

LUCAS ANDRADE BARBOSA

**LIMITE CRÍTICO DO POTENCIAL HÍDRICO DA SOJA DURANTE OS
ESTÁDIOS VEGETATIVO E REPRODUTIVO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Cláudio Ricardo da Silva

Co-orientadora

Profa. Dra. Maria Cristina Sanches

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL

2017

LUCAS ANDRADE BARBOSA

**LIMITE CRÍTICO DO POTENCIAL HÍDRICO DA SOJA DURANTE OS
ESTÁDIOS VEGETATIVO E REPRODUTIVO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADO em 16 de Fevereiro de 2017

Profa. Dra. Maria Cristina Sanches
(co-orientadora)

UFU

Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Júnior

UFU

Prof. Dr. Márcio José de Santana

IFTM

Prof. Dr. Cláudio Ricardo da Silva

ICIAG-UFU

(Orientador)

UBERLÂNDIA

MINAS GERAIS – BRASIL

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

B238l
2017 Barbosa, Lucas Andrade, 1989
 Limite crítico do potencial hídrico da soja durante os estádios
 vegetativo e reprodutivo / Lucas Andrade Barbosa. - 2017.
 91 p. : il.

Orientador: Cláudio Ricardo da Silva.
Coorientadora: Maria Cristina Sanches.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Agronomia.
Inclui bibliografia.

1. Agronomia - Teses. 2. Soja - Teses. 3. Água na agricultura -
Teses. 4. Irrigação - Teses. I. Silva, Cláudio Ricardo da. II. Sanches,
Maria Cristina. III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de
Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU: 631

*Ao Divino Pai Eterno,
E a minha querida família,*

Dedico!

SUMÁRIO

Capítulo 1	08
1 Introdução geral	08
2 Objetivo	11
3 Revisão bibliográfica	11
3.1 Potencial químico e hídrico	11
3.2 Movimento hídrico no xilema	14
3.3 Déficit hídrico na cultura da soja	15
3.4 Câmara de pressão	17
Referências	19
Capítulo 2 - Limite crítico do potencial hídrico da soja [<i>Glycine max</i> (L.) Merrill] durante o estágio vegetativo	23
Resumo	24
Abstract	25
1 Introdução	26
2 Material e Métodos	28
2.1 Local do experimento	28
2.2 Preparação do experimento	29
2.3 Monitoramento das condições meteorológicas	30
2.4 Sistema e manejo da irrigação	30
2.5 Tratamentos	31
2.6 Avaliações	32
2.6.1 <i>Potencial hídrico do xilema</i>	32
2.6.2 <i>Área foliar e massa seca e fresca das folhas e haste</i>	33
2.6.3 <i>Altura das plantas</i>	33
2.6.4 <i>Clorofila “a” e “b”</i>	33
2.6.5 <i>Diâmetro de haste</i>	34
2.6.6 <i>Taxa de crescimento relativo das plantas</i>	34
2.6.7 <i>Análise estatística</i>	34
3 Resultados e discussão	34
Conclusão	46
Referências	47

Anexos	53
Capítulo 3 - Limite crítico do potencial hídrico da soja [<i>Glycine max</i> (L.) Merrill] durante o estágio reprodutivo	56
Resumo	57
Abstract.....	58
1 Introdução.....	59
2 Material e métodos	61
2.1 Local do experimento	61
2.2 Preparação do experimento	61
2.3 Monitoramento das condições meteorológicas.....	62
2.4 Sistema e manejo da irrigação	62
2.5 Tratamentos	63
2.6 Análise estatística	64
3 Resultados e discussão	65
Conclusão	67
Referências	68
Anexo	71
Capítulo 4 – Respostas fisiológicas da soja [<i>Glycine max</i> (L.) Merril] no pré-florescimento sob diferentes níveis déficits hídricos	73
Resumo	74
Abstract.....	75
1 Introdução.....	76
2 Material e métodos	77
2.1 Local do experimento	77
2.2 Preparação do experimento	78
2.3 Monitoramento das condições meteorológicas.....	79
2.4 Sistema e manejo da irrigação	79
2.5 Tratamentos	80
2.6 Avaliações	80
2.7 Análise estatística	81
3 Resultados e discussão	82
Conclusão	87
Referências	88

RESUMO

BARBOSA, Lucas Andrade. **Limite crítico do potencial hídrico da soja durante os estádios vegetativo e reprodutivo.** 2017. f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.¹

Um dos principais problemas enfrentados na produção de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) no Brasil é a irregularidade do período chuvoso, podendo reduzir a disponibilidade hídrica para as plantas causando o estresse hídrico por falta de água. O déficit hídrico expressivo durante os estádios vegetativo e reprodutivo da cultura pode provocar alterações fisiológicas e morfológicas nas plantas, como a presença de plantas pouco desenvolvidas, abortamento das flores, reduzido número de vagens, grão pequenos e, conseqüentemente, baixa produtividade. Uma solução para esse problema é a instalação de sistemas de irrigação nas propriedades rurais. O Brasil apresenta 29,6 milhões de hectares que podem ser irrigados, destes apenas 6,1 milhões são utilizados. Apesar de utilizar apenas 20% do potencial nacional, a agricultura é responsável pelo consumo de 75% da vazão captada nacional. Desta forma, para expandir a área irrigada no país é essencial fazer uso do manejo da irrigação. Dentre os métodos desenvolvidos, a câmara de pressão vem se destacando, pois consegue medir de forma direta o *status* hídrico das plantas, fornecendo informações da real condição da cultura no momento da leitura do equipamento. Com base no exposto, o objetivo deste estudo foi determinar, a partir da câmara de pressão, o potencial hídrico crítico do xilema nas fases vegetativa e reprodutiva para o máximo desenvolvimento da soja. Para tanto, foram realizados dois experimentos, um na fase vegetativa e o outro na reprodutiva, em casa de vegetação, utilizando o delineamento inteiramente casualizado (DIC). Os experimentos foram compostos por duas cultivares de soja, UFUS 6901 e BRASMAX Flecha IPRO (6266RSF). Tanto o primeiro como o segundo ensaio foram realizados com diferentes níveis de suprimento de água, sendo estes: sem déficit hídrico (SDH), déficit hídrico moderado (DHM) e déficit hídrico severo (DHS). Os níveis de suprimento de água foram separados na casa de vegetação nas diferentes bancadas, cada uma correspondendo a um nível do déficit hídrico. Cada bancada foi composta por 2 cultivares e 5 repetições, totalizando 10 parcelas. Na fase vegetativa foram avaliados as variáveis: altura de planta, diâmetro de haste, área foliar, massa fresca e seca da parte aérea, clorofila “a” e “b”, atividade fotossintética e potencial hídrico do xilema. Já na fase reprodutiva os parâmetros avaliados foram: altura de planta, número de vagens, número de vagens com um, dois e três grãos, altura de inserção da primeira vagem, número de nós e potencial hídrico do xilema. Todas as avaliações foram realizadas semanalmente, assim como o manejo de pragas e doenças quando necessário. Os tratamentos foram testados utilizando análise conjunta, visando determinar o limite crítico para a cultura da soja. Potenciais hídricos do xilema maiores que -0,54 MPa não são prejudiciais para o desenvolvimento e crescimento da soja nos dois estádios de desenvolvimento.

Palavras-chave: Déficit hídrico, soja, câmara de pressão, manejo da irrigação

¹Comitê Orientador: Claudio Ricardo da Silva - UFU (Orientador) e Maria Cristina Sanches - UFU (Co-orientadora)

ABSTRACT

BARBOSA, Lucas Andrade. **Critical limit of soybean water potential during vegetative and reproductive stages.** 2017. f. Dissertation (Master Program Agronomy/*Vegetable Production*) – Federal University of Uberlândia, Uberlândia, 2017.¹

With the advent of climate change, one of the main problems faced in the production of soybeans (*Glycine max* (L.) Merrill) in Brazil is the irregularity of the rainy season, which can reduce the water availability to the plants causing the water stress due to lack of water. The expressive water deficit during the vegetative and reproductive stages of the crop can cause physiological and morphological changes in the plants, such as the presence of poorly developed plants, abortion of the flowers, small number of pods, small grains and, consequently, low productivity. One solution to this problem is the installation of irrigation systems on rural properties. Brazil has 29.6 million hectares that can be irrigated, of which only 6.1 million are used. Despite using only 20% of the national potential, agriculture is responsible for the consumption of 75% of the national water flow. Thus, to expand the irrigated area in the country, it is essential to make use of irrigation management. Among the methods developed, the pressure chamber has been highlighted, as it can directly measure the water *status* of the plants, providing information on the actual condition of the crop at the time of reading the equipment. Based on the above, the objective of this study was to determine, from the pressure chamber, the critical water potential of the xylem in the vegetative and reproductive phases for maximum soybean development. For this, two experiments were carried out, one in the vegetative phase and the other in the reproductive phase, using a completely randomized design (DIC). The experiments were composed of two soybean cultivars, UFUS 6901 and BRASMÁX Flecha IPRO (6266RSF). Both the first and the second experiment were performed at different water supply levels, with no water deficit (SDH), moderate water deficit (DHM) and severe water deficit (DHS). The levels of water supply were separated in the greenhouse in the different stands, each corresponding to a level of water deficit. Each table was composed of 2 cultivars and 5 replicates, totaling 10 treatments. In the vegetative phase the parameters were: plant height, stem diameter, leaf area, fresh and dry shoot mass, chlorophyll a and b, photosynthetic activity with IRGA and water potential of the xylem, using the Sholander chamber. In the reproductive phase, the parameters evaluated were: plant height, number of pods, number of pods with one, two and three grains, height of insertion of the first pod, number of nodes and water potential of xylem. All evaluations were conducted weekly, as well as pest and disease management when necessary. The treatments were tested using a joint analysis, aiming to determine the critical limit for the soybean crop. Xylem water potential greater than -0.54 MPa is not supradient for the development of the two stages of development.

Keywords: Water deficit, soybean, pressure chamber

¹Guidance Committee: Claudio Ricardo da Silva – UFU (Major Professor) and Maria Cristina Sanches - UFU.

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO GERAL

A cadeia produtiva da soja [*Glycine max* (L.) Merrill] tem grande relevância para a economia brasileira, sendo uma cultura importante para o desenvolvimento do país, pois todas as etapas envolvidas no processo têm o potencial de gerar empregos, movimentando o mercado nacional (FARIAS et al., 2001). Somente as exportações dos grãos no período correspondente de janeiro a novembro de 2015 chegaram a 53,6 milhões de toneladas, sendo 8 milhões de toneladas superior que todo o ano de 2014 (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2016).

Pelo fato da soja apresentar esse grande valor econômico e social para o Brasil, é importante conhecer as diferentes respostas das plantas às mais variadas condições de cultivo e quais são os principais fatores ambientais que afetam o seu desenvolvimento e crescimento. Sabe-se que a soja tem grande capacidade de adaptação às mais diversas condições ambientais. Os principais fatores que interferem no seu desenvolvimento e produção são o fotoperíodo, temperatura e a disponibilidade hídrica (SOUZA et al., 2013; FARIAS et al., 2007).

A disponibilidade hídrica está entre os mais importantes recursos ambientais que limitam a produção agrícola (KUSAKA et al., 2005; BOYER, 1982). Secas prolongadas têm o potencial de reduzir a disponibilidade de água no solo e diminuir o nível hídrico das plantas, que devido às condições atmosféricas continuam a perder água pelo processo da transpiração (JALEEL et al., 2009).

Se o período de estresse hídrico durante a fase de desenvolvimento da soja persistirem por muito tempo, a falta de água pode provocar alterações fisiológicas na planta como a presença de plantas pouco desenvolvidas, declínio da fixação simbiótica de nitrogênio atmosférico, folhas pequenas, entrenós curtos, fechamento dos folíolos, diminuição da fitomassa, quedas e abortamento das flores, comprometimento da germinação de sementes, diminuição do número de vagens, vagens vazias, aumentando a suscetibilidade de patógenos e pragas, fechamento estomático, tendo como consequência uma dificuldade nas trocas gasosas e redução na produtividade (FARIAS et al., 2001; FARIAS et al., 2007; DORNBOS e MULLEN, 1990; HUBERTY e DENNO, 2004; OYA et al., 2004; SINCLAIR et al., 2007; JALEEL et al., 2009); a

nível celular o estresse hídrico causa uma redução no alongamento e divisão das células, com maior inibição no processo de alongamento (JALEEL et al., 2009).

Pode-se notar que a falta de água é muito prejudicial às plantas, por isso os produtores têm buscado estratégias para evitar ou minimizar os efeitos do déficit hídrico durante o ciclo da cultura. Uma das estratégias utilizadas é a instalação de sistemas de irrigação, que se forem manejados da maneira correta repõem a água perdida pelo processo da evapotranspiração e evitam que a planta entre no estado de estresse hídrico.

O Brasil apresenta 29,6 milhões de hectares que podem ser irrigados, destes, apenas 6,11 milhões tem sistema de irrigação (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA, 2016). Entretanto, para aumentar a área irrigada e utilizar todo o potencial nacional, é importante conscientizar os produtores que tem que ser feito o manejo da irrigação nas lavouras, pois somente a irrigação é responsável pelo consumo de 75% da vazão total nacional (ANA, 2016). Se forem adotadas boas práticas de manejo da água e do solo, os sistemas de irrigação conseguem apresentar mais de 90% de eficiência no uso dos recursos hídricos (ANA, 2016). Desta forma, é crucial determinar qual o melhor momento para ser realizada a irrigação na lavoura, por isso foram desenvolvidas diferentes técnicas para o manejo da irrigação.

As técnicas foram desenvolvidas baseadas nas condições da cultura, do solo e da atmosfera. Desta forma, as lavouras não ficam à mercê das condições climáticas, pois a partir do momento que a disponibilidade de água é monitorada, as decisões no intuito de evitar o déficit hídrico são mais assertivas.

Os valores apresentados pelos métodos via solo e atmosfera são limitados e mostram de forma indireta a necessidade de água da cultura. Desta forma, não se sabe a real condição hídrica da planta naquele momento, ou seja, se está passando um período de déficit hídrico que pode comprometer o seu desenvolvimento. Por isso, faz-se necessária a utilização de uma técnica que possibilite mostrar, no momento das medições no campo, o real estado hídrico da planta, podendo fornecer parâmetros para a tomada de decisão de quando será necessário acionar o sistema de irrigação.

Considerando que o estado hídrico da planta se altera de acordo com um gama de fatores como: disponibilidade de água no solo, condições atmosféricas e o estágio de desenvolvimento (RODRIGUES et al., 2003), o potencial hídrico na folha tem sido sugerido como uma ferramenta eficiente para manejo de irrigação (MORIANA et al., 2012).

A câmara de pressão apresenta as vantagens de ser um aparelho que tem um alto grau de confiabilidade nos resultados, facilidade e rapidez de uso (GUIMARÃES; STONE, 2008). Este tem a capacidade de medir de forma direta o estado hídrico da planta (SHAHIDIAN, 2012); é uma metodologia prática que determina a tensão da água nas paredes celulares (GIMENEZ et al., 2005), o que reflete a tensão de água nos vegetais (SHAHIDIAN, 2012).

Scholander et al. (1964) foi o precursor da técnica que utiliza a câmara de pressão para medir o potencial hídrico do xilema das diferentes espécies de importância econômica. Esse método consiste basicamente em medir a pressão hidrostática da seiva xilemática das plantas utilizando a câmara. Os valores encontrados são correlacionados com o potencial hídrico foliar. A câmara de Scholander se destaca pela praticidade da técnica, que apesar das limitações, é de fácil manejo, podendo ser operada em condições de campo, permitindo assim realizar avaliações muito rápidas e otimizar o tempo entre as leituras (RODRIGUES et al., 2003), refletindo em um maior dinamismo na tomada de decisão de quando utilizar os sistema de irrigação.

Foi demonstrado por alguns cientistas que a técnica de determinação do potencial hídrico do xilema pode ser utilizado como uma ferramenta para o manejo da irrigação nas culturas. Silva et al. (2006) determinaram que a câmara de pressão é uma boa opção para o manejo da irrigação na cultura do citros, pois para as plantas entrarem no processo da floração é necessário que passem por um estresse severo (abaixo de -2 MPa) sendo a câmara de pressão é um aparelho que consegue medir potenciais dessa magnitude.

Argyrokastritis et al. (2015), em seus trabalhos com algodão na Grécia, utilizando a câmara de pressão, mostraram que a cultivar "Julia" está mais bem adaptada às condições de déficit hídrico em relação a cultivar "Zoi". Dentre todos os trabalhos, o desenvolvido por Fulton et al. (2014) foi o único que fez uma tabela de irrigação a partir da câmara de pressão, apresentando valores de referência para todo o ciclo de diferentes culturas.

Como a soja é considerada umas das principais culturas do país e a cada ano está crescendo o seu plantio em área de pivô central, se o produtor tiver acesso aos valores de potenciais hídricos críticos do xilema para as duas fases de desenvolvimento, vegetativo e reprodutivo, isso irá facilitar o manejo de irrigação evitando o déficit hídrico.

2 OBJETIVO

Tendo como base o exposto, o objetivo deste trabalho é fazer uma relação entre os resultados apresentados pela câmara de pressão (Câmara de Scholander) e os encontrados pelos parâmetros agrônômicos medidos. A partir dessa relação será determinado quais são potenciais hídricos críticos tanto na fase vegetativa como na reprodutiva para o máximo desenvolvimento da soja.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Potencial químico e hídrico

O potencial químico (μ) de uma substância é a sua energia livre que está associada com a capacidade de realizar trabalho. O conceito de energia livre, em termodinâmica, nada mais é que o potencial que as substâncias têm de realizar trabalho (MELO e SOARES, 2004). As substâncias movem-se de um local que apresenta maior potencial químico para um de menor potencial; esse processo também acontece com a água, que nos diferentes sistemas naturais (solo, atmosfera e planta) busca sempre o equilíbrio. O deslocamento hídrico é dependente de alguns fatores como a pressão, concentração, potencial elétrico e gravidade (KERBAUY, 2008). Para as plantas, os fatores concentração, pressão e gravidade são os que mais interferem na disponibilidade hídrica (MELO e SOARES, 2004).

O cálculo do potencial químico da água pode ser feito com a molécula estando sob pressão, em soluções osmóticas e para a água presente na atmosfera (LAMBERS, 2008). Entretanto, a água pura sob condições padronizadas (298 Kelvin e pressão padrão) apresenta o potencial químico igual a zero (LAMBERS, 2008). O mais importante no estudo do potencial químico é ter o gradiente de potencial, entre o potencial químico da água em uma solução (μ_w) e o potencial químico da água pura (μ_w^*) (KERBAUY, 2008).

Os fisiologistas, no intuito de facilitar o entendimento do movimento hídrico entre as células e ao longo da planta, adaptaram as unidades de potencial químico, convertendo energia livre por mol para energia por unidades de volume. Essa adaptação

fez com que as unidades fossem compatíveis com as unidades de pressão, facilitando o entendimento do movimento da água.

Desta forma, ficou mais simples determinar mudanças de pressão nos vegetais e surgiu o termo potencial hídrico (Ψ_w), que é equivalente ao gradiente $\mu_w^* - \mu_w$ (KERBAUY, 2008). O potencial hídrico nada mais é o potencial químico em uma parte do sistema, comparado com o potencial químico da água pura na mesma temperatura e pressão atmosférica (LAMBERS, 2008). O potencial hídrico indica a quantidade de trabalho necessário para transformar a água ligada em água pura (KERBAUY, 2008).

Pelo fato da definição de potencial hídrico ser derivada do conceito de potencial químico, tem-se uma similaridade na direção aonde irá ocorrer o movimento da água, movimentando dos locais de maiores potenciais hídricos para o de menores potencial hídrico. Representando, assim, o *status* da água no solo, nas plantas e na atmosfera (LAMBERS, 2008).

O potencial hídrico é representado pela soma dos potenciais, osmótico (Ψ_s), pressão (Ψ_p), gravitacional (Ψ_g) e mátrico (matricial) (Ψ_m) (Equação 1). Os termos da equação do Ψ_w representam os efeitos que os solutos, pressão, gravidade (MELO; SOARES, 2004) e a força de adsorção que os materiais sólidos exercem sobre a água. Entretanto, em grande parte do sistema vegetal o potencial hídrico é expresso somente pelo potencial osmótico e de pressão.

Equação 1

$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p + \Psi_g + \Psi_m$$

O potencial osmótico ou potencial do soluto (Ψ_s) é o potencial químico da água em uma solução devido à presença de materiais dissolvidos; basicamente é o soluto dissolvido sobre a água que tem o potencial de diminuir a energia presente no sistema, sendo o efeito dos solutos em uma determinada solução (LAMBERS, 2008; KERBAUY, 2008; SALISBURY; ROSS, 2013). O potencial osmótico sempre será negativo por causa do efeito dos solutos, diminuindo a capacidade da água de realizar trabalho. Essa diminuição é devido ao efeito da entropia, no qual, a diluição dos solutos na água tem o potencial de desorganizar o sistema, reduzindo a energia livre (MELO e SOARES, 2004). A nível celular, o potencial osmótico é representado pelas substâncias que estão dissolvidas nas células; em geral o conteúdo dos vacúolos tem valores na faixa de -0,1 a -0,3 MPa (LAMBERS, 2008; KERBAUY, 2008). Para os vegetais, a principal

importância do potencial osmótico encontra-se nas raízes, pois é ele que possibilita a absorção de água (MAIA et al., 2013).

