BANDURSKA; STROINSKI, 2005).

Noreen et al. (2009) avaliaram o efeito da aplicação foliar de AS na alteração da capacidade antioxidante de plantas de girassol sob estresse salino. O AS promoveu aumento na atividade das enzimas peroxidase e superóxido dismutase foliares; contudo a atividade da catalase permaneceu inalterada, tanto na condição salina como no controle. Os autores observaram também aumentos na capacidade fotossintética e no crescimento das plantas tratadas com o AS.

O efeito da aplicação exógena de AS em relação à aquisição de tolerância ao estresse nas plantas nem sempre é óbvio. Tal efeito é dependente de uma série de fatores tais como a espécie, o estágio de desenvolvimento da planta, o modo de aplicação, a concentração de AS utilizada, o seu nível endógeno na planta em questão e o balanço oxidativo das células (HORVÁTH et al., 2007).

REFERÊNCIAS

- ABREU, A. F. **Sistemas de produção nº6**. Santo Antônio de Goiás, Dezembro 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoPrimSegSafrSulMG/index.htm>>. Acesso em: 25 abr 2011.
- AGARWAL, S. et al. Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes. **Biologia Plantarum**, v. 9, p. 541-550, 2005.
- ARAÚJO, J. L. S. et al. **Proteínas de Choque Térmico e Tolerância a Altas Temperaturas em Plantas**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1998. 27 p. (Embrapa CNPAB. Documentos, 80).
- BANDURSKA, H.; STROINSKI, A. The effect of salicylic acid on barley responde to water deficit. **Acta Physiologia Plantarum**, v. 27, p.379-386, 2005.
- CALVACHE, M. et al. Estresse de água na cultura do feijao. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. **Resumos Expandidos...** Viçosa: SBCS, 1995b. p.1416-1418.
- CARVALHO, P. R.; MACHADO NETO, N. B.; CUSTÓDIO, C. C. Ácido salicílico em sementes de calêndula (*Calendula officinalis* L.) sob diferentes estresses. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina – PR, v. 29, n. 1, p. 114-124, abril/2007.
- CASTRO, P. R. C.; MELOTTO, E. Bioestimulantes e hormônios aplicados via foliar. In: BOARETO, A. E. ; ROSOLEM, C. A. **Adubação foliar**. Campinas: Fundação Cargill, 1998. p.191-235.
- CASTRO, P. R. C.; VIEIRA, E. L. **Aplicação de reguladores vegetais na agricultura tropical**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2001. 132 p.
- CHEN, Z. et al. Active oxygen species in the induction of plant systemic acquired resistance by salicylic acid. **Science**, v. 262, p. 1883-1886, 1993.
- CLEMENTS, J.; ATKINS, C. Characterization of non-abscission mutant I *Lupinus angustifolius*. I. Genetic and structural aspects. **American Journal of Botany**, v. 88, p. 31-42, 2001.
- CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: Grãos. Safra 2010/2011**. Sétimo Levantamento. Abril, 2011. Brasília: Conab, 2011. 54 p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_04_07_11_02_42_boletim_abril-2011..pdf>. Acesso em: 25 abr. 2011>.
- DAT, J. F. et al. Parallel changes in H₂O₂ and catalase during thermotolerance induced by salicylic acid or heat acclimation on mustard seedlings. **Plant Physiology**, v. 116, p. 1351-1357, 1998a.

DAT, J. F. et al. changes in salicylic acid and antioxidants during induced thermotolerance in mustard seedlings. **Plant Physiology**, v. 118, p. 1455-1461, 1998b.

DAVIES, P. J. The plant hormones: Their nature, occurrence, and functions. In: DAVIES, P. J. (ed.). **Plant Hormones: Biosynthesis, Signal Transduction, Action!** Kluwer Academic Publishers. Dordrecht: The Netherlands, 2004. p 1–15.

EMBRAPA. Feijão pérola é mais resistente e tem alta produtividade, Brasília – DF, nov. 2004. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/1996/julho/bn.2004-11-25.6708888229/>>. Acesso em 25 abr. 2011.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Ecofisiologia e fenologia. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. p. 21-54.

FAROOQ, M. et al. Chilling tolerance in hybrid maize induced by seed priming with salicylic acid. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 194, p. 161-168, 2008a.

FAROOQ, M. et al. Glycinebetaine improves chilling tolerance in hybrid maize. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 194, p. 152-160, 2008b.

HARE, P. D.; CRESS, W. A. Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants. **Plant Growth Regulation**, v. 21, p. 79-102, 1997.

HEGAZI, A. M.; EL –SHRAYI, A. M. Impact of salicylic acid and paclobutrazol exogenous application on the growth, yield and nodule formation of common bean. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 1, n. 4, p. 834-840, 2007.

HORVÁTH, E. et. al. Exogenous 4-hydroxybenzoic acid and salicylic acid modulate the effect of short-term drought and freezing stress on wheat plants. **Biology Plantarium**, v. 51, p. 480–487, 2007.

HUSSAIN, M. M.; BALBAA, L. K. ; GABALLAH, M. S. Salicylic acid and salinity effects on growth of maize plants. **Research Journal of Agriculture and Biological Sciences**, v. 3, n. 4, p. 321-328, 2007.

HUSSAIN, M. M. et al. Improving Drought Tolerance by Exogenous Application of Glycinebetaine and Salicylic Acid in Sunflower. **Journal Agronomy & Crop Science**, v. 194, p. 193-199, 2008.

IAPAR. **Principais características da cultura de feijão com sementes disponíveis no mercado**. Londrina – PR, 3p, 1997. Disponível em: <http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/fcultfeijao.pdf>. Acesso em 08 set. 2011.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2004. 531 p.

LARQUE-SAAVEDRA, A. Stomatal closure in response to acetylsalicylic acid treatment. **Z Pflansenphysiol**, v. 93, p. 371-375, 1979.

LEVITT, J. **Responses of plants to environmental stresses**. Chilling: Academic Press, 1980. v. 1. 496 p.

LIBERAL, E. G. **IAPAR lança na ExpoLondrina, nesta quinta-feira (3), duas novas variedades de feijão**. Londrina, 02 abr. 2008. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/noticias/article.php?storyid=318>>. Acesso em 24 fev 2011.

LOPEZ-DELGADO, H., CARRITILE-CASTAÑEDA, G. Acetylsalicylic acid: its effects on a highly expressed phosphatase from *Solanum cardiophyllum*. **Biotecnol Apl.**, v. 13, p. 186-189, 1996.

METWALLY, A. et al. Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings. **Plant Physiology**, v. 132, p. 272-281, 2003.

NANJO, T. et al. Biological functions of proline in morphogenesis and osmotolerance revealed in antisense transgenic *Arabidopsis thaliana*. **The Plant Journal**, v. 18, n. 2, p. 185-193, 1999.

NOGUEIRA, R. J. M. C. **Expressões fisiológicas da aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C.) em condições adversas**. 1997. 207 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de São Carlos-SP, São Carlos.

NOREEN, S. et al. Exogenous application of salicylic acid enhances antioxidative capacity in salt stressed sunflower (*Helianthus annuus* L.) plants. **Pakistan Journal of Botany**, v. 41, n. 1, p. 473-479, 2009.