O potencial de pressão (Ψ_p) representa a pressão hidrostática, que pode ser negativa ou positiva, o que vai depender da situação em que o organismo se encontra, estando relacionada com a pressão física que a água exerce nos sistemas. As pressões positivas são encontradas, normalmente, no interior das células vivas (SALISBURY; ROSS, 2013), por causa da hidratação do protoplasto que é empurrado contra a parede celular que resiste a expansão. Nesse caso o Ψ_p é denominado de pressão de turgor; as pressões negativas ocorrem nos vasos do xilema e solo (SALISBURY; ROSS, 2013). As células podem se comportar de duas maneiras: as com pressão de turgor (túrgidas) e as sem pressão de turgor (flácidas). No momento em que a pressão hidrostática encontra-se abaixo da pressão atmosférica, o Ψ_p apresenta valores negativos, que são denominados de tensão. As tensões são importantes no deslocamento da água através da planta; nos vegetais quando estão transpirando as tensões são encontradas nos vasos do xilema. (LAMBERS, 2008; KERBAUY, 2008).

O potencial gravitacional (Ψ_g) no sistema solo-planta tem sido desprezado, pois não tem grande importância dentro das raízes ou folhas; ele é significativo no deslocamento hídrico nas árvores altas. Entretanto, os fatores que influenciam o Ψ_g é a altura, densidade da água e a força da gravidade.

A relação entre o potencial hídrico da planta e o potencial hídrico do solo é representada pelo potencial matricial (Ψ_m), pois este é a força com que a água é absorvida nas superfícies das paredes celulares, partículas do solo ou colóides, que são similares as forças nos vasos do xilema (LAMBERS, 2008). Quando sólidos ou substância insolúveis estão em contato com a solução hídrica, estes têm a capacidade de atrair as moléculas de água e reduzem o potencial hídrico, pois diminuem a energia livre da água (KERBAUY, 2008).

Nas células e nos tecidos vegetais, o potencial hídrico, geralmente, é representado somente pelos fatores Ψ_s e Ψ_p . O Ψ_g , é omitido em plantas que apresentam alturas de transporte de água menores que 5 metros (m). Já no apoplasto, parede do lúmen e células mortas (elementos de vaso, traqueídeos e fibras), os fatores Ψ_s , Ψ_p e Ψ_m são os que influenciam no Ψ_w (KERBAUY, 2008).

3.2. Movimento hídrico no xilema

A água presente no solo é absorvida pelas plantas através das raízes; no xilema ocorre a distribuição para os diferentes órgãos vegetais (LOPES; LIMA, 2015). A disponibilidade hídrica de uma cultura é a junção dos fatores, demanda atmosférica, potencial hídrico do solo, densidade e distribuição das raízes, associadas a outras características (SCOTT; GEDDES, 1979). Por causa da demanda atmosférica, que é muito elevada, uma planta tem a capacidade de perder cerca de 99% de toda a água absorvida pelo sistema radicular. Esse processo é conhecido como transpiração (RAVEN et al., 2007). A transpiração é responsável por grande parte da transferência da água que está presente no solo para a atmosfera (LOPES; LIMA, 2015).

A transpiração só acontece nos vegetais por causa dos fatores presentes no sistema solo-planta-atmosfera apresentarem um potencial hídrico diferente, fazendo com que ocorra um gradiente de potencial. O potencial hídrico presente no solo é mais alto e o da atmosfera é mais baixo; a planta tem um potencial intermediário, desta forma existe um fluxo de água saindo do solo, passando pela planta até atmosfera (SALISBURY; ROSS, 2013). A transpiração é um processo importante para o movimento hídrico nas plantas, pois cria uma gradiente de potencial hídrico.

No momento que a água que envolve as paredes celulares das folhas evapora, esta é repostada pela água presente no interior das células; desta forma a concentração de solutos na célula aumenta e, conseqüentemente, tem uma diminuição do potencial hídrico. A célula adjacente com o potencial hídrico maior perde água para a célula desidrata, e para o sistema entrar em equilíbrio, essa sucessão de eventos ocorre até o momento que atinge o feixe vascular onde ocorre uma “sucção” ou tensão na água do xilema (RAVEN et al., 2007). Pelo fato da seiva do xilema estar muito diluída em água o Ψ_s é um pouco negativo, entretanto a água está sempre sob tensão e o Ψ_p é negativo. Já as células das folhas apresentam Ψ_s muito negativo por causa da grande concentração de solutos no seu interior (SALISBURY; ROSS, 2013).

O xilema é considerado o principal tecido condutor de água nos vegetais, sendo composto por duas células condutoras, os traqueídeos e os elementos de vasos. No interior do xilema, a água é transportada por fluxo em massa. Esse movimento é causado por um gradiente de potencial de pressão (Ψ_p) que é gerado entre as extremidades do sistema, raiz e folhas (KERBAUY, 2008).

O movimento hídrico no xilema só é possível por causa de dois fatores: o gradiente de potencial hídrico e as propriedades da coesão e tensão da água. A coesão é a atração entre as moléculas de água, que só ocorre por causa das pontes de hidrogênio. A tensão é a atração entre as moléculas de água e as superfícies, esta que proporciona a ligação entre as moléculas e as paredes do xilema. As duas forças juntas proporcionam a unidade da coluna de água, por isso ela resiste às tensões impostas nos vasos do xilema.

O processo de transporte da água é feito no sentido ascendente das raízes para a atmosfera, onde a água é absorvida do solo e transportada pela planta no estado líquido, sendo liberada para a atmosfera no estado gasoso (SCOTT; GEDDES, 1979). As diferenças entre as taxas de absorção e transpiração determinam o balanço interno de água nas plantas, o que interfere diretamente os processos fisiológicos e bioquímicos, afetando no crescimento das mesmas (TEARE; KANEMASU, 1972). Sob condições em que a transpiração é igual à absorção de água pelas raízes, o fluxo de água nas plantas só ocorre, pelo fato de existir uma resistência de atrito nos vasos condutores (JARVIS, 1976).

Em muitas espécies, o potencial hídrico médio presente no mesófilo foliar é semelhante ao potencial de pressão presente no xilema, isto porque nas extremidades das plantas a concentração de solutos na água presente no xilema é baixa, por isso, ocorre o equilíbrio de forma rápida entre o potencial hídrico das células e dos vasos do xilema (JARVIS, 1976).

3.3. Déficit hídrico na cultura da soja

Um dos principais problemas ambientais enfrentados nas lavouras é o déficit hídrico que causa distúrbios nas plantas e tem um reflexo direto na produção. Segundo Jaleel et al., (2009), o déficit hídrico tende a desorganizar o equilíbrio das plantas, mudando as condições fisiológicas.

O início do déficit hídrico é observado quando a planta não consegue mais fazer um ajuste entre os processos de absorção de água e a transpiração, então nesse momento ocorre uma restrição da transpiração pelo fato de não haver água disponível no solo (FARIAS et al., 2007). Segundo Lopes e Lima (2015) o déficit hídrico começa quando a taxa de transpiração é maior que a taxa de absorção hídrica, nesse ponto ocorre uma perda de turgescência plena das células e tecidos dos vegetais. É importante salientar

que o estresse hídrico é uma situação que pode acontecer em dois momentos distintos no solo, quando o mesmo encontra-se inundado ou seco. Quando o solo está seco, o estresse hídrico é sinônimo de déficit hídrico (LOPES; LIMA, 2015).

O processo da transpiração acontece por causa da demanda evapotranspirativa da atmosfera, pois ela apresenta potenciais hídricos muito negativos, o que influencia na quantidade de água perdida pelas folhas, o que implica na maior ou menor absorção radicular de água (BERGAMASCHI et al., 1999).

A perda de vapor de água pelas folhas, no processo da transpiração, depende das condições atmosféricas no qual o vegetal está inserido; já a absorção de água está ligada às condições hídricas do solo (SCOTT; GEDDES, 1979). Segundo Rosadi et al. (2005), o estresse ocorre a partir do momento que a taxa de absorção de água pelas plantas é menor que a taxa de evapotranspiração, isso ocorre quando a quantidade de água no solo é menor que a disponibilidade crítica de água no solo. Em outras palavras, é quando o solo apresenta um conteúdo hídrico abaixo do que pode suportar. Sendo que, quando a disponibilidade hídrica está no ponto ou acima da θ_c (Unidade crítica), a evapotranspiração atual (ET_a) é a mesma que a evapotranspiração máxima (ET_m), no momento que o conteúdo de água no solo está abaixo da θ_c , $ET_a < ET_m$ ou $ET_a/ET_m < 1$, a planta está passando por um período de estresse hídrico (ROSADI et al., 2005). A ocorrência de estresse hídrico começa no momento em que a taxa de perda de água pela transpiração é maior que a absorção de água pelas raízes das plantas (SCOTT; GEDDES, 1979; BRAY, 1997). O início do déficit hídrico surge quando as células da planta, que estão localizadas perto do caminamento do fluxo de água, na tendência de manter o sistema em equilíbrio, começam a exportar água para fora (JARVIS, 1976).

A intensidade com que as plantas vão sentir o déficit hídrico depende prioritariamente da taxa de perda de água (transpiração), da intensidade e duração da condição de estresse, da espécie e do estágio de desenvolvimento (BRAY, 1993; CHAVES et al., 2002), sendo este modificado de acordo com o ambiente e os fatores fisiológicos das plantas (TANGUILIG et al., 1987). Em contrapartida, as respostas que as plantas dão para evitar o déficit hídrico dependem de alguns fatores, como: espécie e genótipo, duração e intensidade da falta de água, do estágio de desenvolvimento e idade do vegetal, dos tipos de célula e órgãos (BRAY, 1997). Uma das estratégias desenvolvidas pelas plantas é o aumento no teor de açúcar no decorrer do período de diminuição no potencial hídrico foliar, isso ocorre devido ao ajuste osmótico devido à síntese e à translocação de sacarose nas estruturas da planta (SOUZA et al., 2013). Essas

respostas envolvem mecanismos que evitam a perda de água, protegendo a célula e reparando os danos sofridos por essa condição (BRAY, 1997).

Dependendo do momento em que ocorre o estresse hídrico, a planta de soja responde de maneiras diferentes. Quando o estresse ocorre no início da floração a planta reduz no número de vagens; quando a falta de água tem início após a floração e durante o período de floração ocorre uma redução no número de vagens por planta e também no tamanho das sementes. Esse mesmo sintoma é notado no final do período de floração e enchimento de vagens (SINCIK et al., 2008; OYA et al., 2004).

O estresse hídrico faz com que ocorra uma diminuição no potencial de água nas folhas e uma abertura nos estômatos, que conseqüentemente diminui a regulação dos genes relacionados à fotossíntese e à disponibilidade de CO₂ (OSAKABE et al., 2014).

3.4. Câmara de pressão

A câmara de pressão foi desenvolvida por Scholander et al. (1964) com a finalidade de mensurar o potencial hídrico presente nas plantas. O método desenvolvido é capaz de quantificar o estado hídrico de diferentes espécies, podendo indicar se ela está passando por um processo de estresse ou não. Ao longo do dia as plantas estão sujeitas a picos na temperatura que podem interferir no seu metabolismo e causar déficits hídricos de curta duração (MORANDO et al., 2014). Por isso, é importante a quantificação da falta de água através da medição do potencial de água na folha (HSIAO, 1973). A pressão negativa dos vasos das plantas pode refletir o potencial osmótico nas suas células (SCHOLANDER et al., 1964). Isso só é possível porque a parede celular é constituída por micélios permitindo o fluxo da massa de água e solutos (SCHOLANDER et al., 1965).

A metodologia desenvolvida por Scholander et al. (1964) é precisa, embora apresente um problema no momento da amostragem da seiva do xilema. Esta se encontra sob pressão negativa nas condições normais de transpiração, no momento do corte da haste ocorre a entrada de ar e não o extravasamento da seiva presente no xilema. E, desta forma, as medições realizadas sob essas condições traumáticas, muitas vezes, diferem das medições que são realizadas quando a planta está intacta (SCHURR, 1998). Mas se a técnica for executada com cuidado, a utilização da câmara do

Scholander pode mostrar a pressão da seiva no momento do corte do galho (SCHOLANDER et al., 1965).

Esse método consiste basicamente no incremento da pressão ao redor da folha até o momento que a seiva do xilema aparece na extremidade da área cortada, nesse instante o valor encontrado no manômetro expõe a pressão atmosférica do local em estudo (BOYER, 1966). Segundo Salisbury e Ross (2013), no momento da exsudação da seiva no vaso do xilema ocorre a transpiração pela osmose reversa, saindo praticamente água pura do vaso. Os valores encontrados pela câmara de pressão estão ligados ao potencial de água na folha; valores próximos de zero significam que a planta, provavelmente, não está sob estresse hídrico, entretanto quando a quantificação chegar a valores muito negativos ou iguais ao potencial osmótico, nesse caso, a planta está sob forte estresse hídrico (MORANDO et al., 2014).

Os valores apresentados pela câmara de Scholander são referentes ao potencial osmótico da seiva e variam de -0,4 a -2,0 MPa para a maioria das plantas cultivadas (SALISBURY; ROSS, 2013). É importante salientar que os resultados dos potenciais osmóticos apresentam variações dentro da mesma planta, as folhas mais novas apresentam potenciais mais negativos (SALISBURY; ROSS, 2013).

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil. **Informe 2016**. Disponível em: < <http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/informe-conjuntura-2016.pdf>>. Acesso em: 27 dez. 2016.
- ARGYROKASTRITIS, I. G.; PAPASTYLIANOU, P. T.; ALEXANDRIS, S. Leaf water potential and crop water stress index variation for full and deficit irrigated cotton in Mediterranean conditions. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, Patras, Greece, v. 4, p. 463 – 470, 2015.
- BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; MATZENAUER, R.; FONTANA, D. C.; CUNHA, G. R.; SANTOS, M. L. V.; FARIAS, J. R. B.; BARNI, N. A. **Agrometeorologia aplicada a irrigação**. 2. ed., Porto Alegre, UFRGS, p. 25, 1999.
- BOYER, H. J. Plant productivity and environment. **Science**, v. 218, p. 443-448, 1982
- BOYER, J. S. Leaf water potentials measured with a pressure chamber. **Plant Physiology**. Connecticut, v. 42, p. 133-137, 1966.
- BRAY, E. A. Molecular Responses to water deficit. **Plant Physiology**, Riverside, v. 103, p. 1035-1040, 1993.
- BRAY, E. A. Plant responses to water deficit. **Trends in Plant Science**. [S.L], n. 2, p. 48-54, 1997.
- CÂMARA, G. M. S.; HEIFFIG, L. S. Fisiologia, ambiente e rendimento da cultura da soja. In: CÂMARA, G. M.S. (Edit.). **Soja: tecnologia da produção II**. Piracicaba: ESALQ, p. 81-119, 2000.
- CHAVES M.M., J.S. PEREIRA, J. MAROCO, M.L. RODRIQUES, C.P.P. RICARDO, M.L. OSORIO, I. CARVATHO, T. FARIA AND C. PINHEIRO. How plants cope with water stress in the field photosynthesis and growth? **Annals of Botany**, v. 89, p. 907–916, 2002.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_01_12_09_00_46_boletim_graos_janeiro_2016.pdf>. Acesso em: 29 set. 2016.
- DORNBOS, D. L. Jr.; MULLEN, R. E. Influence of stress during soybean seed fill on seed weight, germination, and seedling growth rate. **Canadian Journal of Plant Science**. Iowa, v. 71, n. 2, p. 373-383, 1990.
- FARIAS, J. R. B.; ASSAD, E. D.; ALMEIDA, I. R.; EVANGELISTA, B. A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 415-421, dez. 2001.
- FARIAS, J. R.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da Soja**. Circular Técnica 48. Londrina, PR, Setembro, 2007.

FULTON, A.; GRANT, J.; BUCHNER, R.; CONNELL, J. Using the pressure chamber for irrigation management in Walnut, Almond and Prune. **UC Peer Reviewed**. University of California. 2014.

GIMENEZ, C.; GALLARDO, M.; THOMPSON, R. Plant–Water Relations. In: **Encyclopedia of Soils in the Environment**. Elsevier, v. null, p. 231-238, 2005.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F. Métodos de avaliação das condições hídricas das plantas. **Comunicado Técnico 161**. Santo Antônio, ed. 1, 2008.

HSIAO, T. C. Plant responses to water stress. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 24, p. 519-570, 1973.

HUBERTY, A. F.; DENNO, R. F. Plant water stress and its consequences for herbivorous insects: a new synthesis. **Ecology**, Maryland (USA), v. 85, n. 5, p. 1383-1398, 2004.

JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; WAHID, A.; FAROOQ, M.; AL-JUBURI, H. J.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. **International Journal of Agriculture & Biology**. [S.L], v. 11, n. 1, p. 100-105, janeiro, 2009.

JARVIS, P. G. The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. **Biological Sciences**. Edinburgh, v. 273. p. 593-610, 1976.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Guanabara Koogan, 1º ed, p. 472, 2008.

KUSAKA, M.; OHTA, M.; FUJIMURA, T. Contribution of inorganic components to osmotic adjustment and leaf folding for drought tolerance in pearl millet. **Physiologia Plantarum**. Japan, v. 125, n, 4, p. 474-489, Dezembro, 2005.

LAMBERS, H. **Plant Physiological ecology**. 2º ed, New York, Springer, p. 610, 2008.

LOPES, N. F.; LIMA, M. G. S. **Fisiologia da produção**. Editora UFV. Viçosa, p. 492, 2015.

MAIA, F. E.; ALVARES, H. V.; SANTOS, A. E. C.; MELO, H. F.; SOUZA, E. R. Potencial osmótico como ferramenta alternativa na avaliação de salinidade em solo no semiárido pernambucano. **XIII Jornada de ensino, pesquisa e extensão (JEPEX 2013)**. Recife, 09 a 13 de dezembro, 2013.

MELO, R. F.; SOARES, T. M. **A importância do conhecimento do potencial da água no sistema solo-planta-atmosfera**. Escola superior de agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba/SP, p. 44, 2004.

MORANDO, R.; SILVA, A. O.; CARVALHO, L. C.; PINHEIRO, M. Déficit hídrico: efeito sobre a cultura da soja. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 3, n. especial, p. 114-129, 2014.

MORIANA, A. PÉREZ-LÓPES, D. PRIETO, M. H. RAMÍREZ-SANTA-PAU, M. RODRIGUEZ, J. M. P. Midday stem water potential as a useful tool for estimating irrigation requirements in olive trees. **Agricultural Water Management**, Spain, v. 112, p. 43-54, 2012.

OSAKABE, Y.; OSAKABE, K. SHINOZAKI, K.; TRAN, L-S. P. Response of plants to water stress. **Frontiers in Plant Science**. Tsukuba, v. 5, n. 86, 2014.

OYA, T.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; TOBITA, S.; ITO, O. Drought tolerance characteristics of Brazilian soybean cultivars - Evaluation and characterization of drought tolerance of various Brazilian soybean cultivars in the field. **Plant Prod. Sci.** Londrina v. 7, n. 2, p. 129-137, 2004.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. O movimento de água e solutos nas plantas. **Biologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. Ed. 7, cap. 30, p.685. 2007.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; ROMAN, E. S. Avaliação do Potencial Hídrico Foliar em Plantas de Trigo. Passo Fundo: **Embrapa Trigo**. (Embrapa Trigo. Circular Técnica Online; 15), p. 12, 2003.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Fisiologia das plantas**. Cengage Leming, São Paulo, , ed. 4, p. 792, 2013.

SCHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.Y.; HEMMINGSEN, E.A.; BRADSTREET, E.D. Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of mangroves and some other plants. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, New Haven, Conecticut, v. 52, n. 1, p. 119-125, 1964.

SCHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.T.; HEMINGSEN, E.A.; BRADSTREET, E.D. Hydrostatic pressure and osmotic potenciales in leaves of mangroves and some other plants. **Proceedings of the National Academy Science**, [S.L] v. 51, p. 119-125, 1965.

SCHURR U. Xylem sap sampling - new approaches to an old topic. **Trends in Plant Sciences**. [S.L], v. 3, p. 293–298, 1998.

SCOTT, H. D.; GEDDES, R. D. Plant water stress of Soybean (*Glycine max*) and common cocklebur (*Xanthium pensylvanicum*): A comparison under field conditions. **Weed Science**. [S.L], v. 27, n. 3, p. 285-289, 1979.

SILVA, C. R.; JÚNIOR, J. A.; SILVA, T. A.; FOLEGATTI, M. V.; SANTOS, R. A.; SOUZA, L. B. **Déficit hídrico em citros: informações para o manejo da irrigação**. Terezina (PI), v. 27, n.1, p. 119-130, 2006.

SINCLAIR, T. R.; PURCELL, L. C.; KING, C. A.; SNELLER, C. H.; CHEN, P.; VADEZ, V. Drought tolerance and yield increase of soybean resulting from improved symbiotic N₂ fixation. **Field Crops Research**, v. 101, n. 1, p. 68-71, 2007.

SINCIK, M.; CANDOGAN, B. N.; DEMIRTAS, C.; BÜYÜKCANGAZ, H.; YAZGAN, S.; GÖKSOY, A. T. Deficit Irrigation of Soyabean (*Glycine max* (L.) Merr.) in a Sub-humid climate. **Journal of Agronomy and Crop Science**, [S.L]v. 194, n. 3, p. 200-205, 2008.

SHAHIDIAN, S.; Gestão de água no Regadio, in: **Hidrologia Agrícola**. ICAAM-ECT Universidade de Évora, 2012.

SOUZA, G. M.; CATUCHI, T. A.; BERTOLLI, S.; SORATTO, R. P. Soybean Under Water Deficit: Physiological and Yield Responses. **A Comprehensive Survey of International Soybean Research - Genetics, Physiology, Agronomy and Nitrogen Relationships**. 2013.

TANGUILIG, V. C.; YAMBAO, E. B.; O'TOOLE, J. C.; DE DATTA, S. K. Water stress effects on leaf elongation, leaf water potential, transpiration, and nutrient uptake of rice, maize, and soybean. **Plant and Soil, Dordrecht**, [S.L], v. 103, n. 1, p. 155-168, 1987.

TEARE, I. D.; KANEMASU, E. T. Stomatal-Diffusion resistance and water potential of soybean and sorghum leaves. **The new phytologist**. Kansas, v.71, n. 5, p. 805-810, 1972.

CAPÍTULO II

LIMITE CRÍTICO DO POTENCIAL HÍDRICO DA SOJA [*Glycine max* (L.) Merrill] DURANTE O ESTÁDIO VEGETATIVO

LIMITE CRÍTICO DO POTENCIAL HÍDRICO DA SOJA [*Glycine max* (L.) Merrill] DURANTE O ESTÁDIO VEGETATIVO

Resumo: O déficit hídrico está entre os principais problemas enfrentados pela agricultura brasileira, sendo responsável por quedas na produtividade da soja em todo o território nacional. A soja é uma cultura que se mantém por longos períodos de estiagem, as plantas passam por alterações morfológicas e fisiológicas. Essas modificações nas estruturas têm como consequência a redução da produtividade. Uma solução para esse problema é a instalação de sistemas de irrigação nas propriedades agrícolas. Entretanto, faz-se necessário que seja feito um manejo no sistema de irrigação para evitar que, mesmo com disponibilidade de água, as plantas passem por curtos períodos de déficit hídrico e para minimizar o desperdício hídrico pelo equipamento utilizado na irrigação, advinda de decisões equivocadas do técnico responsável. Dentre os métodos desenvolvidos para essa finalidade, a câmara de pressão vem se destacando por ser um método simples, rápido e seguro. Esse equipamento consegue mostrar o *status* hídrico da planta no momento das medições, dando suporte para a tomada de decisões no manejo da irrigação. No entanto, pouco se conhece sobre os potenciais hídricos do xilema na soja e como ele se relaciona com as características agrônomicas. O presente estudo teve como objetivo relacionar os resultados apresentados pela câmara de pressão com os parâmetros agrônomicos e, desta forma, encontrar potenciais do xilema que indiquem qual o melhor momento para ser realizada a irrigação. Para tanto, no ano de 2016 foi instalado um ensaio em casa de vegetação na fazenda Capim Branco, Uberlândia, MG. A implantação da cultura ocorreu no dia 16/03/2016 com a semeadura das cultivares de soja UFUS-6901 e BRASMÁX Flecha IPRO 6266RSF. O ensaio foi composto por três níveis de déficit hídrico, SDH - Sem Déficit hídrico (100% Capacidade de Campo), DHM - Déficit Hídrico Moderado (55% CC) e DHS - Déficit Hídrico Severo (45% CC). O delineamento estatístico utilizado para cada déficit hídrico foi o inteiramente casualizado, com 5 repetições por cultivar, a comparação entre médias foi feita através da metodologia da análise conjunta. As avaliações realizadas foram: potencial hídrico do xilema, área foliar total, altura de planta, clorofila “a” e “b”, diâmetro de haste, massa fresca e seca das folhas e haste. Com base nos resultados, conclui-se que potenciais hídricos do xilema maiores que -0,54 MPa não são prejudiciais para o crescimento e desenvolvimento da cultura da soja durante a fase vegetativa. A soja apresenta desenvolvimento normal estando sob potenciais hídricos de até -0,87 MPa até o estágio V4. Potenciais hídricos do xilema abaixo de -0,90 MPa são prejudiciais para a cultura durante a fase vegetativa, pois causam redução em todos os parâmetros agrônomicos avaliados, com exceção da clorofila “a” e “b”.

Palavras-chave: Câmara de pressão; potencial hídrico do xilema; soja; déficit hídrico

CRITICAL LIMIT OF SOYBEAN WATER POTENTIAL [*Glycine max* (L.) Merrill] DURING THE VEGETATIVE STAGE

Abstract: The water deficit is among the main problems faced by Brazilian agriculture, being responsible for falls in soybean productivity throughout the national territory. Soya is a crop that remains for long periods of drought, plants, in order to perpetuate the species, undergo morphological and physiological changes. These changes in structures result in reduced productivity. One solution to this problem is the installation of irrigation systems on farms. However, it is necessary to make a management in the irrigation system to avoid that even with availability of water, the plants will go through short periods of water deficit and to minimize the waste of water by the equipment, resulting from mistaken decisions of the technician responsible. Among the methods developed for this purpose, the pressure chamber has stood out for being a simple, fast and safe method. This equipment can show the water status of the plant at the moment of the measurements, giving support to the decision making in irrigation management. However, little is known about the water potentials of xylem in soybean and how it relates to the agronomic characteristics. The present study had as objective to relate the results presented by the pressure chamber with the agronomic parameters and, in this way, to find xylem potentials that indicate the best time to be irrigated. In order to do so, in 2016 a test was installed in a greenhouse at the Capim Branco farm, Uberlândia (MG). The implantation of the crop occurred on 03/16/2016 with the sowing of soybean cultivars UFUS-6901 and BRASMÁX Flecha IPRO 6266RSF. The study consisted of three levels of water deficit, SDH - No Water Deficit (100% CC), DHM - Moderate Water Deficit (55% CC) and DHS - Severe Water Deficit (45% CC). The statistical design used for each water deficit was the completely randomized, with 5 replications per cultivar, the comparison between averages was done through the methodology of the joint analysis. The evaluations were: water potential of xylem, total leaf area, plant height, chlorophyll a and b, stem diameter, fresh and dry mass of leaves and stem. Based on the results, we conclude that xylem water potentials greater than -0.54 MPa are not detrimental to the growth and development of the soybean crop during the vegetative phase. Soya has normal development under water potentials up to -0.87 MPa up to stage V4. Water potentials of xylem above -0.90 MPa are detrimental to the crop during the vegetative phase, since they cause reduction in all evaluated agronomic parameters, except chlorophyll a and b.

Keywords: Chamber of pressure; water potential of xylem; soybean; water deficit

1 INTRODUÇÃO

A cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill] tem grande capacidade de resposta às mais diversas condições ambientais. Dentre os fatores que podem trazer prejuízos para o seu crescimento e desenvolvimento está a disponibilidade hídrica do solo (SOUZA et al., 2013; FARIAS et al., 2007). Isso porque a água está presente em todos os processos bioquímicos e fisiológicos das plantas, representando, aproximadamente, 90% do peso total dos vegetais (EMBRAPA SOJA, 2011).

A intensidade com que as plantas de soja vão sentir o déficit hídrico depende prioritariamente da taxa de perda de água (transpiração), da intensidade e duração da condição de estresse e do estágio de desenvolvimento (BRAY, 1993; CHAVES et al., 2002). O estresse hídrico, causado pela seca nas fases iniciais de crescimento e estabelecimento da cultura, é um importante fator limitante (JALEEL et al., 2009), para o desenvolvimento das plantas de soja, pois têm o potencial de afetar os processos fisiológicos e bioquímicos como a fotossíntese, respiração, metabolismo de nutrientes, os promotores de crescimento entre outros (JALEEL et al., 2009; FAROOQ et al., 2009).

Se durante a fase vegetativa da soja o déficit hídrico persistir por um grande período, as plantas podem apresentar alguns sintomas como folhas pequenas, entrenós curtos, plantas pouco desenvolvidas, redução da massa seca e fresca, além de deixar as plantas mais susceptíveis ao ataque de patógenos (SINCLAIR et al., 2007; FARIAS et al., 2007; JALEEL et al., 2009). Todas essas alterações têm o potencial de refletir na produtividade da cultura. Na safra de 2011/12, por causa do déficit hídrico, ocorreu uma redução na produção de soja. Os principais estados afetados foram Rio Grande do Sul, Paraná e Mato Grosso do Sul, com perdas de, aproximadamente, 4,6 milhões de toneladas (CONAB, 2012). Segundo Morando et al. (2014), a redução na produção da cultura se deve a vulnerabilidade da soja ao déficit hídrico.

A solução para reduzir as perdas na produtividade causadas pela falta de água está na implantação de sistemas de irrigação nas propriedades rurais. Segundo a ANA (2016), o Brasil apresenta cerca de 29,6 milhões de hectares que podem ser irrigados, destes apenas 6,11 milhões têm sistema de irrigação. Entretanto, para aumentar a área irrigada e utilizar todo o potencial nacional, é importante conscientizar os produtores que tem que ser feito o manejo adequado da água nas lavouras, pois somente a irrigação é responsável pelo consumo de 75% da vazão captada nacional (ANA, 2016). Desta

forma, as lavouras não ficam à mercê das condições climáticas, pois a partir do momento que a disponibilidade de água é monitorada, as decisões no intuito de evitar o déficit hídrico são mais assertivas, reduzindo os desperdícios.

Foram desenvolvidas várias técnicas para o manejo da irrigação com base nas condições da cultura, solo e atmosfera. As técnicas baseados no solo e na atmosfera mostram, de forma indireta, a real condição hídrica da planta. Já as técnicas baseadas na cultura, como a câmara de pressão, por serem realizadas diretamente na planta, têm o potencial de mostrar se a cultura está passando por um período de déficit hídrico ou não no momento da aferição do aparelho. Segundo Rodrigues et al. (2003) e Moriana et al. (2012), considerando que o estado hídrico da planta se altera de acordo com um gama de fatores como, disponibilidade de água no solo, condições atmosféricas e o estágio de desenvolvimento, o potencial hídrico na folha tem sido sugerido como uma ferramenta eficiente para manejo de irrigação.

A câmara de pressão apresenta as vantagens de ser um aparelho que tem um alto grau de confiabilidade nos resultados, facilidade e rapidez de uso (GUIMARÃES; STONE, 2008). Este tem a capacidade de medir de forma direta o estado hídrico da planta (SHAHIDIAN, 2012), sendo uma metodologia prática que determina a tensão da água nas paredes celulares (GIMENEZ et al., 2005) o que reflete a tensão de água nos vegetais (SHAHIDIAN, 2012).

Foi demonstrado por alguns cientistas que a técnica de determinação do potencial hídrico do xilema pode ser utilizado como uma ferramenta para o manejo da irrigação nas culturas. Dentre esses cientistas, destaca-se os pesquisadores Grimes e Yamada (1982) que encontraram uma boa relação entre o potencial hídrico foliar e os dias após a irrigação; com o decorrer dos dias sem irrigação a câmara de pressão apresentou resultados de um decréscimo linear no potencial hídrico foliar. Williams e Araújo (2002) também demonstraram boa correlação para o cultivo de uvas para as cultivares “Chardonnay” e “Cavernet Sauvignon”. Já os pesquisadores Bergonci et al. (2000) chegaram à conclusão que o potencial de água na folha pode servir como um indicativo para mostrar o déficit hídrico na cultura do milho. Silva et al. (2006) determinaram que a câmara de pressão é uma boa opção para o manejo da irrigação na cultura do citros, pois para as plantas entrarem no processo da floração é necessário que passem por um estresse severo (acima de -2 MPa), e a câmara de pressão é um dos únicos aparelhos que consegue medir potenciais dessa magnitude. Argyrokastritis et al. (2015), em seus trabalhos com algodão na Grécia, utilizando a câmara de pressão,

mostraram que a cultivar "Julia" está mais bem adaptada as condições de déficit hídrico em relação a cultivar "Zoi".

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é fazer uma relação entre os resultados apresentados pela câmara de pressão (Câmara de Scholander) e os encontrados pelos parâmetros agrônômicos medidos, determinando assim, o potencial hídricos críticos na fase vegetativa para o máximo desenvolvimento da soja.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local do experimento

A instalação e condução do ensaio ocorreu em condições de cultivo protegido (casa de vegetação) na fazenda experimental Capim Branco pertencente a Universidade Federal de Uberlândia (UFU). A fazenda está sob responsabilidade do Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG), sob as coordenadas geográficas: 18,88° latitude Sul (S) e 48,34° longitude Oeste (O), altitude de 900 metros (m).

A casa de vegetação possui uma área total de 132 m² (22 x 6 m), sendo constituída de estrutura metálica retangular, coberta com filme de polietileno transparente e nas laterais apresenta telas de sombreamento pretas, que permitem a comunicação com o meio externo. Internamente contém cinco bancadas de concreto com dimensões de 18 x 0,8 m, suspensas 1,0 m em relação ao solo.

A cidade de Uberlândia tem um clima tropical quente úmido com inverno frio e seco, que é representado pelo símbolo Aw segundo a classificação de Koppen (SILVA et al., 2008). A cidade apresenta uma precipitação pluviométrica média anual que varia entre 1500 a 1600 milímetros (mm), sendo que 50% ocorrem nos meses de dezembro até fevereiro, caracterizando a estação do verão. A média total do mês que apresenta a maior pluviosidade é de aproximadamente 250 mm, e a menor é por volta de 60 mm (SILVA et al., 2008). Na estação do verão, onde se têm os meses mais quentes do ano, as médias das temperaturas máximas mensais estão no intervalo de 21 a 26 °C; já no período do inverno as médias mensais registradas situam-se no intervalo de 17 e 22 °C. Anualmente as temperaturas médias estão na faixa de 20 a 25 °C (ROSA; SCHIAVINI, 2006). A umidade relativa do ar apresenta certa variação ao longo do ano, com aumento no início das chuvas e decréscimo com a chegada da estação seca; as médias anuais

giraram em torno de 70 a 75% (ROSA; SCHIAVINI, 2006), embora durante o inverno estejam em valores bem menores.

2.2 Preparação do experimento

Para a instalação do ensaio foram utilizados 90 vasos plásticos (n.5) com volume corresponde a 8,14 dm³, preenchidos com Latossolo Vermelho Escuro Distrófico de textura argilosa proveniente da área experimental, coletado na profundidade de 0-20 cm.

O solo foi submetido à análise química, realizada no Laboratório de Análises de Solos e Calcário pertencente ao Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) da UFU. Os resultados dessa análise estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Análise química do solo. Uberlândia/MG, 2016.

ph	P	K ⁺	S-SO ₄	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	M.O.	V
1-2,5	-----mg dm ⁻³ -----			-----cmol dm ⁻³ -----						dag kg ⁻¹	%
6,1	1,3	103	4	0,26	2,0	0,9	0,0	2,0	3,16	2,8	61

No enchimento dos vasos, o solo foi peneirado, para a eliminação dos fragmentos de raízes, torrões ou qualquer outro tipo de material que pudesse interferir na homogeneidade do sistema. Após o peneiramento, cada vaso foi preenchido com um volume de solo que correspondeu a uma massa de 8 kg.

Antes da semeadura da soja, as sementes foram tratadas com fungicida carbendazim + tiram (Protreat, Milênia Agro Ciência S/A, Taiwan). O tratamento com o defensivo agrícola foi feito para manter o vigor e garantir a germinação das sementes, e também para permitir que as plantas expressassem todo o seu potencial genético. Juntamente com o defensivo ocorreu a inoculação das bactérias do gênero e *Bradyrhizobium* spp., na proporção de 7,0 x 10⁸ células ml⁻¹ por semente.

As cultivares utilizadas foram a UFUS-6901 e BRASMAX Flecha IPRO 6266RSF, que apresentam tipo de crescimento indeterminado, com potenciais de produção acima 3000 kg ha⁻¹. A cultivar UFUS-6901 é convencional e a BRASMAX Flecha IPRO 6266RSF geneticamente modificada. Ambas são amplamente cultivadas na região.

No momento da semeadura foi realizada a adubação de base a uma profundidade de 7 a 10 cm com três gramas do formulado 4-14-08 (N-P-K). A semeadura foi realizada no dia 16/03/2016, deixando seis sementes por vaso a uma profundidade de 3 a 5 cm.

Após a emergência das plântulas, quando a soja já estava no estágio VC (primeira folha cotiledonar), segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977), ocorreu o desbaste para manter duas plântulas por vaso, e, assim, evitar a competição entre elas por nutrientes, água e luz, objetivando uma densidade de plantio de 200 mil plantas ha⁻¹.

Durante o desenvolvimento da cultura, foram feitas adubações e pulverizações conforme as recomendações da cultura para o Estado de Minas Gerais (EMBRAPA, 2007).

2.3 Monitoramento das condições meteorológicas

O monitoramento das condições meteorológicas no interior da casa de vegetação foi realizado do dia 30/03/2016 (10 DAE) até o dia 23/04/2016 (34 DAE), com o auxílio de uma estação meteorológica (Vantage Pro2, Davis, EUA). A estação continha os instrumentos para a medição da temperatura (°C), umidade relativa do ar (%), irradiância solar instantânea (W m⁻²) e velocidade e direção do vento (m s⁻¹). A estação foi programada para armazenar os dados médios em um intervalo de 10 minutos durante todo o período do experimento.

2.4 Sistema e manejo da irrigação

Cada um dos vasos deste experimento foi irrigado por meio de um gotejador autocompensante (Pc Emmiter 2 GHP, Rain Bird, EUA), com vazão nominal de 7,2 L h⁻¹. O acionamento do sistema de irrigação foi controlado eletronicamente permitindo a automação dos horários das irrigações.

Antes da instalação do ensaio, foi feita uma avaliação da uniformidade de aplicação de água no sistema de irrigação, conforme metodologia descrita por Frizzone e Neto (2003). Os resultados indicaram uma uniformidade de acima de 95% (Anexos 1

e 2), podendo, de acordo com Bralts (1986), ser considerado como excelente. Antes do início da imposição dos tratamentos, as plântulas foram irrigadas, para repor a água evapotranspirada, buscando a manutenção da umidade dos vasos próxima à capacidade de campo. Esta umidade representa a massa de água necessária para o solo estar com todos os microporos preenchidos com água, apresentado assim plenas condições de cultivo.

A umidade na capacidade de campo foi determinada seguindo a metodologia descrita por Fontenelli (2014) (Anexo 3). Resumidamente, alguns exemplares dos vasos preenchidos com solo foram saturados com água e pesados, em seguida, deixados para drenar (2 dias). Após a drenagem, foi realizada uma pesagem. O valor obtido na pesagem após a drenagem ($9,0 \pm 0,4$ kg), representava a massa ideal para manter o solo na capacidade de campo; a diferença de massa entre o solo úmido e seco é a quantidade de água que o solo pode armazenar. Então, as irrigações das plantas sem restrição hídrica eram feitas para manter a massa dos vasos com solo próxima a esse valor. O manejo da irrigação começou a ser realizado aos 15 DAE, inicialmente, feito a cada 2 dias e, posteriormente, diariamente, baseando-se na pesagem de 18 vasos considerados representativos do experimento.

No início do desenvolvimento da cultura, tanto a massa da parte aérea como das raízes não foram levadas em conta, entretanto, a partir dos 30 DAE, quando a cultura estava bem desenvolvida algumas amostras de raízes e parte área foram pesadas, e os resultados utilizados para a correção dos valores de referência para o manejo do sistema de irrigação.

2.5 Tratamentos

A imposição dos tratamentos (déficits hídricos) no período vegetativo iniciou-se aos 15 DAE (31/03/2016) e encerrou-se 38 DAE (23/04/2016). As avaliações na fase vegetativa foram realizadas nos estádios V4, V5 e V6, segundo a escala de Fehr e Caviness (1977).

Para a condução do ensaio foram utilizadas três bancas centrais da casa de vegetação, cada uma representava uma condição hídrica - sem déficit hídrico (SDH), déficit hídrico moderado (DHM) e déficit hídrico severo (DHS).

A imposição do déficit hídrico foi feita reduzindo a quantidade de água aplicada no tratamento SDH, 100% da capacidade de campo. Desta forma, no DHM reduziu 45% e no DHS 55% em relação ao tratamento SDH, que correspondia a reposição completa da evapotranspiração (Anexo 3).

O delineamento estatístico utilizado por bancada foi o inteiramente casualizado (DIC), apresentando, por bancada, 2 cultivares e 5 repetições que totalizaram 10 parcelas.

2.6 Avaliações

Na fase vegetativa foram realizadas três avaliações nas datas 19, 26 e 33 DAE. Foram feitas avaliações do potencial hídrico do xilema, área foliar total, altura de planta, clorofila “a” e “b”, diâmetro de haste, massa fresca e seca da parte aérea das folhas e haste. Todas as análises e as amostragens foram realizadas no período da manhã, entre as 7 e 9:00 horas.

2.6.1 *Potencial hídrico do xilema*

O potencial hídrico do xilema foi medido em uma planta por vaso totalizando 10 avaliações por nível de déficit hídrico, com o auxílio da câmara de Scholander (modelo 3005F01; SoilMoisture Equipment Corporation; EUA). As avaliações ocorreram em um trifólio completamente desenvolvido, localizado na parte intermediária da haste principal. Com o objetivo de padronizar as análises, a partir de V5, foram contados do ápice para a parte basal da planta 2 trifólios e o terceiro foi utilizado na determinação do potencial hídrico do xilema. Os potenciais foram medidos no intervalo das 7 e 8 horas da manhã, por ser um horário mais conveniente para o agricultor realizar as medições no campo.

2.6.2 Área foliar e massa seca e fresca das folhas e haste

Para a determinação da área foliar total, foram realizadas coletas semanais de uma plantas por tratamento. Todas as folhas presentes na planta foram separadas da haste e, em seguida, inseridas no integrador de área foliar (3000, LI-COR, EUA). Os resultados foram expressos em centímetros quadrados (cm²).