PIMENTEL, C.; PEREZ, A. J. DE LA C. Estabelecimento de parâmetros para a avaliação de tolerância à seca, em genótipos de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 31-39, 2000.

RASKIN, I. Role of salicylic acid in plants. **Annual review of plant physiology and plant molecular biology**, v. 43, p. 439-462, 1992.

SHETTEL N. L.; BALKE, N. E. Plant growth response to several allelopathic chemicals. **Weed Science**, v. 31, p. 293-298, 1983.

SPRONSEN, V. et al. Salicylic acid inhibits indeterminate-type nodulation but not determinate type nodulation. **Mol Plant-Microb Interact**, v. 16, p. 83-91, 2003.

SING, B.; USHA, K. Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. **Plant Growth Regulation**, v. 39, p. 137-141, 2003.

SRIVASTAVA, M. K.; DWIVEDI, U. N. Delaying ripening of banana fruits by salicylic acid. **Plant Science**, v. 158, p. 87-96, 2000.

SUBARAO, G. V. Selection for water-stress tolerance in interracial population of common bean. **Crop Science**, Madison, v. 35, p. 118-124, 1995.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TASGÍN, E. et al. Effects of salicylic acid and cold on freezing tolerance in winter wheat leaves. **Plant Growth Regulation**, v. 41, p. 231-236, 2003.

3 ARTIGO 1: APLICAÇÃO EXÓGENA DE ÁCIDO SALICÍLICO SOBRE O CRESCIMENTO E A PRODUÇÃO DE CULTIVARES DE FEIJÃO

3.1 Introdução

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), pertencente à família Fabaceae, é uma espécie anual cujo ciclo varia de 60 a 120 dias. O desenvolvimento do feijoeiro compreende duas fases distintas básicas, sendo elas denominadas de fase vegetativa e fase reprodutiva. A fase vegetativa é caracterizada pelo desdobramento das folhas primárias até o primeiro botão floral. A fase reprodutiva transcorre da emissão do primeiro botão floral até o pleno preenchimento das vagens, com posterior maturação dos grãos (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000).

O feijão é um importante componente alimentar na dieta dos seres humanos, devido a sua composição nutricional sendo uma importante fonte de carboidratos e minerais.

Segundo dados da CONAB (2011), a área plantada com feijão na safra 2010-2011 foi em torno de 4 milhões de toneladas. Com exceção do Rio Grande do Sul e São Paulo, todos os principais estados produtores indicaram plantio de áreas maiores do que as cultivadas na safra anterior. A produção nacional de feijão nas três safras deverá chegar a 3,80 milhões de toneladas, ou 14,5% maior que a temporada anterior. Observando o histórico de produtividade, desde 1994, conclui-se que a produção de feijão sofreu grande oscilação, passando por períodos de diminuição de área plantada e produção da cultura.

Segundo Castro (1998), hormônio vegetal é um composto orgânico não nutriente, de ocorrência natural, produzido na planta, e que em baixas concentrações (10^{-4} M) promove, inibe ou modifica processos morfológicos e fisiológicos do vegetal. Até recentemente, apenas seis tipos de hormônios eram considerados: auxinas, citocininas, giberelinas, etileno, retardadores e inibidores. Contudo, hoje outras moléculas de efeitos similares têm sido descobertas, tais como, brassinosteróides, ácido jasmônico (jasmonato), ácido salicílico e poliaminas (TAIZ; ZEIGER, 2004).

O Ácido Salicílico (AS) é um regulador de crescimento endógeno de natureza fenólica, o qual participa da regulação de processos fisiológicos nas plantas e também está relacionado com a resistência às doenças. Nas plantas

superiores o AS se origina a partir da via do Ácido Chiquímico, de grande importância para a produção de fenilpropanóides. Compostos deste grupo podem atuar como reguladores vegetais.

Dentre os efeitos fisiológicos na planta inerentes ao ácido salicílico, são citados a inibição da germinação (atuação como antagonista do ABA), inibição da senescência (atuação como antagonista do etileno), interferência na absorção das raízes (alterando o transporte de íons e induzindo a uma rápida despolarização das membranas), redução da transpiração e promoção de abscisão foliar (KERBAUY, 2008).

Spronsen et al. (2003) testaram os efeitos do AS sobre a nodulação em leguminosas, afirmando que este ácido inibiu completamente a nodulação em plantas do tipo indeterminado, tais como ervilha, alfafa e trevo ; mas o mesmo efeito não foi verificado em plantas do tipo determinado, como soja e feijão.

Rocher et al. (2006) relatam que níveis endógenos de AS foram exsudados da seiva do floema e xilema de seedlings de mamona danificados. Segundo estes autores, o AS é transportado em direção ao sistema radicular via floema, e redistribuído em direção ascendente via xilema, em pequenas quantidades. Estas informações contribuem para explicar as peculiaridades da distribuição de AS na planta em resposta a estresses ambientais e à aplicação exógena deste ácido.

Khan et al. (2003) avaliaram o efeito da aplicação foliar do AS e outros compostos fenólicos relacionados (ácido acetilsalicílico e ácido gentísico) sobre a taxa fotossintética, a condutância estomática e a transpiração em plantas de milho e soja, sob condições de casa de vegetação. Todos esses processos metabólicos foram aumentados pela aplicação de AS. Os compostos não alteraram o conteúdo de clorofilas na planta. Em alguns casos houve aumento de área foliar e produção de massa seca, entretanto a altura de plantas e comprimento de raízes não foram afetados.

A aplicação exógena de AS nas plantas, por si só, pode induzir o estresse oxidativo, desde que o envolvimento do AS como molécula sinalizadora para a indução de mecanismos de defesa na planta já é bastante conhecido. O AS atua como um mensageiro secundário para a ativação dos genes de defesa sob condições de estresses bióticos e abióticos. Desta maneira, a aplicação exógena de

AS se constitui uma ferramenta que possibilita a indução da produção de sistemas de defesa na planta, baseando-se na atuação do AS como um elicitador.

Uma das mais bem estudadas respostas das plantas ao estresse oxidativo é a acumulação de prolina nas células, sugerida como um mecanismo de ajuste osmótico. O aumento de prolina pode estar diretamente relacionado com a diminuição da concentração de proteínas solúveis, entre outros fatores (MACHADO NETO et al., 2004).

O acúmulo deste aminoácido é resultado do aumento do fluxo de glutamato, que é metabolizado pela Pirrolina-5-Carboxilato Sintetase (P5CS), enzima que regula a taxa de biossíntese de prolina ; bem como de um decréscimo de metabolismo desse aminoácido. A enzima P5CS, responsável pela transformação de Pirrolina-5-Carboxilato (P₅C) em prolina, tem sua expressão regulada por mudanças no potencial osmótico no citoplasma (HARE e CRESS, 1997). Um decréscimo no potencial osmótico da célula leva a um aumento na síntese de P₅C e, conseqüentemente, a um aumento na síntese de prolina.

A acumulação de prolina em células vegetais submetidas a déficit hídrico tem sido sugerida como um mecanismo de ajuste osmótico. Entretanto, alguns autores sugerem outras funções para o acúmulo de prolina: estabilizador de estruturas sub-celulares e redutor de radicais livres; depósito de energia (HARE; CRESS, 1997); componente de cascata de sinalização molecular do estresse e constituinte principal de proteínas de parede celular das plantas (NANJO et al., 1999).