Após esse processo ocorreu a passagem das folhas e haste e em seguida o conjunto foi levado à estufa de circulação forçada sob temperatura de 70°C, até atingirem o massa constante. Decorridos três dias, os materiais foram retirados da estufa e pesados novamente, desta forma, foi encontrado a massa seca das folhas e haste.

2.6.3 Altura das plantas

Para a avaliação da altura de plantas, foram escolhidas, ao acaso, quatro plantas por parcela e com o auxílio de uma régua graduada foi realizada a medição da altura total das plantas. Essa medição ocorreu a partir da região do coleto, rente ao solo, até o ápice da planta, onde encontra-se o meristema apical. Os resultados foram expressos em centímetro (cm).

2.6.4 Clorofila “a” e “b”

A determinação da clorofila “a” e “b” presente na folha foi feita com auxílio do aparelho clorofilômetro (ClorofiLOG® CFL-1030, Falker Automação Agrícola, Brasil). O local das avaliações foi no terço médio de quatro plantas por tratamento. Para a determinação do índice de clorofila falker (ICF) foram escolhidas as folhas centrais dos trifólios completamente desenvolvidos. O aparelho foi posicionado na região mediana do limbo foliar, buscando evitar o contato do leitor do equipamento com as nervuras das folhas. Os resultados apresentados pelo aparelho são adimensionais.

2.6.5 Diâmetro de haste

O diâmetro de haste foi realizado com o auxílio de um paquímetro digital, os dados foram reportados em milímetros (mm). Para a determinação, o aparelho foi posicionado em uma altura de, aproximadamente, de 3 cm em relação ao solo.

2.6.6 Taxa de crescimento relativo das plantas

Para a determinação desse parâmetro, os dados utilizados foram da área foliar total e altura de planta. Através de cálculos matemáticos, levando em consideração as três avaliações, foi determinado o quando a planta desenvolveu de uma avaliação para a outra. Os resultados estão expressos em porcentagem (%).

2.6.7 Análise estatística

Todos os resultados das avaliações foram submetidos ao teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e homogeneidade das variâncias de Levene a 0,01 (1%) de significância, com auxílio do programa estatística SPSS 20.0 (SPSS, 2011). Após as análises dos dados, os resultados foram inseridos no programa GENES (CRUZ, 2013), utilizando a metodologia da análise conjunta a 0,05 (5%) de significância pelo teste de Tukey.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do quadro de análise de variância não demonstraram a existência de interações significativas para os fatores déficit hídrico x cultivares (Anexos 4 e 5). Observando os fatores individualmente, a variável cultivar apresentou poucas avaliações significativas, por isso os resultados não foram demonstrados nas tabelas. Em praticamente todas as características agronômicas avaliadas, o fator déficit hídrico apresentou significância, por isso os resultados foram apresentados em função dos diferentes déficits hídricos.

Na primeira avaliação do ensaio aos 19 dias após a emergência (19 DAE) os potenciais hídricos do xilema foram estatisticamente semelhantes (Tabela 2), embora, numericamente, ocorreu diferença entre os mesmos, as plantas submetidas ao tratamento SDH apresentou os maiores potenciais (-0,54 MPa) e as submetidas ao DHS os menores (-0,94 MPa), ficando as plantas sob DHM com os potenciais intermediários (-0,87 MPa).

A semelhança estatística entre os potenciais hídricos do xilema encontrada aos 19 DAE não foi observada aos 26 e 36 DAE (Tabela 2). O DHS, por apresentar os potenciais no xilema muito negativos (<-0,90 MPa), diferiu estatisticamente do SDH e DHM nas duas avaliações. Os potenciais hídricos do xilema encontrados no tratamento DHM ficaram na faixa de -0,56 a -0,82 MPa, sendo estatisticamente semelhantes aos do SDH, que apresentou os maiores potenciais (>-0,51 MPa).

Os resultados encontrados ao longo das três avaliações refletiram na média geral da fase vegetativa (Tabela 2). Na qual ficou nítida que a proposta do trabalho de impor três déficits hídricos foi realizada. As plantas SDH obtiveram os maiores potenciais (-0,50 MPa), sendo seguido pelo DHM (-0,67 MPa) e DHS (-1,07 MPa). Estatisticamente, o tratamento sem restrição hídrico (SDH) foi superior aos demais resultados, as plantas submetidas ao DHM obtiveram valores intermediários e as do DHS os mais negativos.

Tabela 2 – Potenciais hídricos do xilema da soja nos estádios V4, V5 e V6 aos 19, 26 e 36 DAE e média final das avaliações. Uberlândia, 2016.

	19 DAE ³	26 DAE	36 DAE	Média
SDH ²	-0,54 ⁴ a	-0,45 a	-0,51 a	-0,50 a
DHM	-0,87 a	-0,56 a	-0,82 a	-0,67 b
DHS	-0,94 a	-0,90 b	-1,43 b	-1,07 c

¹ Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, à 0,05 (5%) de significância.

² SDH – Sem déficit hídrico; DHM – Déficit hídrico moderado; DHS – Déficit hídrico severo.

³ DAE – Dias após a emergência.

⁴ Potencial hídrico do xilema (MPa)

A diferença numérica e estatística entre os diferentes tratamentos na avaliação do potencial hídrico do xilema (Tabela 2), deve-se ao fato que a falta de água no solo causa uma redução da quantidade hídrica disponível para a planta, o que, conseqüentemente, reduz o turgor, deixando o xilema sob tensão (JALEEL et al., 2009). Essa variação nas

tensões do xilema está ligada à disponibilidade hídrica do solo, pois mudanças no potencial hídrico do solo (Ψ_{solo}) causam alterações similares no potencial hídrico foliar (Ψ_{folha}) na cultura da soja (GRIFFIN et al., 1989). Por esse motivo, as avaliações nas plantas com restrição hídrica severa tiveram uma redução drástica no potencial hídrico do xilema.

A média geral das três avaliações do SDH corroboram com os resultados encontrados por Liu et al. (2005), Kron et al. (2008) e Fulton et al. (2014). Lui et al. (2005), ao trabalharem com a cultivar de soja Holladay, mantiveram o suprimento adequado de água e encontraram potencias na ordem de -0,60 MPa. Já Kron et al. (2008), no tratamento controle, encontraram potencias hídricos do xilema de -0,4 MPa. Esses potenciais são diferentes dos encontrados por Catuchi et al. (2012), que trabalhando com as cultivares de soja BR-16 e Embrapa 48, no tratamento controle (sem déficit), encontraram os valores dos potenciais médias de -0,78 MPa. Não corroborando com o presente trabalho que foi de -0,50 MPa.

Uma das explicações para os trabalhos de Liu et al. (2005) e Catuchi et al. (2012) apresentarem potenciais hídricos superiores ao do presente trabalho é pelo fato que, as leituras nos dois experimentos foram realizadas em horários diferentes do ensaio em questão, que foi no intervalo das 7 às 8h da manhã. Segundo Bergamaschi (1992), quando as medições dos potenciais hídricos foliares são realizadas no começo da manhã, os valores encontrados ficam entre -0,1 a -0,3 Mpa.

Tanto no ensaio de Liu et al. (2005) como no de Catuchi et al. (2012) foi verificado potenciais hídricos do xilema muito negativos para os tratamentos com restrição hídrica, em torno de -1,7 e -2,5 MPa, respectivamente. Esses potenciais superaram o menor potencial registrado no experimento DHS (-1,43 MPa) durante a fase vegetativa. A discrepância nos resultados ocorreu porque no experimento DHS foi realizado a manutenção do *status* hídrico do solo, diferentemente do estudo de Liu et al. (2005). Já em relação ao Catuchi et al. (2012) foi feita uma reposição do conteúdo hídrico, porém de apenas 40% da capacidade de campo. No experimento em questão foi de 45%, desta forma havia uma quantidade maior de água disponível para a planta, refletindo no maior potencial hídrico do xilema.

A partir do momento que falta água no solo e o potencial hídrico foliar começa a decrescer, ficando mais negativo, a planta pode entrar no estado de estresse hídrico. A medida que o estresse hídrico aumenta, tanto a taxa de crescimento como o potencial de água nos tecidos diminuem (CREELMAN et al., 1990). Isso causa uma diminuição no

alongamento e divisão celular, afetando de forma mais incisiva o processo de alongamento (JALEEL et al., 2009).

Tanguilig et al. (1987) constataram que na cultura da soja a taxa de alongamento foliar diminuiu de forma expressiva aos 11 dias após a restrição de água. Essa inibição da divisão celular, segundo Lopes e Lima (2015), ocorre por causa de uma alteração na atividade enzimática que, de acordo Mason et al. (1988), causa uma redução na síntese de proteínas. Desta forma, o primeiro processo afetado na situação de déficit hídrico é, segundo Taiz e Zeiger (2004), o crescimento da área foliar, que é inibido antes da fotossíntese e a respiração (BOYER, 1970a).

Essas afirmações vão de encontro com os resultados apresentados no presente trabalho, em que foi constatado uma redução expressiva na área foliar total da soja submetida ao déficit hídrico (Tabela 3). Pode-se notar que aos 19 DAE, independentemente do regime hídrico empregado, a área foliar total (AFT) foi estatisticamente semelhante para todos os tratamentos. Numericamente, o tratamento SDH apresentou os maiores valores e o DHS os menos. Isso ocorreu pelo fato que o déficit hídrico tinha sido imposto a poucos dias.

Aos 26 DAE, verificou-se que a restrição hídrica interferiu no AFT, nos potenciais hídricos do xilema (PHX) menores que -0,56 MPa ocorreu uma redução expressiva no AFT quando comparado com o tratamentos SDH, que teve potencial de -0,45 MPa (Tabela 3).

No último dia de avaliação, aos 36 DAE, ficou claro que as plantas de soja sob regimes de déficit hídrico moderado ou severo, apresentaram um redução expressiva no AFT. A cultura sendo manejada com potenciais hídricos do xilema entre -0,45 a -0,51 MPa chegaram no pré-florescimento com AFT superiores a 550 cm². Estatisticamente o tratamento SDH foi superior que o DHM e DHS, desde os 26 DAE (Tabela 3).

A média geral das três avaliações comprovam que os potenciais hídricos do xilema entre -0,4 a -0,5 MPa (SDH) durante a fase vegetativa são indicativos que a cultura está com o suprimento hídrico adequado quando observado a AFT (Tabela 3). Essa afirmação pode ser feita, pois quando os resultados da AFT do tratamento SDH são comparados com o DHM e DHS, em média, ocorre uma redução de, aproximadamente, 65% no AFT.

Quando é feita a comparação entre os experimentos SDH e DHM ao longo do estágio vegetativo (Tabela 3), nota-se uma redução no AFT nas avaliações aos 19, 26 e

36 DAE, de 10, 54 e 61%, respectivamente. Já comparando o SDH com o DHS a redução do AFT foi de 18, 48 e 66% (Tabela 3).

Tabela 3 – Área foliar total, potenciais hídricos do xilema aos 19, 26 e 36 DAE e média final das três avaliações da cultura da soja. Uberlândia, 2016.

	19 DAE		26 DAE		36 DAE		Média	
	PHX ³	AFT ⁴	PHX	AFT	PHX	AFT	PHX	AFT
SDH ²	-0,54 a	114,35 a	-0,45 a	266,06 a	-0,51 a	563,25 a	-0,50 a	314,55 a
DHM	-0,87 a	103,29 a	-0,56 a	121,80 b	-0,82 a	218,11 b	-0,67 b	144,37 b
DHS	-0,94 a	93,22 a	-0,90 b	138,34 b	-1,43 b	189,20 b	-1,07 c	143,61 b

¹ Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, à 0,05 (5%) de significância.

² SDH – Sem déficit hídrico; DHM – Déficit hídrico moderado; DHS – Déficit hídrico severo.

³PHX – Potencial hídrico do xilema (MPa).

⁴AFT – Área foliar total (cm²).

A redução na AFT está relacionada com as alterações a nível celular na planta e com um outro fator envolvido: quanto menos a planta expande a parte aérea, esta tem um menor número de folhas o que afeta o desenvolvimento de novas folhas pela cultura (SANTOS; CARLESSO, 1998), por causa da redução na fotossíntese ativa. Essa informação vai de encontro com as observações realizadas no presente trabalho, em que as plantas submetidas a DHS e DHM apresentaram uma menor quantidade de folhas que as do SDH.

A redução no desenvolvimento foliar também pode estar relacionada com a dificuldade da planta, sob estresse hídrico por falta de água, de absorver nutrientes do solo. Segundo Yambao e O'Toole (1984), o déficit hídrico reduz a taxa de transpiração, o que reflete na absorção de nutrientes. Desta forma, a deficiência nutricional pode ser uma dos fatores que restringem a planta de terem desenvolvimentos foliares normais. Neste trabalho, o manejo da adubação foi idêntico para todos os déficits hídricos, desta forma a redução na transpiração diminuiu a absorção dos nutrientes pelas plantas e, conseqüentemente, ocorreu um menor desenvolvimento foliar.

Os valores da Tabela 3 vão de encontro com os trabalhos de Catuchi et al., (2012) e Boyer (1970a & 1970b). Os resultados apresentados por Catuchi et al. (2012), trabalhando com duas cultivares de soja, BR-16 e Embrapa 48, sob 3 níveis de adubação potássica, mostraram que houve uma redução expressiva na área foliar da cultura entre o tratamento controle (100% da CC) e o com déficit hídrico (40% da CC). Boyer (1970a e

1970b), em seus estudos com soja, determinou que estando sob potenciais hídricos do xilema de -0,4 a -1,2 MPa as plantas apresentam grande redução na área foliar.

Anjum et al. (2003), trabalhando com duas cultivares de trigo, Jau-87 e S-84728, após 9 dias submetidas a condição de déficit hídrico, verificaram que as plantas tiveram uma drástica redução na área foliar. As cultivares irrigadas apresentaram uma média de 11,9 cm²/planta, já as sob condições de falta de água tiveram uma redução de, aproximadamente, 30% em relação às irrigadas.

Chavarria et al. (2015) impuseram o déficit hídrico de dois dias no estágio V7 da cultura da soja. O potencial hídrico do xilema foi de, aproximadamente, -0,3 MPa, e as plantas apresentaram um IAF de 461,79 cm². Esse resultado mostra que no presente experimento o suprimento de água estava ideal para o desenvolvimento e crescimento foliar da cultura (apenas no SDH), pois aos 36 DAE quando a soja estava no estágio de desenvolvimento V6 as plantas já apresentavam uma média de 563,25 cm², estando sob potencial de -0,5 MPa.

Na Tabela 4 está representado a taxa de crescimento foliar (TCF) da soja nos três diferentes dias de avaliação. Todos os tratamentos tiveram uma queda na TCF quando comparado os valores aos 26 e 36 DAE, com exceção do DHM, que apresentou um incremento nesse parâmetro saindo de 15% (19 para 26 DAE) indo para 44% (26 para 36 DAE). Percentualmente, o tratamento submetido ao DHS teve a maior redução da TCF do experimento, com 6%.

Tabela 4 – Área foliar total e taxa de crescimento foliar da soja nos estádios V4, V5 e V6 entre as avaliações aos 19, 26 e 36 DAE. Uberlândia, 2016.

	19 DAE		26 DAE		36 DAE	
	AFT ³	TCF ⁴	AFT	TCF	AFT	TCF
SDH ²	114,35 a	0%	266,06 a	57%	563,25 a	52%
DHM	103,29 a	0%	121,80 b	15%	218,11 b	44%
DHS	93,22 a	0%	138,34 b	32%	189,20 b	26%

¹ Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, à 0,05 (5%) de significância.

² SDH – Sem déficit hídrico; DHM – Déficit hídrico moderado; DHS – Déficit hídrico severo.

³ AFT – Área foliar total (cm²).

⁴ TCF – Taxa de crescimento foliar (%).

Com a redução do ATF, por causa do déficit hídrico, a área foliar fotossinteticamente ativa é reduzida, o que compromete de forma direta a transformação

da energia solar em energia química pelo processo da fotossíntese. A inibição da fotossíntese é devido à maior resistência difusiva por causa do fechamento estomático o que reflete na diminuição da assimilação de CO₂ (PEAK et al., 2004; OSAKABE et al., 2014) e, conseqüentemente, a planta reduz a produção de fotoassimilados. Desta forma, um menor número de fotoassimilados é destinado para promover o desenvolvimento das áreas em formação das plantas (MELO, 2011). Segundo Osakabe et al. (2014), o crescimento das plantas estão diretamente ligados à fotossíntese.

É importante salientar que quando a soja encontra-se no período de déficit hídrico moderado, ela tem a tendência de maximizar a eficiência da utilização da radiação e reduzir a eficiência da interceptação da radiação fotossinteticamente ativa. Já quando ela está sob déficit hídrico severo, tem uma redução na eficiência da utilização da radiação (SOUZA et al., 2013). As alterações no processo fotossintético refletem diretamente nas variáveis agrônômicas como altura de planta, diâmetro de haste e massa seca e fresca da folha e haste. Devido à redução na taxa fotossintética, as plantas apresentam uma menor produção de fotoassimilados, que seriam destinados para o seu crescimento e desenvolvimento, podendo reduzir a produção de sementes. Outra explicação para a redução nessas variáveis poderia ser o fato das células perderem o turgor, quando a planta está passando por períodos de déficit hídrico, o que diminui a condutância estomática e a expansão celular, ocorrendo, dessa forma, uma limitação do crescimento da cultura (JALEEL et al., 2009). Quando a perda de turgor permanece por um período prolongado, visualmente, a planta murcha, podendo afetar a manutenção do hábito ereto da planta (KERBAUY, 2008).

Desclaux e Roumet (1996), trabalhando com déficit hídricos em soja, chegaram à conclusão que, na fase vegetativa, no estágio V4, a característica mais sensível à falta de água foi o comprimento dos entrenós. O que causa uma redução na altura da planta ao longo da fase, indo de encontro com os resultados apresentados neste trabalho (Tabela 5). Aos 19 DAE, as plantas encontravam-se no estágio V4, e quando comparamos os experimentos, notamos que, mesmo com pouco tempo da imposição dos déficit hídrico, já ocorreu uma redução na altura de planta (ALT). O tratamento DHS apresentou a menor ALT, o que o tornou, estatisticamente, inferior aos demais. Já o tratamento DHM apresentou, numericamente, as maiores alturas (15,95 cm), tornando-se estatisticamente superior (Tabela 5).

Aos 26 DAE, o tratamento SDH, que foi estatisticamente semelhante ao DHS na avaliação dos 19 DAE, foi superior estatisticamente aos demais, apresentando alturas

médias de plantas acima de 25 cm e uma taxa de crescimento (TC) de 39%. Os tratamentos DHM e DHS foram semelhante estatisticamente e apresentaram um TC de 16 e 29%, respectivamente (Tabela 5).

Aos 36 DAE, estatisticamente as letras foram dispostas da mesma forma que aos 26 DAE, entretanto, quando observado os dados do TC, ocorreu uma redução nos tratamentos SDH e DHS de 11% e 12%, respectivamente. Somente o DHM teve um incremento no TC (9%). Esse acréscimo não foi tão expressivo, pois, numericamente, as plantas foram 10 cm menores que as do SDH (Tabela 5).

Na média geral do experimento (Tabela 5), os tratamentos se comportaram estatisticamente iguais aos 26 e 36 DAE. Numericamente, o SDH apresentou as maiores altura médias (25,87 cm) e os tratamentos DHM e DHS foram semelhantes. Os experimentos DHM e DHS apresentaram uma redução média em relação ao SDH de, aproximadamente, 6 cm.

Tabela 5 – Altura de planta e taxa de crescimento da soja nos estádios V4, V5 e V6 entre as avaliações aos 19, 26 e 36 DAE. Uberlândia, 2016.

	19 DAE		26 DAE		36 DAE		Média
	ALT ³	TC ⁴	ALT	TC	ALT	TC	ALT
SDH ²	15,31 ab	0%	25,05 a	39%	34,90 a	28%	25,87 a
DHM	15,95 a	0%	19,00 b	16%	25,31 b	25%	19,39 b
DHS	13,87 b	0%	19,55 b	29%	23,44 b	17%	19,64 b

¹ Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, à 0,05 (5%) de significância.

² SDH – Sem déficit hídrico; DHM – Déficit hídrico moderado; DHS – Déficit hídrico severo.

³ ALT – Altura da planta (cm).

⁴ TC – Taxa de crescimento (%).

Trabalhando com Chamomile (*Matricaria camomila L.*), Razmjoo et al. (2008) observaram que a seca induziu uma redução em todos os parâmetros de crescimento na cultura. As plantas com o fornecimento normal de água foram, em média, 25% maiores que as plantas que passaram pelo período de falta de água. Também no presente trabalho foi encontrado uma redução na altura das plantas de, aproximadamente, 25% aos 26 e 36 DAE, o que refletiu em uma redução média de 25% na média final do período vegetativo.

Sincik et al. (2008), assim como nesta pesquisa, observaram que a altura de planta e a produção de biomassa reduziram significativamente com a redução da

disponibilidade de água no solo. O tratamento sem restrição hídrica e com 25% de déficit hídrico foram os que apresentaram as plantas mais altas e com uma maior biomassa. Percentualmente, nos tratamentos T1 (SDH) e T2 (25% de déficit hídrico) as plantas foram, aproximadamente, 65% maiores que as do tratamento T5 (75% de déficit hídrico) (SINCIK et al., 2008).

Neste experimento em questão foi constatado uma redução nos tratamentos DHM e DHS da massa fresca e seca da folha e haste (MFF, MSF, MFH e MSH) nas três datas de avaliações 19, 26 e 36 DAE (Tabelas 5 e 6), o que refletiu diretamente na média geral da fase vegetativa dos experimentos DHM e DHS (Tabela 7).