O objetivo deste estudo foi determinar o efeito da aplicação foliar de Ácido Salicílico em cultivares de feijão sobre características bioquímicas das plantas e sobre a produção.

3.2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido em viveiro de plantas a céu aberto, situado na Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE, em Presidente Prudente/SP, latitude 22°07'04"S; longitude 51°22'05"W e altitude de 435,5 m; no período de março de 2010 a junho de 2010. O clima é, pela classificação de Köppen, Aw mesotérmico, com verões quentes e invernos secos. O solo utilizado para o preenchimento dos vasos foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo,

Eutrófico, de textura arenosa/média (EMBRAPA, 1999). Apresenta-se na Tabela 1 a análise físico-química do solo realizada conforme Raij et al. (2001).

TABELA 1. Análise físico-química do solo

P	SO ₄ ⁻²	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	H+Al	Mn	Fe	Cu	Zn	B
----mg dm ⁻³ -----		-----mmol _c dm ⁻³ -----					-----mg dm ⁻³ -----				
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
128	9,4	1,6	96	10	0	13	16,1	23,2	1,3	0,6	0,13
pH	M.O.	SB	CTC	M	V	Areia	Silte	Argila	Classe		
CaCl ₂	g dm ⁻³	----mmol _c dm ⁻³ ----	-----	%	%	-----g kg ⁻¹ -----	-----	-----	Textural		
6,7	22	108	120	0	89	795,7	64,3	140,0	Arenosa		

Siglas: M.O. – matéria orgânica; S.B. – soma de bases; CTC – capacidade de troca de cátions; M% - saturação por alumínio; V% - saturação por bases.

No experimento foram utilizados dois cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) do grupo carioca: IAPAR 81 e Pérola, cujas sementes foram concedidas pela empresa Selegrãos situada em Santo Anastácio - SP. A semeadura foi feita em vasos com capacidade de 14 litros e o solo utilizado como substrato foi proveniente de uma área de horticultura orgânica da ETEC Prof. Dr. Antônio Eufrásio de Toledo em Presidente Prudente – SP. Em cada vaso foram semeadas 2 sementes para posterior desbaste de modo a se obter 1 planta por vaso.

As sementes foram tratadas previamente, pela empresa, com fungicidas. Adicionalmente foi realizado o tratamento das sementes com Orthene 750 BR Sementes, na dosagem de 1kg para cada 100 kg de sementes, visando a prevenção do ataque de pragas. O tratamento foi realizado no momento do plantio, colocando as sementes e o inseticida em recipiente plástico, de acordo com a dosagem, procedendo-se homogeneização para posterior semeadura.

A aplicação do Ácido Salicílico (AS), nas concentrações de 0 (pulverização com água), 0,1 mM, 1 mM e 10 mM foi realizada via pulverização foliar, com intervalo semanal, iniciando-se duas semanas após o plantio e mantendo-se até o florescimento das plantas. As soluções com as diferentes concentrações de AS foram preparadas a partir de uma solução mestra de 1,00mM. O produto, na formulação pó, foi pesado em balança analítica, diluído em 10 ml de etanol e finalmente dissolvido em água destilada. A pulverização foi realizada em toda a parte aérea das plantas até o ponto de gotejamento, através de pulverizador

manual com capacidade para 2 litros; utilizando-se o Adesil como agente espalhante (na proporção de 0,2 mL litro⁻¹ de solução).

O efeito da aplicação de AS nas plantas foi avaliado pelas seguintes variáveis:

- a) Conteúdo de clorofila nas folhas: foi obtido através de aparelho CCM-200 (Opti- Sciences), medindo-se 3 folhas por planta, em todas as repetições.
- b) Número de nódulos por planta: após o encerramento do ciclo da cultura foi realizada a contagem dos nódulos existentes no sistema radicular. A contagem foi realizada após a retirada cuidadosa das plantas, separação do sistema radicular e lavagem das raízes.
- c) Produção: foi avaliada através da contagem do número de vagens por planta, número de sementes por vagem e massa de sementes por planta (g).
- d) Teor de proteínas nas folhas.
- e) Teor de prolina foliar.

Para a determinação do teor de proteínas foi adotada a metodologia de Bradford (1976) utilizando-se 100 mg de massa fresca de folhas. O teor de prolina foi determinado segundo Bates et al. (1973) a partir de amostras de 300 mg de massa fresca de folhas.

Para cada cultivar (IAPAR 81 e Pérola), os tratamentos foram constituídos pela interação entre as doses de ácido salicílico (0; 0,1; 1 e 10 mM) mais um controle, constando-se ao todo de 10 tratamentos e 5 repetições (vasos com 1 plantas), conforme descrito abaixo:

- T1= Cultivar Pérola controle sem água
- T2= Cultivar Pérola controle com água
- T3 = Cultivar Pérola AS 0,1 mM
- T4 = Cultivar Pérola AS 1 mM
- T5 = Cultivar Pérola AS 10 mM
- T6 = Cultivar IAPAR 81 controle sem água
- T7= Cultivar IAPAR 81 controle com água
- T8= Cultivar IAPAR 81 AS 0,1 mM
- T9 = Cultivar IAPAR 81 AS 1 mM

- T10 = Cultivar IAPAR 81 AS 10 mM

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado, com um desenho fatorial de duas variedades de feijão e quatro doses de AS (3 concentrações mais um controle – pulverização com água, além do zero absoluto) e cinco repetições (2x5x5). Os dados obtidos foram tabulados e submetidos à análise de variância e ao Teste Tukey para comparação de médias e análise de regressão através do Programa Estatístico Assistat, avaliando-se o comportamento das variáveis em função da aplicação de AS.

3.3 Resultados e Discussão

Não houve interação significativa entre os fatores variedade e doses de AS; tanto em relação aos parâmetros fisiológicos (teor de clorofila e número de nódulos) como em relação aos componentes de produção (número de vagens/planta, número de sementes/vagem e massa das sementes).

As variáveis número de vagens, número de sementes por vagem e massa de sementes apresentaram resultados significativos apenas na comparação entre as variedades e não com relação às doses de AS aplicadas nas plantas (Tabela 2), apontando apenas à aptidão produtiva de cada cultivar e ausência de resposta à aplicação de AS. O mesmo padrão de resposta foi observado em relação ao teor de clorofilas. Embora em algumas espécies tenham sido observados aumentos significativos nos níveis de clorofilas e antocianinas em resposta à aplicação de AS (CHANDRA; BHATT, 1998), nem sempre essa é uma resposta padrão e a mesma pode depender do genótipo. Khan et al. (2003), analisando os efeitos da aplicação foliar de AS em milho e feijão, também verificou que o teor de clorofilas não diferiu entre as plantas tratadas e não tratadas, concluindo que o aumento da taxa fotossintética destas espécies não se correlacionou com mudanças nos níveis de clorofila. Hegazi e El –Shrayi (2007) analisando os efeitos da aplicação folia de AS nas dose de 10^{-2} M também verificou que o teor de clorofila diminuiu.

TABELA 2 - Número de sementes por vagem, número de vagens por planta e massa de sementes por planta (g) de dois cultivares de feijão submetidos aplicação de ácido salicílico

Fatores	Massa de Sementes (g)	Número de Vagens por planta	Número Sementes por Vagem
Controle	17,69	14,7	3,23
0Mm	18,54	14,5	3,42
0,1mM	16,13	13,3	2,84
1mM	15,84	15,2	2,80
10mM	15,65	14,5	3,33
F	0,5572ns	0,3126 ns	1,73ns
Pérola	14,19b	12,8b	2,87b
IAPAR81	19,34a	16,08a	3,41a
F	11,35**	8,61**	7,21*
CV (%)	32,22	27,36	22,85

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo Teste Tukey.

*Significativo a 5% de probabilidade. ** Significativo a 1% de probabilidade

O número de nódulos por planta e teor de clorofila apresentaram resultados significativos apenas na comparação entre as variedades e não com relação às doses de AS aplicadas (Tabela 3), apontando apenas a aptidão produtiva de cada cultivar e ausência de resposta à aplicação de AS. O efeito da aplicação exógena de AS depende de inúmeros fatores tais como, espécie, fase de desenvolvimento, modo de aplicação e a concentração aplicada (VANACKER et al., 2001; HORVÁTH et al., 2007).

O numero de nódulos nas raízes não apresentou resultados significativos quando aplicadas doses de AS, discordando de Hegazi e El -Shrayi (2007), que analisando os efeitos da aplicação foliar e AS sobre a nodulação nas raízes de feijoeiro observou que as plantas que receberam a dose de 10^{-3} M apresentaram um aumento significativo no número de nódulos presentes na raiz.

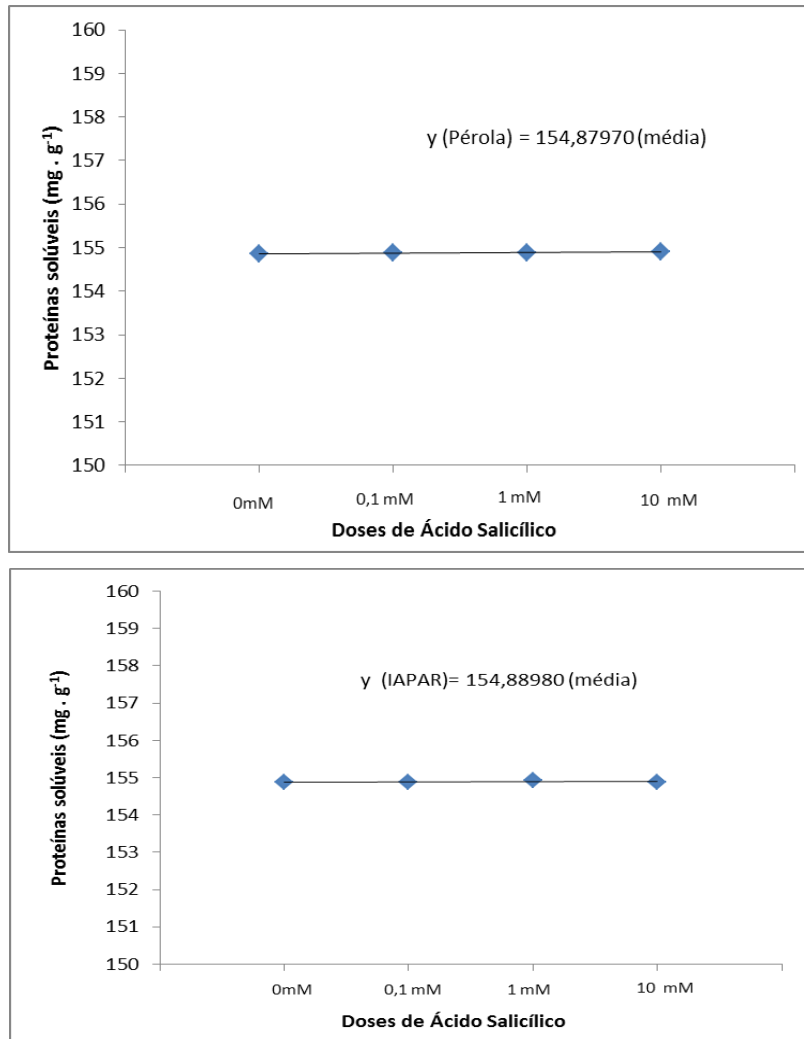
TABELA 3 - Número de nódulos por planta, teor de clorofila de dois cultivares de feijão submetidos a aplicação de ácido salicílico

Fatores	Nódulos por planta	Clorofila
Controle	74,8	38,57
0mM	51,4	33,94
0,1mM	72,1	36,04
1Mm	52,8	38,74
10mM	76,8	35,18
F	1,39ns	0.8737 ns
Pérola	72,8a	45,40a
IAPAR 81	58,32a	27,59b
F	2,37ns	77.7413 **
CV (%)	50,81	19,56

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste Tukey.

Com o intuito de observar se a aplicação de AS resultaria em modificações bioquímicas na planta, foram realizadas as determinações quanto aos teores de prolina e proteínas solúveis. Os teores de proteínas solúveis em ambos os cultivares não sofreram alteração significativa, para todas as concentrações de AS utilizadas (Figura 1), indicando a ausência de um possível efeito indutor de estresse oxidativo ocasionado pelo AS.

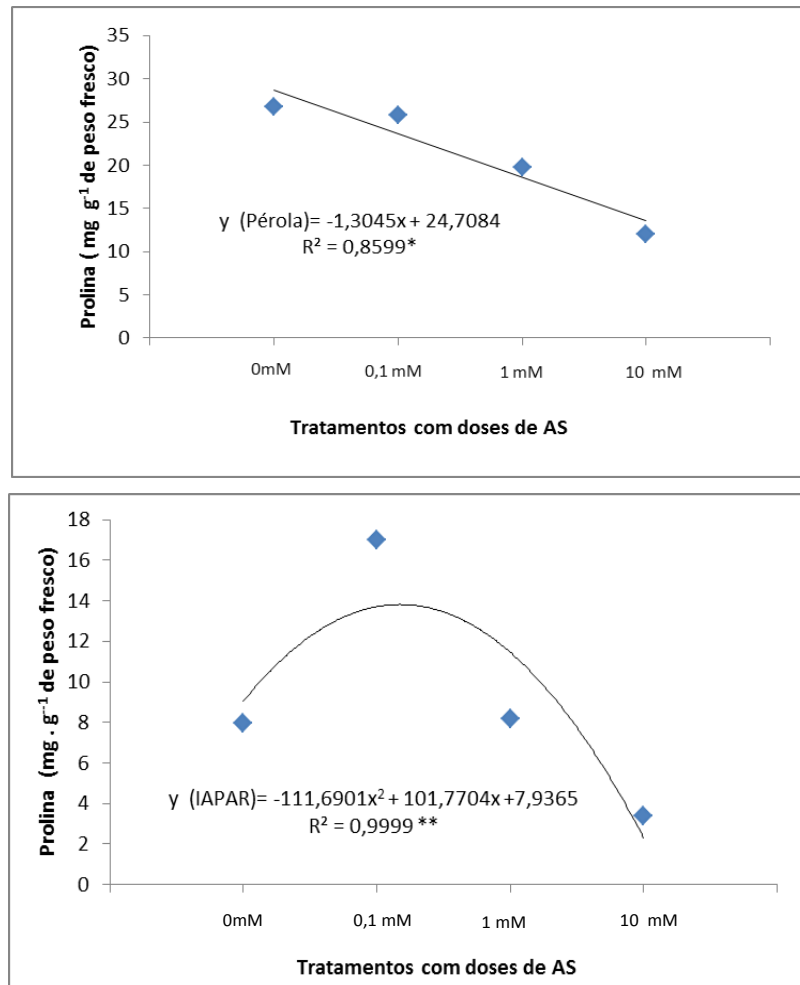
FIGURA 1 - Teor de proteínas solúveis (mg g^{-1}) em feijoeiro 'Pérola' e 'IAPAR 81' tratado com diferentes doses de ácido salicílico. Presidente Prudente, 2011