Na Tabela 6 estão os resultados da MFF e MFH. Na avaliação aos 19 DAE, estatisticamente, os resultados foram semelhantes para os dois parâmetros. Embora, numericamente, o tratamento SDH apresentou os maiores valores de MFF e MFH com 1,65 e 1,56 cm, respectivamente.

Aos 26 e 36 DAE, os pesos médios da MFF e MFH do SDH foram superiores estatisticamente aos demais e os tratamentos DHM e DHS foram semelhantes. Aos 26 DAE, o tratamento SDH apresentou pesos médios duas vezes maiores que o DHM e DHS, e, aos 36 DAE, os pesos médios do SDH foram, aproximadamente, três vezes superiores.

Tabela 6 – Massa fresca da folha e haste da soja nos estádios V4, V5 e V6 aos 19, 26 e 36 DAE. Uberlândia (MG), 2016.

	19 DAE		26 DAE		36 DAE	
	MFF ³	MFH ³	MFF	MFH	MFF	MFH
SDH ²	1,65 a	1,56 a	4,31 a	4,14 a	9,83 a	8,90 a
DHM	1,47 a	1,32 a	1,87 b	1,62 b	3,59 b	3,32 b
DHS	1,20 a	0,99 a	2,00 b	1,96 b	2,76 b	2,62 b

¹ Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, à 0,05 (5%) de significância.

² SDH – Sem déficit hídrico; DHM – Déficit hídrico moderado; DHS – Déficit hídrico severo.

³ MFF – Massa fresca folha (g); MFH – Massa fresca haste (g).

Os valores apresentados na Tabela 6 são diretamente proporcionais aos encontrados na Tabela 7. Aos 19 DAE, ocorreu uma semelhança estatística entre os diferentes tratamentos tanto para MSF e MSH. Já aos 26 e 36 DAE, o tratamento SDH foi superior estatisticamente, apresentando os maiores pesos secos da parte aérea.

Tabela 7 – Massa seca da folha e haste da soja nos estádios V4, V5 e V6 aos 19, 26 e 36 DAE. Uberlândia (MG), 2016.

	19 DAE		26 DAE		36 DAE	
	MSF ³	MSH ³	MSF	MSH	MSF	MSH
SDH ²	0,37 a	0,23 a	0,92 a	0,64 a	2,20 a	1,77 a
DHM	0,33 a	0,21 a	0,50 b	0,33 b	0,86 b	0,66 b
DHS	0,29 a	0,20 a	0,55 b	0,41 ab	0,82 b	0,68 b

¹ Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, à 0,05 (5%) de significância.

² SDH – Sem déficit hídrico; DHM – Déficit hídrico moderado; DHS – Déficit hídrico severo.

³ MSF – Massa seca folha (g); MSH – Massa seca haste (g).

Comparando o peso médio geral das três avaliações (Tabela 8) do tratamento SDH com o DHM e DHS, pode-se notar que em relação a MFF e MFH ocorreu uma redução de, aproximadamente, 58 e 63% nos potenciais de -0,67 e -1,07 MPa, respectivamente, quando comparado com os valores encontrados no potencial de -0,50 MPa. Já para a MSF e MSH, essa redução foi um pouco menos expressiva sendo, 53 e 52% .

Tabela 8 – Média geral das três avaliações da massa fresca e seca da parte aérea e haste da soja nos estádios V4, V5 e V6 nas avaliações aos 19, 26 e 36 DAE. Uberlândia (MG), 2016.

	Média Geral				
	PHX ³	MFF ⁴	MFH ⁴	MSF ⁴	MSH ⁴
SDH ²	-0,50 a	5,26 a	4,86 a	1,16 a	0,88 a
DHM	-0,67 b	2,22 b	1,97 b	0,54 b	0,40 b
DHS	-1,07 c	2,07 b	1,96 b	0,56 b	0,43 b

¹ Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, à 0,05 (5%) de significância.

² SDH – Sem déficit hídrico; DHM – Déficit hídrico moderado; DHS – Déficit hídrico severo.

³PHX – Potencial hídrico do xilema (MPa).

⁴ MFF – Massa fresca folha (g); MFH – Massa fresca haste (g); MSF – Massa seca folha (g); MSH – Massa seca haste (g).

Uma explicação para a redução do peso fresco e seco da parte aérea das plantas deve-se ao fato que a demanda hídrica da atmosfera é muito elevada, fazendo com que o processo da transpiração ocorra de forma constante. Desta forma, a soja perde água ininterruptamente e, se não ocorrer uma reposição hídrica via solo, a tendência da planta é de exaurir as suas reservas, diminuindo o seu peso fresco, o que reflete no peso seco.

Essa relação só é possível ser feita pelo fato que a composição da cultura da soja é de, aproximadamente, 90% de água (EMBRAPA SOJA, 2011).

Anjum et al. (2003) submeteram duas cultivares de cevada (*Hordeum Vulgare* L.), S-84728 e Jau-87 à condição de déficit hídrico. Os pesquisadores notaram que com apenas 9 dias sob estresse hídrico por falta de água, ocorreu uma drástica redução no comprimento da parte aérea e peso seco. Catuchi et al. (2012), em seus trabalhos, notaram uma redução na massa seca da parte aérea de, aproximadamente, 50% entre as cultivares de soja BR-16 e Embrapa 48. Catuchi et al. (2011) impuseram o déficit hídrico no estágio V4 em duas cultivares de soja CD 220 (convencional) e CD 226RR (transgênica) e observaram a redução de, aproximadamente, 50%, na massa fresca da parte aérea nas duas cultivares.

Outra característica agrônômica afetada devido à imposição de diferentes regimes hídricos foi o diâmetro da haste (DH). Aos 26 DAE, não ocorreu diferença estatística entre os tratamentos SDH e DHM em relação ao potencial hídrico do xilema, só que potenciais abaixo de -0,56 MPa foram capazes de causar reduções no DH (Tabela 9). Os tratamentos DHM e DHS apresentaram, numericamente, os menores DH.

Perto do período do florescimento, aos 36 DAE, a restrição hídrica prejudicou o desenvolvimento da cultura, pois quando comparado com a avaliação aos 26 DAE, ocorreu um incremento no DH de apenas 0,11 mm nos tratamentos DHM e no DHS (Tabela 9).

Os resultados médios do DH mostram que nos potenciais hídricos do xilema abaixo de -0,67 MPa, as plantas apresentaram um baixo desenvolvimento da haste, chegando no final da fase vegetativa com uma média de apenas 2,55 mm (Tabela 9). Chavarria et al. (2015) verificaram que em potenciais hídricos foliares de -0,70 MPa o diâmetro de haste ficou em torno de 4,59 mm. Essa discrepância nos resultados é porque as plantas no experimento de Chavarria et al. (2015) desenvolveram sem restrição hídrica até V7, momento no qual foi feita a imposição. Já as plantas deste experimento foram submetidas ao déficit hídrico a partir dos 15 dias após a emergência, apresentando o seu desenvolvimento e crescimento comprometidos.

Tabela 9 – Diâmetro de haste, potencial hídrico do xilema e média geral das avaliações da cultura da soja nos estádios V4, V5 e V6 aos 26 e 36 DAE. Uberlândia (MG), 2016.

26 DAE	36 DAE	Média
--------	--------	-------

	PHX ³	DH ⁴	PHX	DH	PHX	DH
SDH ²	-0,45 a	3,29 a	-0,51 a	3,83 a	-0,50 a	3,20 a
DHM	-0,56 a	2,56 b	-0,82 a	2,67 b	-0,67 b	2,53 b
DHS	-0,90 b	2,63 b	-1,43 b	2,59 b	-1,07 c	2,56 b

¹ Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, à 0,05 (5%) de significância.

² SDH – Sem déficit hídrico; DHM – Déficit hídrico moderado; DHS – Déficit hídrico severo.

³ PHX – Potencial hídrico do xilema (MPa).

⁴ DH – Diâmetro de haste (mm).

A partir dos dados apresentados na Tabela 10, pode-se notar que o teor de clorofila “a” e “b” não diferiram estatisticamente até a avaliação aos 36 DAE. Nesta avaliação, o tratamento DHS apresentou os maiores valores tanto de clorofila “a” como de b, o que tornou esse tratamento estatisticamente superior.

A média geral da fase vegetativa teve o tratamento DHS como sendo estatisticamente superior aos demais com os maiores valores de clorofila “a” e “b”, 29 e 9 ICF, respectivamente. Os valores de clorofila “a” no DHM foi estatisticamente semelhante ao DHS, entretanto, numericamente, foi inferior em, aproximadamente, 3 ICF.

No decorrer das avaliações nos diferentes déficits hídricos os teores de clorofila “a” ficaram próximos de 28 ICF e os teores de clorofila b foram próximos de 8 ICF.

Tabela 10 – Clorofila “a” e “b” na cultura da soja nos estádios V4, V5 e V6 nas avaliações aos 19, 26 e 36 DAE. Uberlândia (MG), 2016

	19 DAE		26 DAE		36 DAE		Média	
	Clo a ³	Clo b ³	Clo a	Clo b	Clo a	Clo b	Clo a	Clo b
SDH ²	27,75 a	8,24 a	28,33 a	7,78 a	25,57 b	5,94 b	27,22 b	7,32 b
DHM	27,93 a	8,49 a	28,41 a	8,05 a	26,85 b	6,89 b	27,73 ab	7,81 b
DHS	29,67 a	9,14 a	27,20 a	8,03 a	30,84 a	9,22 a	29,24 a	8,80 a

¹ Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, à 0,05 (5%) de significância.

² SDH – Sem déficit hídrico; DHM – Déficit hídrico moderado; DHS – Déficit hídrico severo.

³ Clo a e b – Clorofila “a” e “b”.

Anjum et al (2003) observaram que as plantas em condições de estresse hídrico, causado pela falta de água, apresentam mudanças nos pigmentos da fotossíntese. Essa alteração tem como consequência uma modificação na quantidade de clorofila (CAIRES et al., 2010). Sendo que, dependendo do déficit hídrico em que a planta está exposta, a

alteração na clorofila pode ser de maior ou menor intensidade (LUIS, 2009). Nas culturas do milho e trigo durante o período de imposição do déficit hídrico ocorreu uma redução no teor de clorofila (ALBERTE e THORNBUR, 1977; LOGGINI et al., 1999). Segundo Loggini et al. (1999), uma explicação para esse fato é que durante o déficit hídrico as clorofilas ficam susceptíveis a agentes de degradação. A redução das clorofilas pode ser também uma estratégia da planta para proteger os cloroplastos, pois ocorre uma mudança na organização dos fotossistemas (ELVIRA et al., 1998; OTTANDER et al., 1995). Segundo Sairam e Saxena (2000), com o decorrer do desenvolvimento da planta ocorre uma redução nas clorofilas. Luis (2009), em sua pesquisa, observou que a degradação das clorofilas acontece ao longo do desenvolvimento da cultura.

Essa não observância de alterações nos teores de clorofila “a” e “b” no presente trabalho também foi observada por Chavarria et al. (2015). Em seu estudo, as cultivares de soja “BMX Apolo RR” foram submetidas a um período de 11 dias com restrição hídrica; os potenciais hídricos do xilema chegaram a -0,70 MPa e não foi observado variações nos teores de clorofila “a” e “b”. Segundo Golberg et al. (1988), potenciais hídricos do xilema de até -1,5 MPa tem pouca influência sobre a fotossíntese foliar. Boyer (1970a, 1970b) determinou que se a cultura da soja estiver sob potenciais hídricos foliares de -1,1 MPa, sua taxa fotossintética irá diminuir. Neste trabalho, tendo como base a clorofila “a” e “b”, potenciais hídricos de até -2 MPa não apresentaram nenhuma influência no teor de clorofila das plantas.

CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados, conclui-se que potenciais hídricos do xilema maiores que -0,54 MPa não são prejudiciais para o crescimento e desenvolvimento da cultura da soja durante a fase vegetativa. A soja apresenta desenvolvimento normal, estando sob potenciais hídricos de até -0,87 MPa até o estágio V4. Potenciais hídricos do xilema abaixo de -0,90 MPa são prejudiciais para a cultura durante a fase vegetativa, pois causam redução em todos os parâmetros de crescimento avaliados, com exceção da clorofila “a” e “b”.

REFERÊNCIAS

- AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil. **Informe 2016**. Disponível em: < <http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/informe-conjuntura-2016.pdf>>. Acesso em: 27 dez. 2016.
- ALBERTE R.S., THORNBURGH J.P. Water stress effects on the content and organization of chlorophyll in mesophyll and bundle sheath chloroplasts of maize. **Plant Physiology**. [S.L], v. 59, p. 351- 353, 1977.
- ANJUM, F.; YASEEN, M.; RASOOL, E.; WAHID, A.; ANJUM, S. Water stress in Barley (*Hordeum Vulgare* L.) I. Effect on morphological characters. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**. [S.L], v. 40, n. 1-2, 2003.
- ARGYROKASTRITIS, I. G.; PAPASTYLIANOU, P. T.; ALEXANDRIS, S. Leaf water potential and crop water stress index variation for full and deficit irrigated cotton in Mediterranean conditions. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**. Patras, Greece, v. 4, p. 463 – 470, 2015.
- ASHRAF, M.; HARRIS, P. J. C. Photosynthesis under stressful environments: an overview. **Photosynthetica**. United Kingdom, v. 51, n. 2, p. 163-190, 2013.
- BERGAMASCHI H. Desenvolvimento de déficit hídrico em culturas. In: BERGAMASCHI, H. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: UFRGS, Ed. Universidade, p. 25-32, 1992.
- BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; SANTOS, O. S. Potencial da água na folha como um indicador de déficit hídrico em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 35, p. 1531-1540, 2000.
- BRALTS, V. F. Field performance and evaluation. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. (Ed.) Trickle irrigation for crop production. Amsterdam: **Elsevier**. p. 216-240, 1986.
- BRAY, E. A. Molecular Responses to water deficit. **Plant Physiology**. Riverside, v. 103, p. 1035-1040, 1993.
- BOYER, J.S. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean and sunflower at various leaf water potentials. **Plant Physiology**. Illinois, v. 46, n. 2, p. 233-235, 1970a.
- BOYER, J. S. Differing sensitivity of photosynthesis to low leaf water potentials in corn and soybean. **Plant Physiology**. Illinois, v. 46, p. 236-239, 1970b.
- CAIRES, A. R. L.; SCHERER, M. D.; SANTOS, T. S. B.; PONTIM, B. C. A.; GAVASSONI, W. L.; OLIVEIRA, S. L. Water stress response of conventional and transgenic soybean plants monitored by chlorophyll a fluorescence. **Journal fluoresc.** Campo Grande (MS), v. 20, p. 645-649, 2010.

CATUCHI, T. A., VÍTOLO, H. F., BERTOLLI, S. S. & SOUZA, G. M. Tolerance to water deficiency between two soybean cultivars: transgenic versus conventional. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 41, n. 3, p. 373-378, 2011.

CATUCHI, T. A.; GUIDORIZZI, F. V. C.; GUIDORIZI, K. A.; BARBOSA, A. M.; SOUZA, G. M. Respostas fisiológicas de cultivares de soja a adubação potássica sob diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 47, n. 4, p. 519-527, 2012.

CHAVARRIA, G.; DURIGON, M. R.; KLEIN, V. A.; KLEBER, H. Photosynthetic restriction of soybean plants under variation of water availability. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 45, n. 8, p. 1387-1393, 2015.

CHAVES M.M., J.S. PEREIRA, J. MAROCO, M.L. RODRIQUES, C.P.P. RICARDO, M.L. OSORIO, I. CARVATHO, T. FARIA AND C. PINHEIRO. How plants cope with water stress in the field photosynthesis and growth? **Annals of Botany**. v. 89, p. 907–916, 2002.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_01_12_09_00_46_boletim_raos_janeiro_2016.pdf>. Acesso em 29 set. 2016.

CREELMAN, R. A.; MASON, H. S.; BENSON, R. J.; BOYER, J. S.; MULLEN, J. E. Water deficit and abscisic acid cause differential inhibition of shoot versus root growth in soybean seedling. **Plant Physiol.** Lewes, v. 92, p. 205-214, 1990.

CRUZ, C. D. **Programa GENES (versão Windows)**: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa: UFV, p. 648, 2013.

DESCLAUX, D.; ROUMET, P. Impact of drought stress on the phenology of two soybean (*Glycine max* L. Merr) cultivars. **Field Crops Research**. Mauguio, v. 46, n. 1, p. 61-70, 1996.

ELVIRA S., ALONSO R., CASTILLO F.J., GIMENO B.S. On the response of pigments and antioxidants of *Pinus halepensis* seedlings to Mediterranean climatic factors and long-term ozone exposure. **New Phytologist**. [S.L], v. 138, p. 419–432, 1998.

EMBRAPA SOJA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Tecnologias de produção de Soja – Região Central do Brasil 2012 e 2013. **Sistemas de Produção**. Londrina: Embrapa Soja, Outubro, n. 15, p. 261, 2011.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil. Tecnologias de Produção de Soja Região Central do Brasil. **Sistema de Produção 11**. Londrina, p. 219, 2007.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da Soja**. Circular Técnica 48, Londrina PR, Setembro, 2007.

FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N.; FUJITA, D.; BASRA, S. M. A. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development**. Pakistan, v. 29, n. 1, p. 185-212, 2009.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. Stages of soybean development. **Ames: Iowa State University of Science and Technology**. 11 p. 1977.

FONTENELLI, J. L. **Métodos de manutenção de umidade do solo no cultivo do girassol e cártamo em condições controladas**. 2014. 84f. (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal de Mato Grosso-UFMT, Rondonópolis-MT, 2014.

FRIZZONE, J. A.; NETO, D. D. **Avaliações de sistemas de irrigação e análise econômica**. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. Irrigação: Série Engenharia Agrícola. Jaboticabal: SBEA, p. 621-623, 2003.

FULTON, A.; GRANT, J.; BUCHNER, R.; CONNELL, J. Using the pressure chamber for irrigation management in Walnut, Almond and Prune. **UC Peer Reviewed**. University of California. 2014.

GIMENEZ, C.; GALLARDO, M.; THOMPSON, R. Plant–Water Relations. In: Encyclopedia of Soils in the Environment. [S.L] Elsevier, v. null, p. 231-238, 2005.

GRIFFIN, B. S.; SHILLING, D. G.; BENNETT, J. M.; CURREY, W. L. The influence of water stress on the physiology and competition of soybean (*Glycine max*) and florida beggarweed (*Desmodium tortuosum*). **Weed Science**. [S.L], v. 37, p. 544-551, 1989.

GRIMES, D.W.; YAMADA, H. Relation of cotton growth and yield to minimum leaf water potential. **Crop Science**, Madison, v. 22, n. 1, p. 134-139, 1982.

GOLBERG, A. D.; RENARD, C.; LANNOYE, R.; LEDENT, J. F. **Effects and after-effects of water stress on chlorophyll fluorescence transients in Coffea canephora Pierre and Coffea arabusta Capot and Aké Assi**. Café Cacao Thé, Paris, v. 32, p. 11-16, 1988.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F. Método de avaliação das condições hídricas das plantas. **Comunicado técnico 161**. Santo Antonio de Goiais, 2008.

JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; WAHID, A.; FAROOQ, M.; AL-JUBURI, H. J.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. **International Journal of Agriculture & Biology**. [S.L] v. 11, n. 1, p. 100-105, 2009.

JORDAN, W. R. Whole plant response to water deficits: An overview. In: MELO, J. S.; RIBEIRO, V. G. Effects of transiente water stress and increasing doses of boro non the bud fertility in grapevines cv. Itália. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal/SP, v. 33, n. 2, 2011.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Guanabara Koogan. p. 472, 2008.

KRON, A. P.; SOUZA, G. M.; RIBEIRO, R. V. Water deficiency at diferente developmental stages of Glycine max can improve drought tolerance. **Bragantia**. Campinas (SP), v. 67, n. 1, p. 43-49, 2008.

LOGGINI B., SCARTAZZA A., BRUGNOLI E., NAVARI-IZZO F. Antioxidative defense system, pigment composition, and photosynthetic efficiency in two wheat cultivars subjected to drought. **Plant Physiology**. [S.L], v. 119, p. 1091-1099, 1999.

LOPES, N. F.; LIMA, M. G. S. **Fisiologia da produção**. Editora UFV. Viçosa, p. 492, 2015.

LIU, F.; ANDERSEN, M. N.; JACOBSEN, S-E.; JENSEN, C. Stomatal control and water use efficiency of soybean (Glycine max L. Merr.) during progressive soil drying. **Environmental and Experimental Botany**. Taastrup, Denmark, v. 54, p. 33-40, 2005.

LUIS, R. M. F. C. B. Respostas de *Jatropha curcas* L. ao déficit hídrico, caracterização bioquímica e ecofisiológica. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Agrônômica) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, p. 62, 2009.

MASON HS, MULLET JE, BOYER JS. Polysomes, messenger RNA, and growth in soybean stems during development and water deficit. **Plant Physiol**. [S.L], v. 86, p. 725-733, 1988.

MORIANA, A.; PÉREZ-LÓPEZ, D.; PRIETO, M. H.; RAMÍREZ-SANTA-PAU, M.; PÉREZRODRÍGUE, J. M. Midday stem water potential as a useful tool for estimating irrigation requirements in olive trees. **Agric Water Manag.** Spain, v. 112, p. 43–54, 2012.

MORANDO, R.; SILVA, A. O.; CARVALHO, L. C.; PINHEIRO, M. P. M. A. Déficit hídrico: efeito sobre a cultura da soja. **Journal of Agronomic Sciences**. Umuarama, v. 3. n. especial, p. 114-129, 2014.