De acordo com a Figura 2, verificou-se que ambos os cultivares apresentaram resposta significativa à aplicação de AS no que diz respeito ao teor de prolina foliar. No cultivar Pérola houve uma tendência de redução linear decrescente no teor de prolina, com o aumento da dose de AS aplicada. No cultivar IAPAR 81 os teores de prolina foliar ajustaram-se a uma tendência quadrática em relação às doses crescentes de AS, apresentando um aumento até a dose de 1mM e uma posterior diminuição.

]

FIGURA 2 - Teor de prolina (mg g^{-1} de peso fresco) em feijoeiro 'Pérola' tratado com diferentes doses de ácido salicílico. Presidente Prudente, 2011



As respostas obtidas nas duas cultivares demonstraram que as plantas tratadas com AS não ativaram as formas de defesa habituais, observados pela diminuição dos teores de prolina e ausência de variação nos teores de proteínas solúveis. Desta maneira verifica-se a ausência de um efeito indutor de estresse oxidativo nas plantas de feijão devido à aplicação de AS, efeito esse que seria independente da sua ação hormonal. Adicionalmente, pode-se afirmar também a ausência de fitotoxicidade do AS nas concentrações testadas.

Durães (2006), estudando a aplicação de AS em feijão 'Aporé' e 'Guarumbé' também verificou diminuição dos teores de prolina foliar, salientando que o ácido salicílico pode inibir o acúmulo de prolina ou ativar outros sistemas de defesa da planta. Ainda, de acordo com Costa et al. (2003), nem sempre os parâmetros indicativos de estresse na planta discriminam de maneira eficiente os cultivares quanto ao seu grau de tolerância. Estes autores, testando a resposta de

variedades de feijão de corda (*Vigna umbiculata*) em condições de estresse salino, observaram que em algumas variedades os níveis foliares de prolina e proteína não foram significativamente alterados mediante à exposição ao estresse.

3.4 Conclusão

A aplicação de ácido salicílico não resultou em alterações de características bioquímicas e de componentes de produção dos cultivares de feijão IAPAR 81 e Pérola, indicando ausência de resposta ao estímulo hormonal.

REFERÊNCIAS

- BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and Soil**, v. 39, p. 205-207, 1973.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analys of Biochemistry**, v. 72, p. 248-254, 1976.
- CASTRO, P. R. C.; VIEIRA, E. L. **Aplicação de reguladores vegetais na agricultura tropical**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2001. 132 p.
- CHANDRA, A.; BHATT, R. K. Biochemical physiological response to salicylic acid in relation to the systemic acquired resistance. **Photosynthetica**, v. 35, p. 255–258, 1998.
- CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: Grãos**. Safra 2010/2011. Sétimo Levantamento. Abril, 2011. Brasília: Conab, 2011. 54p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_04_07_11_02_42_boletim_abril-2011.pdf>. Acesso em: 25 abr 2011>.
- COSTA, P. H. A. et al. Crescimento e níveis de solutos orgânicos e inorgânicos em cultivares de *Vigna umbiculata* submetidos à salinidade. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 26, n. 3, p. 289-297, 2003.
- DURÃES, M. A. B. **Respostas de duas populações de feijões (*Phaseolus vulgaris* L.) tratadas com ácido salicílico e submetidas a estresse hídrico**. 2006. 32 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 1999. 412 p.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Ecofisiologia e fenologia. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. p. 21-54.
- HARE, P. D.; CRESS, W. A. Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants. **Plant Growth Regulation**, v. 21, p. 79-102, 1997.
- HEGAZI, A. M.; EL –SHRAYI, A. M. Impact of salicylic acid and paclobutrazol exogenous application on the growth, yield and nodule formation of common bean. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 1, n. 4, p. 834-840, 2007.
- HORVÁTH, E. et al. Exogenous 4-hydroxybenzoic acid and salicylic acid modulate the effect of short-term drought and freezing stress on wheat plants. **Biologia Plantarum**, v. 51, p. 480-487, 2007.

KHAN, W.; PRITHIVIRAJ, B.; SMITH, D. L. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. **Journal of Plant Physiology**, v. 160, p. 485-492, 2003.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

MACHADO NETO, N. B. et al. Proline: use as an indicator of temperatures in bean seeds. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 4, p. 127-134, 2004.

NANJO, T. et al. Biological functions of proline in morphogenesis and osmotolerance revealed in antisense transgenic *Arabidopsis thaliana*. **The Plant Journal**, v. 18, n. 2, p. 185-193, 1999.

RAIJ, B. van. et al. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170 p.

ROCHER, F. et al. Salicylic acid, an ambimobile molecule exhibiting an high ability to accumulate in the phloem. **Plant Physiology Preview**, v. 15, p. 1-29, 2006.

SPRONSEN, V. et al. Salicylic acid inhibits indeterminate-type nodulation but not determinate type nodulation. **Mol Plant-Microb Interact**, v. 16, p. 83-91, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

VANACKER, H. et al. A role for salicylic acid and NPR1 in regulating cell growth in *Arabidopsis*. **Plant Journal**, v. 28, p. 209–216, 2001.

4 ARTIGO 2 - DEFICIÊNCIA HÍDRICA E APLICAÇÃO DE ÁCIDO SALICÍLICO NA PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE FEIJÃO

4.1 Introdução

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é um dos mais importantes componentes da dieta alimentar do brasileiro, por ser reconhecidamente uma excelente fonte proteica, além de possuir bom conteúdo de carboidratos, vitaminas, minerais, fibras e compostos fenólicos com ação antioxidante que podem reduzir a incidência de doenças. A maioria das cultivares de feijão apresenta em torno de 25% de proteína, que é rica no aminoácido essencial lisina, mas pobre nos aminoácidos sulfurados. Essa deficiência, contudo, é suprida pelo consumo dessa leguminosa com alguns cereais, especialmente o arroz, o que torna a tradicional dieta brasileira, o arroz com feijão, complementar, no que se refere aos aminoácidos essenciais (ABREU, 2005).

As interações entre planta, atmosfera e solo são complexas, do ponto de vista físico e agrônomo, porém a produtividade das culturas é diretamente proporcional ao teor de água disponível nos diferentes sub-períodos críticos do desenvolvimento das plantas. Essa disponibilidade pode ser quantificada através do balanço hídrico que é uma função da precipitação e da evapotranspiração do local (PEDRO JUNIOR et al., 1983).