OSAKABE, Y.; OSAKABE, K.; SHINOZAKI, K.; TRAN, L. S. P. Response of plants to water stress. **Frontier in Plant Science**. Tsukuba, v. 5, n. 86, 2014.

OTTANDER C., CAMPBELL D., OQUIST G. Seasonal changes in photosystem II organization and pigment composition in Pinus Sylvestris. **Planta**. [S.L], v. 197, p. 176-183, 1995.

PEAK, D.; WEST, J.D.; MESSINGER, S.M.; MOTT, K.A. Evidence for complex, collective dynamics and emergent, distributed computation in plants. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [S.L] v. 101, p. 918-922, 2004.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; ROMAN, E. S. Avaliação do potencial hídrico forliar em plantas de Trigo. **Circular Técnica 15**. Passo Fundo; Embrapa Trigo, p. 12, 2003.

RAZMJOO, K; HEYDARIZADEH, P.; SABZALIAN, M, R. Effect of salinity and drought stresses on growth parameters and essential oil content of *Matricaria*

chamomile. **International Journal of Agriculture & Biology**. Iran, v. 10, n. 4, p. 451-454, 2008.

ROSA, A. G.; SCHIAVINI, I. Estrutura da comunidade arbórea em um remanescente florestal urbano (Parque do Sabiá, Uberlândia, MG). **Bioscience Journal**. Uberlândia, v. 22, n. 1, p. 151-162, 2006.

SAIRAM R., SAXENA D. Oxidative stress and antioxidants in wheat genotypes: possible mechanism of water stress tolerance. **Jounal Agronomy & Crop Science**. [S.L] v. 184, p. 55-61, 2000.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SHAHIDIAN, S.; **Gestão de água no Regadio**, in: Hidrologia Agrícola. ICAAM-ECT Universidade de Évora, 2012.

SILVA, C. R.; JÚNIOR, J. A.; SILVA, T. A.; FOLEGATTI, M. V.; SANTOS, R. A.; SOUZA, L. B. **Déficit hídrico em citros: informações para o manejo da irrigação**. Terezina (PI), v. 27, n.1, p. 119-130, 2006.

SILVA, M. I. S.; GUIMARÃES, E. C.; TAVARES, M. Previsão da temperatura média mensal de Uberlândia, MG, com modelos de séries temporais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 12, n. 5, p. 480-485, 2008.

SINCLAIR, T. R.; PURCELL, L. C.; KING, C. A.; SNELLER, C. H.; CHEN, P.; VADEZ, V. Drought tolerance and yield increase of soybean resulting from improved symbiotic N₂ fixation. **Field Crops Research**. Akron, n. 101, p. 68-71, 2007.

SINCIK, M.; CANDOGAN, B. N.; DEMIRTAS, C.; BÜYÜKCANGAZ, H.; YAZGAN, S.; GÖKSOY, A. T. Deficit Irrigation of Soya Bean (*Glycine max* (L.) Merr.) in a Sub-humid climate. **Journal of Agronomy and Crop Science**. [S.L], v. 194, n. 3, p. 200-205, 2008.

SOUZA, A. P.; MOTA, L. L.; ZAMADEI, T.; MARTIN, C. C.; ALMEIDA, F. R.; PAULINO, J. **Classificação Climática e Balanço Hídrico Climatológico no Estado de Mato Grosso**. Nativa, Sinop, v. 1, n. 1, p.34-43, 2013.

SPSS Inc. **SPSS statistics for Windows, version 20.0**. Chicago: SPSS Inc., 2011.

TANGUILIG, V. C.; YAMBAO, E. B.; O'TOOLE, J. C.; DE DATTA, S. K. Water stress effects on leaf elongation, leaf water potential, transpiration, and nutrient uptake of rice, maize, and soybean. **Plant and Soil, Dordrecht**. [S.L], v. 103, n. 1, p. 155-168, 1987.

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

WILLIAMS, L. E.; ARAUJO, F. J. Correlations among predawn leaf, midday leaf and midday stem water potential and their correlations with others measures of soil and

plant water *status* in *Vitis vinifera*. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** Davis (USA), v. 127, n. 3, p. 448-454, 2002.

YAMBAO, E. B; O'TOOLE, J. C. Effects of nitrogen nutrition and root medium water potential on growth, nitrogen uptake and osmotic adjustment of rice. **Physiologia Plantarum**, [S.L], v. 60, n. 4, p. 507–515, 1984.

ANEXOS

Anexo 1 - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e Uniformidade de Emissão (UE) das três bancadas utilizadas na condução do experimento. Uberlândia (MG), 2016.

	Linha 1		Linha 2		Linha 3	
	LL. 1 ¹	LL. 2	LL. 1	LL.2	LL. 1	LL. 2
CUC	98	98	98	98	91	97
Média	98		98		94	
UE	97	97	97	97	86	96
Média	97		97		91	

¹LL. 1 – Linha lateral 1; LL.2 – Linha lateral 2.

Anexo 2 – Distribuição das linhas principais (1, 2 e 3) e das linhas laterais (LL.1 e LL.2) no interior da estufa. Uberlândia(MG), Fazenda Capim Branco, 2016.



Anexo 3 – Intervalo de peso aceito para os diferentes déficits hídricos no estágio vegetativo da cultura. SDH (Sem Déficit Hídrico), DHM (Déficit Hídrico Moderado), DHS (Déficit Hídrico Severo), Inten. do Déf. – Intensidade do Déficit, Int. Acei – Intervalo Aceito. Uberlândia (MG), 2016.

Déficit Hídrico	Inten. do Déf. (%)	Int. Acei (kg)
SDH	90-100	8,76-9,01
DHM	50-60	7,74-8,00
DHS	40-50	7,49-7,74

Anexo 4 – Quadro de análise de variância para Câmara de Scholander, Área foliar, Massa fresca folha, Mass fresca colmo, Massa seca folha e Massa seca haste. Uberlândia, 2016.

Coeficiente de variação	Grau de liberdade
Número de variáveis	6
Número de ambientes	3
Número de genótipos	2
Número de repetições	5
Natureza do modelo	G e A fixo
Decomposição	Nenhuma
Ajuste de GL – Relação >	7

Anexo 5 – Quadro de análise de variância para Altura de planta, Clorofila “a”, Clorofila “b” e Diâmetro da haste. Uberlândia, 2016.

Coeficiente de variação	Grau de liberdade
Número de variáveis	4
Número de ambientes	3
Número de genótipos	2
Número de repetições	5
Natureza do modelo	G e A fixo
Decomposição	Nenhuma
Ajuste de GL – Relação >	7

Anexo 6 – Condições meteorológicas durante a condução do experimento. Uberlândia, 2016.

Data	Temperatura média (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Umidade (%)
30/03/2016	26,8	26,8	26,7	69,3
31/03/2016	26,1	26,2	25,9	73,9
01/04/2016	26,5	26,6	26,3	71,6
02/04/2016	24,2	24,3	24,1	77,1
03/04/2016	25,8	25,9	25,7	73,0
04/04/2016	27,2	27,3	27,1	69,3
05/04/2016	27,6	27,7	27,5	68,0
06/04/2016	26,3	26,4	26,1	67,1
07/04/2016	25,4	25,5	25,3	68,3
08/04/2016	26,0	26,1	25,9	65,4
09/04/2016	26,3	26,4	26,2	63,6
10/04/2016	26,5	26,6	26,3	61,6
11/04/2016	26,0	26,1	25,8	60,3
12/04/2016	25,6	25,8	25,5	59,5
13/04/2016	25,4	25,5	25,3	64,4
14/04/2016	26,0	26,1	25,8	64,5
15/04/2016	25,3	25,4	25,2	63,8
16/04/2016	24,9	25,1	24,8	62,5
17/04/2016	24,9	25,1	24,8	65,4
18/04/2016	25,6	25,7	25,5	64,0
19/04/2016	24,4	24,5	24,2	62,9
20/04/2016	25,0	25,1	24,8	64,1
21/04/2016	24,4	24,6	24,3	65,8
22/04/2016	24,5	24,6	24,4	66,4
23/04/2016	25,0	25,1	24,9	64,9

CAPÍTULO III

LIMITE CRÍTICO DO POTENCIAL HÍDRICO DA SOJA [*Glycine max* (L.) Merrill] DURANTE O ESTÁDIO REPRODUTIVO

LIMITE CRÍTICO DO POTENCIAL HÍDRICO DA SOJA [*Glycine max* (L.) Merrill] DURANTE O ESTÁDIO REPRODUTIVO

Resumo: A soja está entre as culturas mais importantes do Brasil, sua exploração contribui para o desenvolvimento e crescimento do país, gerando empregos e movimentando o mercado nacional. Na produção da soja, um dos grandes problemas enfrentados pelos produtores nacionais é a estiagem no estágio reprodutivo. Esta acarreta uma redução na produção final de grãos, pois tem o potencial de causar distúrbios fisiológicos e morfológicos nas plantas. Uma solução para esse problema é a utilização da irrigação. Mas para a viabilidade dessa tecnologia no campo é importante fazer o manejo hídrico, a fim de tornar a atividade sustentável. Dentre os diferentes procedimentos desenvolvidos para essa finalidade, a câmara de pressão é um método prático, rápido e os resultados mostram o real *status* hídrico das plantas. Desta forma, no momento da aferição dos resultados do equipamento é possível determinar o *status* hídrico da cultura, assim o produtor terá maior segurança em tomar a decisão de fazer uso ou não do sistema de irrigação. Entretanto, para utilizar a câmara de pressão é necessária a existência de valores de referência para a cultura. Pouco se conhece sobre os potenciais hídricos do xilema da soja e como eles se relacionam com as características agronômicas. Por isso, o presente estudo teve como objetivo relacionar os resultados apresentados pela câmara de pressão com os parâmetros agronômicos e, desta forma, encontrar os potenciais hídricos do xilema que indiquem qual o melhor momento para ser feito o uso da irrigação. Para tanto, no ano de 2016 foi instalado um ensaio em casa de vegetação na fazenda Capim Branco, Uberlândia (MG). A implantação da cultura ocorreu no dia 16/03/2016 com a semeadura das cultivares de soja UFUS-6901 e BRASMÁX Flecha IPRO 6266RSF. O ensaio foi composto por três níveis de déficit hídrico: SDH - Sem Déficit hídrico (100% CC); DHM - Déficit Hídrico Moderado (75% CC) e DHS - Déficit Hídrico Severo (45% CC). O delineamento utilizado para cada déficit hídrico foi o inteiramente casualizado, com 5 (cinco) repetições por cultivar. A comparação entre médias foi feita através da metodologia da análise conjunta. As avaliações realizadas foram: potencial hídrico do xilema; número de vagens; número de nós; altura de planta; inserção da primeira vagem; vagem com 1, 2 e 3 sementes. A partir dos resultados apresentados no estágio reprodutivo da cultura da soja, pode-se concluir que potenciais hídricos do xilema maiores que -0,54 MPa não interferem no seu desenvolvimento e na produção de grãos. No estágio reprodutivo, a soja apresenta desenvolvimento normal com até 75% de água da CC. Potenciais abaixo de -1,3 MPa interferem em todos os parâmetros agronômicos estudados, com exceção da inserção da primeira vagem.

Palavras-chave: Câmara de pressão; potencial hídrico do xilema; estágio reprodutivo; soja

CRITICAL LIMIT OF SOYBEAN WATER POTENTIAL [*Glycine max* (L.) Merrill] DURING THE REPRODUCTIVE STADIUM

Abstract: Soy is among the most important crops in Brazil, its exploitation contributes to the development and growth of the country, generating jobs and moving the national market. In soybean production one of the major problems faced by domestic producers is drought at the reproductive stage. This entails a reduction in the final production of grains, since it has the potential to cause physiological and morphological disturbances in the plants. One solution to this problem is the use of the irrigation system. But for the feasibility of this technology in the field it is important to make water management in order to make the activity sustainable. Among the different procedures developed for this purpose, the pressure chamber is a practical, fast method and the results show the real water status of the plants. Thus, when assessing the results of the equipment, it is possible to determine the water *status* of the crop, so that the producer will be more confident in deciding whether or not to use the irrigation system. However, the use of the pressure chamber requires the existence of reference values for the culture. Little is known about the water potentials of soybean xylem and how they relate to the agronomic characteristics. Therefore, the present study had as objective to relate the results presented by the pressure chamber with the agronomic parameters and, in this way, to find the water potentials of the xylem that indicate the best moment to be made the irrigation use. In order to do so, in 2016 a test was installed in a greenhouse at the Capim Branco farm, Uberlândia (MG). The implantation of the crop occurred on 03/16/2016 with the seeding of soybean cultivars UFUS-6901 and BRASMÁX Flecha IPRO 6266RSF. The test was composed of three levels of water deficit: SDH - No water deficit (100% CC); DHM - Moderate Water Deficit (75% CC) and DHS - Severe Water Deficit (45% CC). The design used for each water deficit was completely randomized, with 5 (five) replications per cultivar. The comparison between averages was done through the methodology of the joint analysis. The evaluations were: water potential of xylem; Number of pods; Number of nodes; Plant height; Insertion of the first pod; Pod with 1, 2 and 3 seeds. From the results presented in the reproductive stage of the soybean crop, it can be concluded that xylem water potentials greater than -0.54 MPa do not interfere in its development and grain production. In the reproductive stage soybean presents normal development with up to 75% of water of the CC. Potentials below -1,3 MPa interfere in all the studied agronomic parameters, except for the 1 pod insertion.

Keywords: Pressure chambre; water potential of xylem; reproductive; soybean, water deficit.

1 INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] está entre as culturas mais importantes do Brasil, sua exploração contribui para o desenvolvimento e crescimento do país, gerando empregos e movimentando o mercado nacional (FARIAS et al., 2001). Essa importância se deve ao elevado valor nutricional dos seus grãos, que são utilizados pelas indústrias de alimentos como uma excelente fonte alternativa de proteína para a alimentação humana e animal. Pelo fato da cultura da soja apresentar esse elevado valor econômico e social, é importante conhecer as diferentes respostas das plantas às variadas condições de cultivos e quais os principais fatores ambientais que afetam o seu desenvolvimento e crescimento.

Segundo Souza et al. (2013) e Farias et al. (2007), as plantas de soja apresentam ampla capacidade de resposta às condições ambientais. O fotoperíodo, temperatura e disponibilidade hídrica são os fatores que mais afetam o seu desenvolvimento e produção. Dentre esses fatores, a disponibilidade hídrica do solo é o mais limitante para a produção (SINCIK et al., 2008), sendo o que mais restringe as latitudes e os solos onde a soja poderia ser explorada (FARIAS et al., 2001). De acordo com EMBRAPA SOJA (2011), o período que a soja mais necessita de água é na floração-enchimento de grãos, 7 a 8 mm dia⁻¹. Déficits hídricos nessas fases podem acarretar problemas para a cultura como queda e abortamento de flores, diminuição do número de vagens, vagens vazias, tendo como consequência uma redução na produtividade (FARIAS et al., 2001; FARIAS et al., 2007; DORNBOS e MULLEN, 1990; HUBERTY e DENNO, 2004; OYA et al., 2004; SINCLAIR et al., 2007; JALEEL et al., 2009). Entretanto, é importante salientar que a disponibilidade de água no solo é um fator que pode ser alterado em larga escala, com a instalação de sistemas de irrigação.

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2016), o Brasil utiliza apenas 20,6% dos 29,6 milhões de hectares que poderiam ter um sistema de irrigação. Mas, para chegar a 100% da capacidade nacional e conseguir uma eficiência superior a 90% na utilização dos recursos hídricos, é importante o aperfeiçoamento das técnicas do manejo da irrigação, pois a irrigação é responsável por 75% da vazão nacional (ANA, 2016).

As técnicas para o manejo dos sistemas de irrigação foram desenvolvidas levando em consideração as condições da cultura, da atmosfera e do solo. Desta forma, existem inúmeras opções para determinar a necessidade hídrica das plantas, entretanto,

mesmo os produtores dispendo de várias estratégias para o manejo da irrigação, ainda é muito difícil estabelecer o período em que a água estava limitada e se ocorreu déficit hídrico que foi capaz de impactar no desenvolvimento da cultura (DESCLAUX e ROUMET, 1996). Isso porque o estado hídrico da cultura modifica de acordo com a disponibilidade de água no solo, condições atmosféricas e do estágio de desenvolvimento (RODRIGUES et al., 2003). Por isso é importante a escolha de uma técnica que seja capaz de, no momento da leitura, mostrar como está a hidratação das plantas.

Para solucionar esse problema, uma ferramenta que está sendo sugerida é a aferição do potencial hídrico na folha (MORIANA et al., 2012). Existem diferentes métodos para determinar o teor de água nas folhas, sendo estes: resistência difusiva estomática, temperatura foliar e o potencial de água na planta (GUIMARÃES; STONE, 2008). O potencial de água na planta pode ser medido a partir da câmara de pressão, pois é um método que apresenta alto grau de confiança nos resultados, facilidade e rapidez de uso (GUIMARÃES; STONE, 2008). Além do mais, o aparelho pode ser operado em condições de campo, o que permite a realização de avaliações rápidas, otimizando o tempo (RODRIGUES et al., 2003) da tomada de decisão, isto é, se é necessário ou não fazer uso do sistema de irrigação. Segundo Shahidian (2005 e 2012), é uma metodologia prática que determina a tensão de água nas paredes celulares, e que possui a capacidade de medir de forma direta o estado hídrico das plantas, pois reflete a tensão de água nos vegetais.

Scholander et al. (1964) foi o precursor da técnica que utiliza a câmara de pressão para medir o potencial hídrico das diferentes espécies de importância econômica. O método consiste basicamente em medir a pressão hidrostática da seiva do xilema das plantas utilizando a câmara. Os valores encontrados são correlacionados com o potencial hídrico foliar. Grimes e Yamada (1982) encontraram, em seus trabalhos, uma boa relação entre os dias após a irrigação e o potencial hídrico foliar. Bergonci et al. (2000), trabalhando com milho, chegaram à conclusão que a câmara de pressão pode ser uma ferramenta para a determinação do déficit hídrico. Já Argyrokastritis et al. (2015), ao trabalhar com o algodão, também utilizando a câmara de pressão para determinar o déficit hídrico, conseguiram demonstrar que a cultivar de algodão “Julia” está mais bem adaptada à falta de água que a cultivar “Zoi”. Em todos os trabalhos mencionados foram demonstrados boa relação entre o potencial hídrico do xilema e a disponibilidade de água no solo, entretanto nenhum deles encontrou valores que indicam, a

partir do potencial hídrico do xilema, qual o melhor momento para fazer uso do sistema de irrigação na cultura da soja.

Desta forma, o objetivo deste experimento foi submeter a cultura da soja a diferentes déficits hídricos e, no decorrer do estágio reprodutivo, determinar qual o potencial hídrico do xilema que não prejudica o desenvolvimento da cultura.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local do experimento

A instalação e o desenvolvimento do projeto ocorreu em condições de casa de vegetação na fazenda experimental Capim Branco pertencente à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), que está sob coordenadas geográficas 18,88° latitude Sul (S) e 48,34° longitude Oeste (O), com altitude de 900 metros (m). O período da condução do ensaio foi de 02 de maio a 20 de junho de 2016.

A casa de vegetação é constituída de cinco bancadas suspensas a 1,0 m do solo com dimensões de 18 x 0,8 m. As laterais apresentam telas de sombreamento pretas cobertas por filme de polietileno transparente.

2.2 Preparação do experimento

Para a instalação do ensaio foram utilizados 60 vasos plásticos com volume corresponde a 8,14 dm³, que foram preenchidos com solo de textura argilosa classificado como Latossolo Vermelho Escuro Distrófico, coletado a uma profundidade de 0-20 centímetros (cm).

O solo foi enviado para o Laboratório de Análises de Solos e Calcário pertencente à UFU, e os resultados da análise química estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Análise química do solo. Uberlândia/MG, 2016.

pH	P	K ⁺	S-SO ₄	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	M.O.	V
1-2,5	-----mg dm ⁻³ -----			-----cmol dm ⁻³ -----						dag kg ⁻¹	%
6,1	1,3	103	4	0,26	2,0	0,9	0,0	2,0	3,16	2,8	61

Antes do enchimento dos vasos, o solo foi peneirado com o intuito de eliminar os fragmentos de raízes, torrões ou qualquer outro tipo de material que pudesse interferir na homogeneidade do sistema. Após o peneiramento, cada vaso foi preenchido com um volume de solo que correspondeu a uma massa de 8 kg.

A semeadura das cultivares UFUS-6901 e BRASMÁX Flecha IPRO 6266RSF ocorreu no dia 16/03/2016. Durante o estágio vegetativo, as adubações e pulverizações foram feitas visando alcançar o máximo desenvolvimento da soja, estando de acordo com as recomendações para o estado de Minas Gerais (EMBRAPA, 2007).

Após a emergência das plântulas, quando a soja já estava no estágio VC (primeira folha cotiledonar), segundo escala fenológica proposta por Fehr e Caviness (1977), ocorreu o desbaste, a fim de manter duas plântulas por vaso, para, assim, evitar a competição entre as plantas por nutrientes, água e luz.

2.3 Monitoramento das condições meteorológicas

O monitoramento das condições meteorológicas no interior da casa de vegetação foi realizado do dia 02/05/2016 até o dia 20/06/2016, com o auxílio da estação automática (modelo Vantage Pro2, Davis, EUA). A estação continha os sensores para a medição da temperatura ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%), irradiância solar instantânea (W m^{-2}) e velocidade e direção do vento (m s^{-1}). A estação foi programada para compilar os dados e exibir os resultados em um intervalo de 10 minutos durante todo o período do experimento.

2.4 Sistema e manejo da irrigação

Cada vaso foi irrigado por meio de um gotejador autocompensante modelo Pc Emmiter 2 GHP da marca Rain Bird, com vazão nominal de $7,2 \text{ L h}^{-1}$. O acionamento do sistema de irrigação é controlado eletronicamente, o que permite a automação dos horários das irrigações.

Antes da instalação do ensaio, foi feita uma avaliação da uniformidade de aplicação de água no sistema de irrigação, conforme metodologia descrita por Frizzone

e Neto (2003). Os resultados indicaram uma uniformidade acima de 95%, podendo, de acordo com Bralts (1986), ser considerado como excelente.

A umidade na capacidade de campo foi determinada, seguindo a descrita por Fontenelli (2014). O resultado obtido por esse método foi que o solo suportaria 2 kg de água, isso representava a massa ideal para manter o solo na capacidade do vaso. Então, as irrigações nos tratamentos SDH (Sem Déficit Hídrico) foram feitas visando manter a massa dos vasos com o solo próxima a esse valor, 9 kg. O manejo da irrigação foi feito diariamente na fase reprodutiva. Todos os dias 16 vasos eram pesados, 6 por bancada, e a partir da média dos pesos por bancada, a irrigação era realizada no experimento.

Até o estágio R2 tanto a massa da parte aérea como das raízes não foram levadas em conta, entretanto, a partir de R2 o manejo da irrigação na cultura da soja no experimento começou a ser realizado. Para tanto, algumas amostras de raízes e parte área foram pesadas.

2.5 Tratamentos

A imposição dos tratamentos (déficits hídricos) foi realizada para o período reprodutivo aos 47 DAE (02/05/2016) e encerrou-se aos 96 DAE (20/06/2016). As avaliações foram realizadas nos estádios R3, R4, R5, R6, R7 e R8, segundo a escala de Fehr e Caviness (1977).

Para a condução do ensaio foram utilizadas as três bancas centrais da casa de vegetação, cada uma representava uma condição hídrica: sem déficit hídrico (SDH); déficit hídrico moderado (DHM) e déficit hídrico severo (DHS).

A imposição do déficit hídrico foi feita reduzindo a quantidade de água aplicada no experimento SDH, 100% da capacidade do vaso. Assim, para os experimentos DHM e DHS ocorreu uma redução de 25% e 55%, respectivamente.

O delineamento estatístico utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), apresentando, por bancada, 2 cultivares e 5 repetições que totalizaram 10 parcelas.

No decorrer do ensaio seis avaliações foram realizadas nas datas 6, 13 e 21/05/2016; 3, 10, 17 e 20/06/2016. A avaliação do potencial hídrico do xilema foi realizada em todos os dias de avaliações, com exceção do dia 20/06. A altura das plantas foi medida nos dias 06, 13 e 21/05. O número de nós foi medido nos dias 06, 13, 15/05 e 20/06. Número de vagens foi determinado nas datas 06, 21/05 e 20/06. A inserção da

primeira vagem foi definida no primeiro dia de avaliações (06/05/2016). Já as avaliações do número de vagens com uma, duas e três sementes foram feitas no momento da finalização do experimento, dia 20/06. O horário das avaliações foi das 07 às 09 h. As avaliações começaram a partir do estágio R3 (Início da formação da vagem) (FEHR; CAVINESS, 1977).

O potencial hídrico do xilema foi medido nas 10 parcelas de cada déficit hídrico, pegando uma planta por vaso. As avaliações ocorreram em um trifólio completamente desenvolvido, localizado na parte intermediária da haste principal. No intuito de padronizar as medições, foram contados do ápice para a parte basal da planta três trifólios e o quarto foi utilizado na determinação do potencial hídrico. O horário para a realização da avaliação foi entre 7 e 9:00 horas da manhã.

Para a avaliação da altura de plantas foram escolhidas, ao acaso, quatro plantas por tratamentos e com o auxílio de uma régua graduada foi realizada a medição da altura total das plantas. Esta ocorreu a partir da região do colo, rente ao solo, até o meristema apical. Os resultados foram expressos em centímetro (cm).

A determinação da altura de inserção da primeira vagem foi realizada com o auxílio de uma régua graduada em cm, que foi posicionada na região rente ao solo. As leituras foram realizadas quando a graduação da régua tocava a primeira vagem.

O número de vagens e nós foi amostrado em quatro plantas por tratamento de forma manual, visando quantificar todas as vagens e nós presentes na planta.

No final do ciclo da soja foi determinado o número de vagens com 1, 2 ou 3 sementes. Duas plantas foram recolhidas por parcela e a colheita de todas as vagens presentes nas plantas foi feita. Estas foram contadas e separadas de acordo com o número de grãos presentes.

2. 6 Análise estatística

Todos os resultados das avaliações foram submetidos ao teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e homogeneidade das variâncias de Levene a 0,01 (1%) de significância, com auxílio do programa estatística SPSS 20.0 (SPSS, 2011). Após as análises dos dados, os resultados foram inseridos no programa GENES, utilizando a

metodologia da análise conjunta a 0,05 (5%) de significância pelo teste de Tukey, para a comparação dos resultados entre os diferentes déficits hídricos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores do PHX ficaram dentro do esperado: o tratamento SDH apresentou os maiores potenciais sendo seguido pelo DHM e DHS. Estatisticamente, os potenciais hídricos observados entre o SDH e DHM foram semelhantes, apresentando valores médios inferiores a 0,55 MPa (Tabela 2). Devido à severa restrição hídrica imposta no tratamento DHS, os potenciais hídricos do xilema foram abaixo de -1,3 MPa, diferindo estatisticamente dos demais.

A diferença entre os PHX se deve ao fato de haver diferença na disponibilidade de água para os tratamentos, refletindo na disponibilidade hídrica do solo. Pois, segundo Griffin et al. (1989), na cultura da soja os potenciais hídricos presentes na folha estão diretamente relacionados com a viabilidade hídrica do solo. A partir do momento que se tem uma restrição hídrica no solo, a disponibilidade de água para a cultura é reduzida, entretanto o processo da transpiração continua a ocorrer, diminuindo a quantidade de água no interior das células, o que causa uma redução no turgor, fazendo com que a água presente no xilema seja transferida para as células deixando o xilema sob tensão (JALEEL et al., 2009). Desta forma, à medida que a planta fica no ambiente com restrição hídrica ocorre uma redução no potencial hídrico dos tecidos que reflete na taxa de crescimento da cultura (CREELMAN et al., 1990), devido a uma redução no alongamento e divisão celular (JALEEL et al., 2009). Isso afeta o desenvolvimento de variáveis agrônômicas importantes como a altura de planta (ALTP), número de nós (NUN) e número de vagens (NUV).

Desclaux e Roumet (1996) impuseram o déficit hídrico na cultura da soja nos estádios R1-R3 e observaram que a característica mais sensível é o comprimento médio dos entrenós. O comprimento dos entrenós e a quantidade de nós presente nas plantas estão relacionados com a ALTP. Pode-se notar que os tratamentos SDH e DHM foram estatisticamente semelhantes na variável NUN (Número de Nós) com os valores médios observados de 10,6 e 10,5, respectivamente (Tabela 2). Isso teve um reflexo direto na ALTP, pois, além de serem estatisticamente iguais, estes apresentaram os maiores

valores de ALTP, com 59,6 e 58,3 cm, respectivamente (Tabela 2). Essa tendência pode ser notada no tratamento DHS, pois os resultados observados foram, numericamente e estatisticamente, inferiores aos demais.

Outra explicação para as plantas de soja no DHS terem os menores valores tanto de ALTP como de NUN é o fato que na fase reprodutiva a cultura tem a finalidade de produzir grãos para perpetuar sua espécie, desta forma os poucos recursos disponíveis para a planta são destinados à formação e ao enchimento de vagens.

Fiegenbaum et al. (1991) impuseram o déficit hídrico somente na fase da floração. Nessa fase, a falta de água teve o potencial de reduzir de forma expressiva a altura final da planta de feijão cultivar Rio Tibagi, corroborando com o presente trabalho, em que a restrição hídrica severa foi capaz de reduzir em, aproximadamente, 9 cm a altura final das plantas.

Não ocorreu diferença estatística na avaliação da inserção da primeira vagem (IIV); os resultados variaram de 12,25 a 14,15 cm. Essa semelhança estatística se deve ao fato de que a avaliação foi realizada poucos dias após a imposição do déficit hídrico, desta forma, as plantas presentes no tratamento SDH ainda apresentavam reservas hídricas para desenvolver as flores da região inferior da planta.

As avaliações do NUV foram realizadas em três diferentes estádios de desenvolvimento da cultura: R3, R5 e R8; os resultados foram compilados e as médias estão representadas na Tabela 2. É importante notar que o potencial hídrico menor de -1 MPa influenciou de forma negativa a quantidade de vagens por plantas. Segundo Desclaux e Roumet (1996), o número de vagens é afetado quando o déficit hídrico ocorre nos estádios R3-R5. O que vai de encontro aos resultados apresentados no presente trabalho, pois os déficits hídricos nos estádios R3-R5 comprometeram a produção das vagens pelas plantas e, conseqüentemente, influenciam o número de vagens com 1, 2 e 3 sementes. Souza et al. (2013) mostraram que quando o déficit hídrico ocorre no início da floração (R1) e no momento que as vagens estão completamente desenvolvidas (R4), a produção de sementes é reduzida significativamente, quando comparado com a fase que o grão está cheio ou completo (R6) e início da maturação (R7). Souza et al. (2013) também chegaram à conclusão que, quando o estresse hídrico ocorre no estágio de desenvolvimento R5, a característica afetada é o número de grãos por vagem e o peso dos grãos.

Estatisticamente, as plantas dos experimentos SDH e DHM diferiram das do DHS e apresentaram maior quantidade de vagens com 1, 2 e 3 sementes, com destaque

para as vagens de 2 sementes que foram, numericamente, 2,5 e 2,0 vezes maiores em relação ao DHS. Isso ocorreu pelo fato que as plantas estavam sob forte déficit hídrico, com tensões muito elevadas no seu interior. Outra explicação é que com o menor desenvolvimento da planta, esta apresentou menos nós, conseqüentemente, tinha uma menor região para o desenvolvimento de vagens.

Tabela 2 – Média das diferentes avaliações na cultura da soja durante a fase reprodutiva. Uberlândia, 2016.

	PHX ²	NUV	NUN	ALTP	IIV	V1S	V2S	V3S
SDH ³	-0,44 a	26,3 a	10,6 a	59,6 a	12,25 a	5,7 a	24,3 a	12,9 a
DHM	-0,54 a	21,3 ab	10,5 a	58,3 a	13,05 a	3,5 ab	18,3 a	9,8 a
DHS	-1,35 b	12,8 b	9,5 b	50,6 b	14, 15 a	2,3 b	9,9 b	4,7 b

¹ Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, à 0,05 (5%) de significância.

² PHX – Potencial Hídrico do Xilema (MPa); NUV – Número de Vagens; NUN – Número de nós; ALTP - Altura de Planta (cm); IIV – Inserção da primeira vagem (cm); V1S – Vagem com 1 semente; V2S – Vagem com 2 sementes; V3S – Vagem com 3 sementes;

³ SDH – Sem Déficit Hídrico; DHM – Déficit Hídrico Moderado; DHS – Déficit Hídrico Severo.

CONCLUSÃO

Nas condições do experimento, a partir dos resultados apresentados no estágio reprodutivo da cultura da soja, pode-se concluir que potenciais hídricos do xilema maiores que -0,54 MPa não interferem no seu desenvolvimento e na produção de grãos. No estágio reprodutivo, a soja apresenta desenvolvimento normal com até 75% de água da CC. Potenciais abaixo de -1,3 MPa interferem em todos os parâmetros agrônômicos estudados, com exceção da inserção da primeira vagem.

REFERÊNCIAS

- AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil. **Informe 2016**. Disponível em: < <http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/informe-conjuntura-2016.pdf>>. Acesso em: 27 dez. 2016.
- ARGYROKASTRITIS, I. G.; PAPASTYLIANOU, P. T.; ALEXANDRIS, S. Leaf water potential and crop water stress index variation for full and deficit irrigated cotton in Mediterranean conditions. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, Patras, Greece, v. 4, p. 463 – 470, 2015.
- BRALTS, V. F. Field performance and evaluation. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. (Ed.) **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier, p. 216-240, 1986.
- BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M.; SANTOS, A. O. Potencial da água na folha como um indicador de déficit hídrico em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 8, p. 1531-1540, 2000.
- CREELMAN, R. A.; MASON, H. S.; BENSEN, R. J.; BOYER, J. S.; MULLET, J. E. Water deficit and abscisic acid cause differential inhibition of shoot versus root growth in soybean seedling. **Plant Physiol.** Lewes, v. 92, p. 205-214, 1990.
- DESCLAUX, D.; ROUMET, P. Impact of drought stress on the phenology of two soybean (*Glycine max* L. Merr) cultivars. **Field Crops Research**. Mauguio, v. 46, n. 1, p. 61-70, 1996.
- DORNBOS, D. L. Jr.; MULLEN, R. E. Influence of stress during soybean seed fill on seed weight, germination, and seedling growth rate. **Canadian Journal of Plant Science**. Iowa, v. 71, n. 2, p. 373-383, 1990.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Recomendações técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil. Tecnologias de Produção de Soja Região Central do Brasil. **Sistema de Produção 11**. Londrina, p. 219, 2007.
- EMBRAPA SOJA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Tecnologia de produção de Soja – Região Central do Brasil 2012 e 2013. **Sistemas de Produção**. Londrina: Embrapa Soja, n. 15, p. 261, 2011.
- FARIAS, J. R. B.; ASSAD, E. D.; ALMEIDA, I. R.; EVANGELISTA, B. A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 415-421, dez. 2001.
- FARIAS, J. R.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da Soja**. Circular Técnica 48. Londrina PR, Setembro, 2007.
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. Stages of soybean development. **Ames: Iowa State University of Science and Technology**, p. 11, 1977.

FIEGENBAUM, V.; SANTOS, D. S.; MELLO, V. D.; FILHO, B. G. S.; TILLMANN, M. A. A.; SILVA, J. B. Influência do déficit hídrico sobre os componentes de rendimento de três cultivares de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, n. 26, v. 2, p. 275-280, 1991.

FONTENELLI, J. L. **Métodos de manutenção de umidade do solo no cultivo do girassol e cártamo em condições controladas**. 2014. 84f. (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal de Mato Grosso-UFMT, Rondonópolis-MT, 2014.

FRIZZONE, J. A.; NETO, D. D. **Avaliações de sistemas de irrigação e análise econômica**. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. Irrigação: Série Engenharia Agrícola. Jaboticabal: SBEA, p. 621-623, 2003.

GRIFFIN, B. S.; SHILLING, D. G.; BENNETT, J. M.; CURREY, W. L. The influence of water stress on the physiology and competition of soybean (*Glycine max*) and florida beggarweed (*Desmodium tortuosum*). **Weed Science**, [S.L] v. 37, p. 544-551, 1989.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F. Métodos de avaliação das condições hídricas das plantas. **Comunicado Técnico 161**. Santo Antônio, ed. 1, 2008.

GRIMES, D. W.; YAMADA, H. Cotton growth related to plant water status. **California Agriculture**. n. 36, v. 11, p. 13-14, 1982.

HUBERTY, A. F.; DENNO, R. F. Plant water stress and its consequences for herbivorous insects: a new synthesis. **Ecology**, Maryland (USA), v. 85, n. 5, p. 1383-1398, 2004.

JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; WAHID, A.; FAROOQ, M.; AL-JUBURI, H. J.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. **International Journal of Agriculture & Biology**. [S.L] v. 11, n. 1, p. 100-105, 2009.

MORIANA, A. PÉREZ-LÓPES, D. PRIETO, M. H. RAMÍREZ-SANTA-PAU, M. RODRIGUEZ, J. M. P. Midday stem water potential as a useful tool for estimating irrigation requirements in olive trees. **Agricultural Water Management**, Spain, v. 112, p. 43-54, 2012.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; ROMAN, E. S. Avaliação do Potencial Hídrico Foliar em Plantas de Trigo. Passo Fundo: **Embrapa Trigo**. (Embrapa Trigo. Circular Técnica Online; 15), p. 12, 2003.

SCHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.Y.; HEMMINGSEN, E.A.; BRADSTREET, E.D. Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of mangroves and some other plants. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, New Haven, Conecticut, v.52, n.1, p. 119-125, 1964.

SHAHIDIAN, S.; Gestão de água no Regadio, in: Hidrologia Agrícola. ICAAM-ECT Universidade de Évora, 2012.

OYA, T.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; TOBITA, S.; ITO, O. Drought tolerance characteristics of Brazilian soybean cultivars - Evaluation and characterization of drought tolerance of various Brazilian soybean cultivars in the field. **Plant Prod. Sci.** Londrina, v. 7, n. 2, p. 129-137, 2004.

SINCIK, M.; CANDOĞAN, B. N.; DEMİRTAS, C.; BÜYÜKCANGAZ, H.; YAZGAN, S.; GÖKSOY, A. T. Deficit Irrigation of Soya Bean (*Glycine max* (L.) Merr.) in a Sub-humid climate. **Journal of Agronomy and Crop Science**, [S.L], v. 194, n. 3, p. 200-205, 2008.

SINCLAIR, T. R.; PURCELL, L. C.; KING, C. A.; SNELLER, C. H.; CHEN, P.; VADEZ, V. Drought tolerance and yield increase of soybean resulting from improved symbiotic N₂ fixation. **Field Crops Research**, v. 101, n. 1, p. 68-71, 2007.

SOUZA, G. M.; CATUCHI, T. A.; BERTOLLI, S.; SORATTO, R. P (2013). Soybean Under Water Deficit: Physiological and Yield Responses. **A Comprehensive Survey of International Soybean Research - Genetics, Physiology, Agronomy and Nitrogen Relationships**. Prof. James Board (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/54269. Available from: <<http://www.intechopen.com/books/a-comprehensive-survey-of-international-soybean-research-genetics-physiology-agronomy-and-nitrogen-relationships/soybean-under-water-deficit-physiological-and-yield-responses>>. Acesso em: 29 set. 2016.

SPSS Inc. **SPSS statistics for Windows, version 20.0**. Chicago: SPSS Inc., 2011.

ANEXO

Anexo 1 – Condições meteorológicas durante a condução do experimento. Uberlândia, 2016.

Data	Temperatura média (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Umidade (%)
02/05/2016	21,0	21,1	20,9	60,2
03/05/2016	21,7	21,8	21,6	66,6
04/05/2016	21,8	22,0	21,7	65,5
05/05/2016	21,9	22,0	21,8	59,6
06/05/2016	22,1	22,2	21,9	64,3
07/05/2016	23,1	23,2	23,0	64,9
08/05/2016	23,5	23,7	23,4	64,2
09/05/2016	23,5	23,6	23,4	64,4
10/05/2016	23,4	23,5	23,2	64,8
11/05/2016	-	-	-	-
12/05/2016	-	-	-	-
13/05/2016	24,8	25,0	24,8	68,4
14/05/2016	23,7	23,8	23,6	73,1
15/05/2016	24,0	24,1	23,9	72,8
16/05/2016	21,8	21,8	21,7	85,7
17/05/2016	21,7	21,8	21,6	83,8
18/05/2016	22,6	22,7	22,5	77,7
19/05/2016	24,5	24,6	24,4	71,4
20/05/2016	24,6	24,7	24,5	71,8
21/05/2016	22,7	22,8	22,6	74,5
22/05/2016	23,8	23,9	23,7	70,8
23/05/2016	20,1	20,2	20,0	79,9
24/05/2016	19,8	19,9	19,6	70,6
25/05/2016	20,9	21,0	20,8	73,8
26/05/2016	21,7	21,9	21,6	71,3
27/05/2016	21,4	21,5	21,2	69,1
28/05/2016	22,0	22,1	21,9	64,8
29/05/2016	17,8	17,9	17,7	80,6
30/05/2016	20,7	20,8	20,6	73,5
31/05/2016	22,3	22,4	22,2	71,8
01/06/2016	23,0	23,1	22,9	72,2
02/06/2016	22,2	22,3	22,1	80,1
03/06/2016	20,5	20,5	20,4	91,0
04/06/2016	22,7	22,8	22,6	83,4
05/06/2016	24,2	24,3	24,1	77,8
06/06/2016	23,4	23,5	23,3	78,5

07/06/2016	21,5	21,6	21,4	87,1
08/06/2016	19,0	19,1	18,9	83,5
09/06/2016	18,5	18,6	18,5	72,1
10/06/2016	19,4	19,5	19,3	74,2
11/06/2016	17,9	18,0	17,8	63,6
12/06/2016	15,6	15,8	15,5	60,2
13/06/2016	16,3	16,5	16,2	65,1
14/06/2016	20,4	20,4	20,3	72,7
15/06/2016	20,6	20,7	20,4	69,5
16/06/2016	19,7	19,8	19,6	68,2
17/06/2016	18,7	18,8	18,5	65,5
18/06/2016	18,6	18,8	18,5	63,7
19/06/2016	18,9	19,1	18,8	61,8
20/06/2016	13,0	13,1	12,8	80,4

CAPÍTULO IV

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DA SOJA [*Glycine max* (L.) Merrill] NO PRÉ-FLORESCIMENTO SOB DIFERENTES NÍVEIS DE DÉFICIT HÍDRICO

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DA SOJA [*Glycine max* (L.) Merrill] NO PRÉ-FLORESCIMENTO SOB DIFERENTES NÍVEIS DE DÉFICIT HÍDRICO

Resumo: Na agricultura o clima é um fator de difícil controle e de grande risco para as lavouras. Dentre os estresses abióticos, a seca pode reduzir significativamente a produtividade e estudos sobre as respostas das plantas a essa condição de estresse hídrico são importantes porque podem reduzir os prejuízos de produtores rurais. Diante disso, o objetivo do trabalho foi verificar as respostas fisiológicas da soja quando submetida a um longo período de déficit hídrico imposto 15 dias após a emergência da cultura até o pré-florescimento. O experimento foi realizado em casa de vegetação em delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC). Foram utilizadas três (3) bancadas, cada uma com dois (2) cultivares de soja (UFUS6901 e BRASMÁX Flecha IPRO 6266RSF) e cinco (5) repetições, totalizando dez (10) parcelas em cada bancada. A imposição dos tratamentos (déficits hídricos) no período vegetativo iniciou-se aos 15 DAE, reduzindo a quantidade de água aplicada na condição SDH (100% da capacidade de campo). Desta forma, no DHM e DHS reduziu-se 45% e 55%, respectivamente, e a imposição do déficit encerrou-se 38 DAE. No interior da casa de vegetação foi feito o monitoramento da temperatura ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%), irradiância solar instantânea (W m^{-2}) e velocidade e direção do vento (m s^{-1}). As características fisiológicas coletadas foram: potencial hídrico do xilema com o auxílio da Câmara de Scholander; taxa de assimilação líquida do CO_2 – A_{CO_2} ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); temperatura foliar (T_f $^{\circ}\text{C}$); condutância estomática ao vapor d'água (g_s $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); taxa de transpiração (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e concentração intercelular do CO_2 (C_i , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) com o uso do aparelho Infra Red Gas Analyzer (IRGA); e o índice de clorofila “a” e “b”, utilizando o medidor portátil ClorofiLOG. Pode-se concluir que em todas as variáveis analisadas, com exceção da clorofila “a” e “b”, o potencial hídrico do xilema até -0,51 MPa foi favorável para o melhor desempenho dos parâmetros fisiológicos estudados. Na condição de DHS, sob potencial hídrico do xilema de -1,45 MPa, ficou evidente os mecanismos que a planta utilizou para se adaptar ao déficit hídrico. Os valores de condutância estomática (g_s) foram menores, desta forma, as plantas apresentaram menor taxa de transpiração (E) e maior eficiência intrínseca do uso de água (A/g_s).