O feijoeiro é uma espécie pouco tolerante à seca em decorrência de suas limitações anatômicas e fisiológicas e pela baixa capacidade de recuperação em condições de deficiência hídrica (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000). A área foliar, dentre outros fatores, é um importante fator da produção que determina o uso da água pelas plantas. O potencial de produtividade do feijoeiro é severamente inibido quando a planta é exposta ao déficit hídrico (FERNÁNDEZ et al., 1996).

Os índices de produtividade no feijoeiro são sensivelmente afetados quando ocorre deficiência hídrica no decorrer do ciclo da cultura, onde cada etapa do desenvolvimento tem sua relevância e contribui para o acréscimo ou decréscimo de produtividade. Deficiências hídricas no período de floração e enchimento de sementes apresentam maiores reflexos nos índices de produtividade, pois, são fases que estão diretamente ligas ao processo produtivo.

Diversos trabalhos e estudos são feitos com o objetivo de obter novas técnicas, produtos e estratégias para minimizar os efeitos da deficiência hídrica nas plantas, uma vez que esta deficiência nem sempre pode ser suprida de forma artificial.

O ácido salicílico (AS) é um regulador de crescimento endógeno de natureza fenólica, o qual participa da regulação de processos fisiológicos nas plantas e também está relacionado com a resistência às doenças. A função do AS como molécula sinalizadora para a indução de mecanismos de defesa na planta já é bastante conhecida (KERBAUY, 2008).

Outra importante função do AS nas plantas está relacionada à indução de tolerância aos diferentes tipos de estresse abiótico. Recentes estudos tem dado considerável importância à habilidade do AS em induzir efeitos de proteção (adaptação e resistência) em plantas sob estresse. A fim de estudar o envolvimento do AS nas respostas ao estresse abiótico, são utilizadas tanto plantas transgênicas deficientes em produzir AS, as quais expressam uma enzima bacteriana que degrada o AS em catecol, como também plantas mutantes deficientes na percepção ou na produção de AS (TAIZ; ZEIGER, 2004).

4.2 Material e Métodos

O experimento foi conduzido em viveiro de plantas com cobertura de plástico e laterais abertas, situado na Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE, em Presidente Prudente/SP, latitude 22°07'04"S; longitude 51°22'05"W e altitude de 435,5 m; no período de outubro de 2010 a janeiro de 2011. O clima é, pela classificação de Köppen, Aw mesotérmico, com verões quentes e invernos secos. O solo utilizado para o preenchimento dos vasos é proveniente de uma área de horticultura orgânica da ETEC Prof. Dr. Antônio Eufrásio de Toledo, de Presidente Prudente – SP, e foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, Eutrófico, de textura arenosa/média (Embrapa, 1999). Apresenta-se na Tabela 1 a análise físico-química do solo realizada conforme Raij et al. (2001).

TABELA 4 - Análise físico-química do solo

P	SO ₄ ⁻²	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Al ⁺³	H+Al	Mn	Fe	Cu	Zn	B
----mg dm ⁻³ -----		-----mmol _c dm ⁻³ -----					-----mg dm ⁻³ -----				
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
128	9,4	1,6	96	10	0	13	16,1	23,2	1,3	0,6	0,13
pH	M.O.	SB	CTC	M	V	Areia	Silte	Argila	Classe		
CaCl ₂	g dm ⁻³	----mmol _c dm ⁻³ ----	-----	%	%	-----g kg ⁻¹ -----	-----	-----	Textural		
6,7	22	108	120	0	89	795,7	64,3	140,0	Arenosa		

Siglas: M.O. – matéria orgânica; S.B. – soma de bases; CTC – capacidade de troca de cátions; M% - saturação por alumínio; VB% - saturação por bases.

Foram utilizados dois cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) do grupo Carioca: ‘Siriri’ e ‘Pérola’, cujas sementes foram cedidas pela empresa Selegreões, situada em Santo Anastácio - SP. As sementes utilizadas foram tratadas previamente pela empresa com fungicida. Posteriormente, foi também realizada a aplicação de inseticida no tratamento das sementes (Orthene 750 BR Sementes, na dosagem de 1 kg para cada 100 kg de sementes), visando a prevenção do ataque de pragas. O tratamento com inseticida foi feito em recipiente plástico onde foram colocados as sementes e o produto e agitado para homogeneização da aplicação.

As sementes foram semeadas em vasos com capacidade de 14 litros. A semeadura foi realizada em 26 de outubro de 2010, sendo semeadas 4 sementes por vaso e após 15 dias da semeadura foi feito o desbaste, deixando-se 2 plantas por vaso. No momento do plantio, não foi efetuada nenhuma adubação, pois as características químicas do solo se mostraram adequadas para o feijão. Realizou-se apenas uma adubação de cobertura para o fornecimento de nitrogênio e potássio, sendo utilizados 250 kg ha⁻¹ da fórmula 20-0-20 (1,8g por vaso).

A aplicação do ácido salicílico (AS), nas concentrações de 0 (pulverização com água) e 1 mM (138 mg l⁻¹), foi realizada via pulverização foliar, com intervalo semanal, iniciando-se duas semanas após o plantio e mantendo-se até o florescimento das plantas (5 aplicações no total). O produto, na formulação pó, foi pesado em balança analítica, diluído em 10 mL de etanol e finalmente dissolvido em água destilada. A pulverização foi realizada em toda a parte aérea das plantas até o ponto de gotejamento, através de pulverizador manual com capacidade para 2 litros; utilizando-se Adesil como agente espalhante (na proporção de 0,2 mL L⁻¹ de solução).

As plantas foram submetidas à deficiência hídrica nas fases de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, através da suspensão da irrigação. A deficiência hídrica imposta na fase vegetativa iniciou-se aos 15 dias após a semeadura (DAS), caracterizada pelo estágio V₃, cuja duração se deu até o início da fase reprodutiva (estágio R₅). Segundo Quintela (2001), o estágio V₃ se caracteriza pela abertura da primeira folha trifoliada e o surgimento da segunda folha trifoliada, já o estágio R₅ é caracterizado pelo aparecimento dos primeiros botões florais. Para as plantas submetidas à deficiência hídrica no período reprodutivo, a irrigação foi realizada normalmente até o 45º dia (estágio R₅), a partir do qual foram iniciados ciclos de suspensão da irrigação que foram mantidos até o período de maturação das sementes (estágio R₈), aos 85 DAS.

A interrupção da irrigação durou, em média, de 3 a 4 dias, sendo mantida até que as plantas apresentassem características visuais de déficit hídrico, como murcha das folhas trifoliadas acompanhada de enrolamento das bordas. Utilizou-se também aparelho TDR 300 Fieldscoot para verificação do teor de umidade no solo dos vasos, onde adotou-se, por convenção, que a porcentagem de 5 a 10% de água caracterizava um solo muito seco e portanto, com déficit hídrico. Após identificadas estas características, as plantas eram submetidas à irrigação até a saturação do solo novamente. A partir do momento da irrigação, iniciava-se um novo período de interrupção da irrigação, sucessivamente até o final do ciclo. As plantas controle receberam irrigação diária durante todo o ciclo.

Para cada cultivar (Siriri e Pérola), os tratamentos foram constituídos pela interação entre os três tipos de regime hídrico e as duas doses de ácido salicílico (0 e 1mM), constando-se ao todo de 12 tratamentos e 5 repetições (vasos com 2 plantas), conforme descrito abaixo:

- T1= Controle sem AS (Siriri)
- T2= Controle com AS (Siriri)
- T3 = Deficiência hídrica na fase vegetativa sem AS (Siriri)
- T4 = Deficiência hídrica na fase vegetativa com AS (Siriri)
- T5 = Deficiência hídrica na fase reprodutiva sem AS (Siriri)
- T6 = Deficiência hídrica na fase reprodutiva com AS (Siriri)
- T7= Controle sem AS (Pérola)
- T8= Controle com AS (Pérola)
- T9 = Deficiência hídrica na fase vegetativa sem AS (Pérola)

- T10 = Deficiência hídrica na fase vegetativa com AS (Pérola)
- T11 = Deficiência hídrica na fase reprodutiva sem AS (Pérola)
- T12 = Deficiência hídrica na fase reprodutiva com AS (Pérola)

O efeito da aplicação de AS nas plantas foi avaliado pelas seguintes variáveis:

- a) Área foliar ($\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$): foi avaliada por método não destrutivo, utilizando-se medidor de área foliar LI-COR (modelo Li-3000A). A avaliação foi feita medindo-se todas as folhas de cada planta, em todas as repetições, aos 60 DAS.
- b) Conteúdo de clorofila nas folhas: foi obtido através de aparelho CCM-200 (Opti- Sciences), medindo-se 3 folhas por planta, em todas as repetições.
- c) Número de nódulos por planta: após o encerramento do ciclo da cultura foi realizada a contagem dos nódulos existentes no sistema radicular. A contagem foi realizada após a retirada cuidadosa das plantas, separação do sistema radicular e lavagem das raízes.
- d) Componentes de produção: foram avaliados através da contagem do número de vagens por planta, número de sementes por planta, massa de sementes por planta (g), massa de 100 sementes (g), relação produção de sementes por área foliar (g dm^2) e produtividade (kg ha^{-1}).

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, com um arranjo fatorial de 3x2 (três regimes de irrigação e duas doses de ácido salicílico) e cinco repetições, para cada cultivar. Os dados obtidos foram tabulados e submetidos ao Teste Tukey para comparação de médias através do Programa Estatístico ASSISTAT.

4.3 Resultados e Discussão

Não houve interação significativa entre os fatores regime de irrigação e doses de AS para ambos os cultivares; tanto em relação aos parâmetros fisiológicos (teor de clorofila, área foliar, número de nódulos) como em relação aos componentes de produção (número de vagens, número de sementes/planta, massa das sementes, massa de 100 sementes, relação sementes/área foliar e produtividade).

TABELA 5 - Teor de clorofila, área foliar total ($\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$) e número de nódulos por planta de dois cultivares de feijão submetidos aos tratamentos controle (C), deficiência hídrica na fase vegetativa (FV), deficiência hídrica na fase reprodutiva (FR) e aplicação de Ácido Salicílico (AS)

Fatores	Clorofila		Área foliar		Nódulos por planta	
	Siriri	Pérola	Siriri	Pérola	Siriri	Pérola
C	41,10	42,53 a	1475 a	1470,6 a	120,1	127,7 a
FV	41,94	42,08 ab	1473,9 a	1471,6 a	121,0	116,6 ab
FR	42,10	41,24 b	1343,6 b	1354,3 b	122,3	113 b
F	0,72 ns	4,5 *	13,2 **	12,53 **	0,05 ns	3,4 *
Sem AS	40,99	41,62	1421,6	1440,8	123,2	121,46
Com AS	42,43	42,28	1440	1424,5	119,0	116,66
F	3,93 ns	3,35 ns	0,19 ns	0,54 ns	0,55 ns	0,98 ns
CV (%)	4,77	2,34	4,58	4,2	12,9	11,10

Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste Tukey.

A deficiência hídrica não exerceu influência sobre o teor de clorofila na cultivar Siriri (Tabela 2). Já o cultivar Pérola apresentou redução significativa no teor de clorofila quando ocorreu deficiência hídrica na fase reprodutiva, em relação às plantas controle. A aplicação de AS não resultou em alterações no teor de clorofilas, para ambos os cultivares.

A área foliar total foi significativamente reduzida quando a deficiência hídrica foi imposta na fase reprodutiva, para ambos os cultivares (Tabela 2), sendo que a aplicação de AS não foi capaz de reverter esse efeito negativo.

O número de nódulos produzidos por vaso não foi alterado em função dos regimes de irrigação e aplicação de AS para o cultivar Siriri (Tabela 2). Já no cultivar Pérola houve redução significativa da nodulação, para as plantas submetidas à deficiência hídrica na fase reprodutiva.

Nas plantas submetidas à deficiência hídrica, independente da fase de aplicação do ciclo de estresse, não houve diferença significativa nos componentes de produção (Tabelas 3 e 4) entre os regimes de irrigação e entre os tratamentos com e sem aplicação de AS, para ambos os cultivares. Estes resultados concordam com aqueles obtidos por Ferreira et al. (1991), os quais, trabalhando com cultivares de feijão caupi, não verificaram diferenças entre eles, nem entre regimes hídricos, ao analisarem o tamanho médio das vagens, o número de sementes por vagem e a massa média de 100 sementes. Conforme os autores, essas são características de produção normalmente resistentes às modificações induzidas por estresse ambiental. Ao contrário, Fiegenbaum et al. (1991) encontraram reduções no número de vagens por planta em feijoeiro comum com a imposição da deficiência hídrica no período de floração.

TABELA 6 - Número de vagens, número de sementes por planta e massa das sementes por planta de dois cultivares de feijão submetidos aos tratamentos controle (C), deficiência hídrica na fase vegetativa (FV), deficiência hídrica na fase reprodutiva (FR) e aplicação de Ácido Salicílico (AS)

Fatores	Número de vagens		Número de sementes por planta		Massa de sementes por planta (g)	
	Siriri	Pérola	Siriri	Pérola	Siriri	Pérola
C	3,3	3,5	10,2	11,4	3,56	4,23
FV	3,6	3,4	10,6	11,3	3,7	3,91
FR	3,6	4,0	11,0	12,6	3,76	4,28
F	0,58 ns	2,0 ns	0,26 ns	0,74 ns	0,13 ns	0,30 ns
Sem AS	3,4	3,73	10,8	12,33	3,74	4,4
Com AS	3,6	3,53	10,4	11,2	3,6	3,87
F	0,58 ns	0,58	0,19 ns	1,36	0,22 ns	1,57 ns
CV (%)	20,53	19,8	23,42	22,53	24,08	28,08

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste Tukey.

Embora tenha ocorrido redução da área foliar nas plantas submetidas à deficiência hídrica na fase reprodutiva (para os dois cultivares), a capacidade dessa área foliar reduzida em suportar a produção de sementes não foi alterada em relação às plantas controle (Tabela 4), independentemente da aplicação do AS. Blum (1997), citado por Pimentel e Peres (2000), ressalta que a diminuição da atividade fotossintética e da produtividade de plantas submetidas a déficit hídrico tem uma grande correlação com a área foliar. Entretanto, ao testarem diferentes genótipos de feijoeiro durante a indução de estresse hídrico na pré floração, estes autores verificaram que embora tenha ocorrido redução de área foliar em alguns dos genótipos (BAT 561, Ouro Negro e IPA 07), não houve redução significativa na produção de sementes, concordando com os dados deste experimento.

Segundo Ludlow e Muchow (1990), as características fenotípicas próprias para as condições específicas de suprimento de água determinam a melhor adaptação das plantas aos diferentes níveis de deficiência hídrica.

TABELA 7 - Massa de 100 sementes (g), relação produção de sementes/ área foliar (g dm^{-2}) e produtividade (kg ha^{-1}) de dois cultivares de feijão submetidos aos tratamentos controle (C), deficiência hídrica na fase vegetativa (FV), deficiência -hídrica na fase reprodutiva (FR) e aplicação de ácido salicílico (AS)

Fatores	Massa 100 sementes (g)		Relação sementes/AF		Produtividade (kg ha^{-1})	
	Siriri	Pérola	Siriri	Pérola	Siriri	Pérola
C	34,93	36,6	0,24	0,28	890	105,78
FV	34,80	34,5	0,27	0,29	922	97,78
FR	34,18	34,2	0,25	0,29	940	107,18
F	0,31 ns	0,92 ns	0,75 ns	0,09 ns	0,13 ns	0,30 ns
Sem AS	34,8	35,52	0,26	0,30	936,83	110,23
Com AS	34,53	34,68	0,25	0,27	898,16	96,91
F	0,06 ns	0,28 ns	0,29 ns	1,39 ns	0,22 ns	1,57 ns
CV (%)	6,52	12,2	23,78	29,47	24,08	28,08

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo Teste Tukey.

Existe uma grande variabilidade na tolerância à seca entre as espécies de feijão. Esta variabilidade pode ser oriunda de processos de seleção natural ou de melhoramento de plantas (seleção artificial) que levariam a diferentes caminhos de tolerância ou resistência. Essas adaptações foram selecionadas adicionalmente aos tratos agronômicos durante a domesticação (DIAMOND, 2006).

A ausência de resultados significativos observada neste experimento pode ser explicada pelo fato de que os materiais obtidos pelo melhoramento genético e recomendados para o cultivo, como os cultivares 'Siriri' e 'Pérola', passam por uma análise de estabilidade fenotípica e assim sendo, mesmo em condições ambientais oscilantes pouca variação é observada nestes genótipos. Estes resultados estão em concordância com os obtidos por Durães (2006), onde foi avaliado o efeito do estresse hídrico e aplicação de AS em feijão, verificando-se uma maior sensibilidade ao estresse na variedade silvestre (Guarumbé) em comparação com o cultivar comercial (Aporé). Ainda, de acordo com Ferreira et al. (1991), características de produção como tamanho médio de vagens, número de grãos por vagem, peso médio de 100 grãos e peso do pericarpo normalmente são resistentes às modificações induzidas por estresse ambiental.

Os índices de produtividade em geral ficaram bem abaixo da média esperada para ambos os cultivares. Durante a segunda quinzena de novembro e a primeira quinzena de dezembro ocorreram temperaturas próximas de 40°C (dados não apresentados). Tais temperaturas ambientes são consideradas muito altas para o feijoeiro e, sobretudo quando ocorrem na pré floração, causam redução no número de vagens e sementes (NORMAM, et al., 1995). Altas temperaturas, associadas a baixos índices de umidade no solo no período de enchimento e maturação das sementes, afetam o desenvolvimento das mesmas.

Os resultados de produtividade estão de acordo com Pimentel e Perez. (2000), onde foi avaliado o estresse hídrico na pré floração em 15 genótipos de feijoeiro em casa de vegetação. Os autores salientam que a variação de temperatura afetou diretamente o desenvolvimento das plantas (com redução no número de vagens e sementes na temperatura média de 40°C), dificultando a comparação de resultados em épocas distintas.

Nas condições deste experimento, a aplicação de AS não foi eficiente em promover efeitos de atenuação do estresse hídrico, tanto em relação aos parâmetros fisiológicos das plantas como em relação aos componentes de

produção. Pose-se inferir, portanto, que ambos os cultivares (Siriri e Pérola) não foram responsivos ao AS. Torna-se importante salientar que nem sempre a resposta ao AS é óbvia. Segundo Horvath et al. (2007), o efeito da aplicação exógena de AS nas plantas é dependente de uma série de fatores tais como a espécie, o estágio de desenvolvimento da planta, o modo de aplicação, a concentração de AS utilizada e o seu nível endógeno na planta em questão.

4.4 Conclusão

A aplicação de ácido salicílico não mostrou resultados significativos no controle dos efeitos prejudiciais da deficiência hídrica nos cultivares Siriri e Pérola, nas fases reprodutiva e vegetativa.

A imposição de deficiência hídrica nas fases vegetativa e reprodutiva não alterou a capacidade produtiva dos cultivares Siriri e Pérola.

REFERENCIAS

ABREU, A. F. **Sistemas de produção nº6**. Santo Antônio de Goiás, Dezembro 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoPrimSegSafraSulMG/index.htm>>. Acesso em: 25 abr 2011.

DIAMOND, J. Evolution, consequences and future of plant and animal domestication. **Nature**, v. 418, p. 700-706, 2006.

DURÃES, M. A. B. **Respostas de duas populações de feijões (*Phaseolus vulgaris* L.) tratadas com ácido salicílico e submetidas a estresse hídrico**. 2006. 32 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 1999. 412 p.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Ecofisiologia e fenologia. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. p. 21-54.

FERNÁNDEZ, C. J.; McINNIS, K. J.; COTHREN, J. T. Water status and leaf area production in water-and nitrogen-stressed cotton. **Crop Science**, v. 36, p. 1224-1233, 1996.

FERREIRA, L. G. R.; COSTA, J. O.; ALBUQUERQUE, I. M. Estresse hídrico nas fases vegetativa e reprodutiva de dois cultivares de caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 7, p. 1049-1055, 1991.

FIGENBAUM, V. et al. Influência do déficit hídrico sobre os componentes de rendimento de três cultivares de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 2, p. 275-280, 1991.

HORVÁTH, E. et al. Exogenous 4-hydroxybenzoic acid and salicylic acid modulate the effect of short-term drought and freezing stress on wheat plants. **Biologia Plantarum**, v. 51, p. 480-487, 2007.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

LUDLOW, M. M.; MUCHOW, R. C. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. **Advances in Agronomy**, v. 43, p. 107-153, 1990.

NORMAN, M. J. T.; PEARSON, C. J.; SEARLE, P. G. E. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). In: NORMAN, M. J. T.; PEARSON, C. J.; SEARLE, P. G. E. (Eds). **The ecology of tropical food crops**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. p. 208-224.

PEDRO JUNIOR, M. J.; de et al. Teste de modelo agrometeorológico para estimativa da produtividade da cultura da soja de ciclo precoce. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 3., 1983, Campinas. **Resumos...** Campinas: Fundação Cargill, 1983. 200 p.

PIMENTEL, C.; PEREZ A.J. DE L. A. C. Estabelecimento de parâmetros para a avaliação de tolerância à seca, em genótipos de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 31-39, 2000.

QUINTELA, E. D. **Manejo integrado de pragas do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2001. 28 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica, 46).

RAIJ, B. van. et al. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.