Palavras-chave: Soja; IRGA; potencial hídrico do xilema

PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF SOYBEAN [*Glycine max* (L.) Merrill] IN PRE-FLOWERING UNDER DIFFERENT LEVELS WATER DEFICITS

Abstract: In agriculture the climate is a factor of difficult control and great risk for crops. Among the abiotic stresses, drought can support a productivity analysis and studies on the responses of plants to this condition of water aesthetics are important so that they can reduce the losses of the rural producers. Therefore, the objective of the work was verified as physiological responses of the soybean when submitted to a long period of physical deficit. The experiment was carried out under greenhouse conditions in a completely causalized experimental design (DIC). Three stands were used, each with two soybean cultivars (UFUS6901 and BRASMÁX Flecha IPRO 6266RSF) and 5 replicates, totaling 10 treatments and 30 plots in each bench. The water deficit (water deficits) does not have a vegetative period started at 15 DAE (100% of the field capacity). Thus, DHM and DHS were reduced by 45% and 55%, respectively, and the imposition of the deficit closed at 38 DAE. Monitoring of temperature ($^{\circ}\text{C}$), relative humidity (%), instantaneous solar irradiance (W m^{-2}) and wind speed and direction (m s^{-1}) were performed inside the greenhouse. The physiological characteristics were: water potential of the xylem with the aid of the Scholander chamber, net assimilation rate of CO_2 - A_{CO_2} ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), leaf temperature ($\text{Tf } ^{\circ}\text{C}$), stomatal conductance to steam d' ($\text{Gs mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiration rate (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) and intercellular CO_2 concentration (Ci , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) Infra Red Gas Analyzer (IRGA), and the chlorophyll index a and b using the portable ClorofiLOG meter. We can conclude that in all analyzed variables, with the exception of chlorophyll a and b, the water potential of the xylem up to -0.51 MPa was favorable for the better performance of the studied physiological parameters. Under the DHS condition, under water potential of the xylem of -1.45 MPa , the mechanisms that the plant used to adapt to the water deficit were evident. The values of stomatal conductance (gs) were lower, in this way, the plants had lower transpiration rate (E) and higher intrinsic water use efficiency (A / gs).

Keywords: Soybean; IRGA; water potential of xylem

1 INTRODUÇÃO

A soja está entre as culturas mais importantes do mundo, seus grãos apresentam grande valor nutricional, sendo destinados para a produção de alimentos (HIRAKURI e LAZZAROTTO, 2014). A soja é a principal commodity brasileira (ESPINDOLA e CUNHA, 2015); somente no ano agrícola 2012/2013 a exportação de grãos abrangeu 42 milhões de toneladas (BRASIL, 2014).

Na agricultura, o clima é um fator de difícil controle e de grande risco para as lavouras, pois pode gerar queda na produtividade. Dentre os estresses abióticos, a seca pode reduzir significativamente a produtividade e restringir as áreas, em que espécies comercialmente importantes como a soja podem ser cultivadas (FARIAS et al., 2016).

No ambiente natural, os vegetais estão sujeitos a vários tipos de estresses, dentre estes a seca, que está entre os mais importantes fenômenos ambientais que afetam a produção agrícola (KUSAKA et al., 2005). A limitação de água causa estresse hídrico nas plantas, o qual está entre os fenômenos que mais interferem e limitam a produção de importantes culturas no mundo (BOYER, 1982). A queda de produtividade ocorre pelo fato que o déficit hídrico tende a desorganizar o equilíbrio interno das plantas, mudando as suas condições fisiológicas (JALEEL et al., 2009). Segundo Lopes e Lima (2015), o déficit hídrico começa quando a taxa de transpiração é maior que a taxa de absorção hídrica, nesse ponto ocorre uma perda de turgescência plena das células e de tecidos dos vegetais.

Na soja, a germinação-emergência e floração-enchimento de grãos são as fases de maior suscetibilidade da cultura da soja ao estresse hídrico (FARIAS et al., 2016). O déficit hídrico nessa cultura em fase de enchimento de grãos pode ocasionar redução no tamanho e no peso dos grãos além da retenção da cor verde, isso porque o déficit de água prejudica a atividade das enzimas responsáveis pela degradação da clorofila (BORRMANN, 2009). Na safra 2011/12, o longo período de estiagem causou perdas significativas no cultivo da soja no Brasil, sobretudo no Rio Grande do Sul, com perdas de 43,8% (5,09 milhões de toneladas), e no Paraná com redução de 30,0% (4,63 milhões de toneladas) (CONAB, 2012).

Quando as plantas estão sob déficit hídrico, fisiologicamente, fecham os estômatos, aumentam a resistência da taxa de difusão do vapor d'água para a atmosfera, e reduzem a taxa de transpiração (EMBRAPA, 2009). A redução na transpiração tem como implicação a elevação na temperatura foliar (JONES, 1998). O fechamento

estomático da planta influência em uma menor taxa de absorção de CO₂, reduzindo a quantidade de CO₂ no mesófilo foliar, interferindo de forma direta na fotossíntese (CORNIC, 2000). Desta forma, a planta reduz a produção de fotoassimilados, ocorrendo uma redução na quantidade de energia destinada para promover o desenvolvimento das áreas em formação da planta (MELO, 2011). Segundo Osakabe et al., (2014), o crescimento das plantas está diretamente ligado à fotossíntese.

As respostas fisiológicas das plantas ao déficit hídrico tem como objetivo, de forma indireta, a manutenção e conservação do *status* hídrico do solo. Essa estratégia visa diminuir o consumo de água por parte do vegetal e, desta forma, economizar para que esse recurso seja utilizado em períodos posteriores (SANTOS; CARLESSO, 1998). Além disso, estudos sobre as respostas das plantas a essa condição são importantes porque podem reduzir as perdas de produtores rurais que investem em áreas que estão sujeitas as instabilidades climáticas.

Tendo como base as informações descritas, o objetivo deste trabalho foi verificar as respostas fisiológicas da soja quando submetida a um período de 23 dias de déficit hídrico, imposto 15 dias após a emergência da cultura até o pré-florescimento.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local do experimento

A instalação e condução do ensaio ocorreu em condições de casa de vegetação na fazenda experimental Capim Branco pertencente à Universidade Federal de Uberlândia (UFU) na cidade Uberlândia (MG), sob coordenadas geográficas 18,88° latitude Sul (S) e 48,34° longitude Oeste (O), altitude de 900 metros (m). A condução do experimento foi realizada no período de 16 de março a 22 de abril de 2016.

A cidade de Uberlândia apresenta um clima tropical, sendo caracterizada por períodos quente e úmido com inverno frio e seco (SILVA et al., 2008). A precipitação pluviométrica média anual varia de 1500 a 1600 milímetros (mm) (SILVA et al., 2008). No verão, as médias das temperaturas máximas variam de 21 a 26°C, na estação do inverno as médias mensais registradas estão entre 17 e 22°C, tendo como médias anuais de 20 a 25°C (ROSA; SCHIAVINI, 2006).

2.2 Preparação do experimento

Na instalação e condução do experimento foi necessária a utilização de 90 vasos plásticos com volume corresponde a 8,14 dm³, preenchidos com Latossolo Vermelho Escuro Distrófico de textura argilosa proveniente da área experimental, coletado na profundidade de 0-20 centímetros (cm).

Os resultados da análise química do solo, realizada no Laboratório de Análises de Solos e Calcário pertencente ao Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) da UFU, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Análise química do solo. Uberlândia (MG), 2016.

ph	P	K ⁺	S-SO ₄	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	M.O.	V
1-2,5	-----mg dm ⁻³ -----			-----cmol dm ⁻³ -----						dag kg ⁻¹	%
6,1	1,3	103	4	0,26	2,0	0,9	0,0	2,0	3,16	2,8	61

No momento da instalação do ensaio, foi necessário peneirar o solo para eliminar partículas que pudessem interferir na homogeneidade do sistema. Após esse processo, foi feita a padronização dos vasos, cada um foi preenchido com um volume de solo que correspondeu a uma massa de 8 kg.

Antes da semeadura das cultivares de soja UFUS-6901 e BRASMÁX Flecha IPRO 6266RSF, as sementes foram tratadas com fungicida Carbendazim + Tiram (Protreat, Milênia Agro Ciência S/A, Taiwan). Os tratamentos com defensivos agrícolas foram realizados para manter o vigor e garantir a germinação das sementes. No momento da semeadura, juntamente com os defensivos, ocorreu a inoculação das bactérias do gênero e *Bradyrhizobium* spp., na proporção de 7,0 x 10⁸ células mL⁻¹ por semente. A inoculação é importante pelo fato das bactérias serem uma das principais fontes de nitrogênio (N) para a cultura da soja (EMBRAPA, 2011).

A adubação foi realizada na semeadura a uma profundidade de 7 a 10 cm com três gramas do formulado 4-14-08 (N-P-K). No dia 16/03/2016, foi feita a semeadura, deixando seis sementes por vaso a uma profundidade de 3 a 5 cm. Já o desbaste foi realizado após a emergência das plântulas, quando a soja estava no estágio VC (primeira folha cotiledonar) (FEHR e CAVINESS, 1977), deixando duas plantas por vaso.

Durante o desenvolvimento da cultura, foram realizadas adubações e pulverizações conforme as recomendações da cultura para Estado de Minas Gerais (EMBRAPA, 2011).

2.3 Monitoramento das condições meteorológicas

O monitoramento das condições meteorológicas no interior da casa de vegetação foi realizado a partir do dia 30/03/2016 até o dia 22/04/2016, com o auxílio da estação automática (modelo Vantage Pro2, Davis, EUA). A estação continha os instrumentos para a medição da temperatura ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%), irradiância solar instantânea (W m^{-2}) e velocidade e direção do vento (m s^{-1}). A estação foi programada para compilar os dados e exibir os resultados em um intervalo de 10 minutos durante todo o período do experimento.

2.4 Sistema e manejo da irrigação

Cada vaso foi irrigado por meio de um gotejador autocompensante modelo Pc Emmitter 2 GHP (Rain Bird, Estados Unidos), com vazão nominal de $7,2 \text{ L h}^{-1}$. O acionamento do sistema de irrigação é controlado eletronicamente, o que permite a automação dos horários das irrigações.

Antes da instalação do ensaio, foi feita uma avaliação da uniformidade de aplicação de água no sistema de irrigação, conforme metodologia descrita por Frizzone e Neto (2003). Os resultados indicaram uma uniformidade de acima de 95%, podendo, de acordo com Bralts (1986), ser considerado excelente. Antes do início do experimento (V1 a V3), as plântulas foram irrigadas visando a reposição de toda a água evapotranspirada e buscando a manutenção da umidade dos vasos próxima a capacidade de campo (CC).

A umidade na CC foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Fontenelli (2014). Resumidamente, alguns exemplares dos vasos preenchidos com solo foram saturados com água, pesados e deixados para drenar (2 dias). Após a drenagem, foi feita a segunda pesagem. A diferença entre o solo úmido e seco foi de, aproximadamente, 2 kg, que representava a massa ideal de água para manter o solo na

CC. Então, as irrigações nos tratamentos Sem Déficit Hídrico foram feitas para manter a massa dos vasos com solo próxima a esse valor. O manejo da irrigação durante toda a fase vegetativa foi realizado a cada 2 dias.

No início do desenvolvimento da cultura, tanto a massa da parte aérea como das raízes não foram levadas em consideração para no manejo da irrigação, entretanto, a partir do estágio V3, esses pesos começaram a ser somados ao peso total. Para tanto, algumas amostras de raízes e parte área foram pesadas.

2.5 Tratamentos

A imposição dos tratamentos (déficits hídricos) no período vegetativo iniciou-se aos 15 DAE (31/03/2016) e encerrou-se 37 DAE (22/04/2016). A avaliação na fase vegetativa foi realizada nos estádios V6 (FEHR; CAVINESS, 1977).

Para a condução do ensaio foram utilizadas três bancadas centrais da casa de vegetação; cada uma representava uma condição hídrica - sem déficit hídrico (SDH), déficit hídrico moderado (DHM) e déficit hídrico severo (DHS).

A imposição do déficit hídrico foi feita reduzindo a quantidade de água aplicada no experimento SDH, 100% da CC. Desta forma, no DHM reduziu 45% e no DHS 55% da CC. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), apresentando, por bancada, 2 cultivares e 5 repetições.

2.6 Avaliações

A determinação dos parâmetros fisiológicos foi feita no dia 22/04/2016 (37 DAE). Nessa data, a cultura já estava a 22 dias sob déficit hídrico. Para tanto, foram medidos o potencial hídrico do xilema, as trocas gasosas e o índice de clorofila “a” e “b”, com auxílio dos aparelhos Câmara de Scholander, Infra Red Gas Analyzer (IRGA) e o ClorofiLOG, respectivamente. Todas as avaliações foram realizadas no período da manhã entre às 7h e 9h. O horário foi estabelecido como sendo o mais apropriado para evitar possível depressão na condutância estomática.

O potencial hídrico do xilema foi medido em uma planta por vaso, totalizando 10 avaliações por nível de déficit hídrico. As avaliações ocorreram em um trifólio

completamente desenvolvido, localizado na parte intermediária da haste principal. No intuito de padronizar as análises, foram contados do ápice para a parte basal da planta 3 trifólios, e o quarto foi utilizado na determinação do potencial hídrico do xilema.

As trocas gasosas foram avaliadas com o auxílio de um analisador de trocas gasosas (modelo LCA-4, Analytica DevelopmentCo., Inglaterra). Convém esclarecer que o sistema de trocas gasosas do aparelho é aberto de maneira que o fluxo de ar fresco (novo) seja contínuo. Através da diferença entre o ar atmosférico e o ar oriundo da câmara foliar, foram obtidas as taxas de assimilação líquida do CO_2 – A_{CO_2} ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). O aparelho registra também a temperatura foliar (T_f °C), condutância estomática ao vapor d'água (g_s $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), a taxa de transpiração (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e a concentração intercelular do CO_2 (C_i , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). A partir desses valores foram feitas as relações, eficiência instantânea do uso da água (A/E , $\text{mmol CO}_2 \text{mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$), eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{H}_2\text{O}$) e eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i , $\mu\text{mol CO}_2 \text{mol H}_2\text{O}^{-1}$).

A determinação do índice de clorofila “a” e “b” (índice de clorofila Falker ICF) presente na folha foi feita com auxílio do aparelho clorofilômetro (ClorofiLOG® CFL-1030, Falker Automação Agrícola, Brasil). As avaliações foram realizadas no terço médio de quatro plantas por tratamento. Para tanto, foram escolhidas, ao acaso, as folhas centrais dos trifólios completamente desenvolvidas. O aparelho foi posicionado na região mediana do limbo foliar, para evitar o contato de leitor do equipamento com as nervuras das folhas. Os resultados apresentados pelo aparelho são adimensionais.

2.7 Análise estatística

Todos os resultados das avaliações foram submetidos ao teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e homogeneidade das variâncias de Levene a 0,01 (1%) de significância, com auxílio do programa estatística SPSS 20.0 (SPSS, 2011). Após as análises dos dados, os resultados foram inseridos no programa GENES, utilizando a metodologia da análise conjunta a 0,05 (5%) de significância pelo teste de Tukey, para fazer a comparação de como a soja se comportou entre os tratamentos (SDH, DHM e DHS).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados apresentados na Tabela 2, pode-se afirmar que a imposição dos três diferentes déficits hídricos foi realizada com sucesso, pois foi encontrado para cada tipo de restrição hídrica (SDH, DHM e DHS) um valor de potencial hídrico do xilema, sendo estes condizentes com o esperado, onde o SDH apresentaria os maiores potências, próximos de 0 MPa, sendo seguido pelo DHM e DHS. No tratamento SDH não houve restrição hídrica e os potenciais foram de apenas -0,51 MPa. Já no DHS, os potenciais hídricos do xilema foram os mais negativos -1,45 MPa por causa da forte restrição hídrica imposta na cultura. Griffin et al. (1989) explica que mudanças no potencial hídrico do solo acarretam alterações similares no potencial hídrico foliar na cultura da soja. Essas alterações são feitas devido à redução no conteúdo de água disponível para a planta, que, conseqüentemente, reduz o potencial hídrico da folha e ocorre a perda de turgor, deixando o xilema sob tensão (JALEEL et al., 2009). Quando os resultados dos potenciais hídricos do xilema são muito negativos, é um indício que a planta está passando por um período de déficit hídrico.

Para que a cultura consiga resistir à restrição hídrica, as plantas passam por alterações fisiológicas no intuito de manter a água no seu interior. Uma das primeiras reações em resposta ao déficit hídrico é o fechamento estomático (EMBRAPA, 2015). Neste trabalho, nota-se que as plantas submetidas à restrição hídrica moderada e severa foram as que apresentaram os menores valores de condutância estomática (gs). Esses dados mostram que os estômatos estavam fechados quando comparados com o SDH (DHM = 0,3; DHS = 0,03; SDH = 0,6 mol m⁻² s⁻¹). Essa resposta fisiológica visa evitar a perda de água excessiva pelo processo da transpiração. Segundo Munger et al. (1987), à medida que ocorre a redução da condutância estomática, ocorre uma diminuição na transpiração. De acordo com Nascimento (2009), a gs é um importante mecanismo fisiológico para a regulação da transpiração. A limitação da disponibilidade hídrica do solo promove diminuição do potencial hídrico nas folhas, desta forma, os estômatos se fecham além de ocorrer a perda da turgescência das folhas. Firmano et al. (2009) encontraram uma relação entre a transpiração e a abertura estomática: quanto maior o gs, conseqüentemente, mais elevado será o E. Esses fatores estão interligados, pois os estômatos são as principais estruturas de perda de água que a planta apresenta. Segundo Taiz e Zeiger. (2004), os estômatos são responsáveis por fazer a ligação entre a água

presente nos espaços intercelulares com a atmosfera, pois são responsáveis, quase que totalmente, pela perda do vapor de água.

Desta forma, o fechamento estomático teve um reflexo direto na transpiração (E). As plantas dos tratamentos DHM e DHS apresentaram, numericamente, os menores valores de E. Corroborando com os trabalhos de Yambao e O'Tooler (1984), que mostram que o déficit hídrico reduz a taxa de transpiração, e também com os resultados apresentados por Firmano et al. (2009), que trabalharam com soja. As parcelas, que apresentaram reposição integral da evapotranspiração, foram estatisticamente superiores as que estavam sob déficit hídrico, em relação à transpiração.

Neste trabalho, a redução na E, por causa da gs, apresentou também reflexos na temperatura foliar (Tf). Segundo Oliveira et al. (2005), uma redução no gs reflete no E, que diminui a perda de água e, conseqüentemente, ocorre uma elevação no Tf. Farquhar e Sharkey (1982) mostram que mudanças no E têm o potencial de modificar a Tf. Jones (1998) explica que dentre as principais funções dos estômatos está o ajuste da temperatura foliar através da transpiração. O que vai de encontro com os dados apresentados neste trabalho, onde no potencial hídrico do xilema muito negativo (-1,43 MPa), as temperaturas foliares foram as maiores, sendo superiores a 35 °C (Tabela 2). E os maiores potenciais (-0,51 e -0,82 MPa) apresentaram as menores Tf, com uma diferença de, aproximadamente, 3°C em relação às plantas mantidas no tratamento DHS. Segundo Endres et al. (2010), os valores da Tf quando relacionadas com o ambiente onde se encontra a cultura, tem o potencial de designar como está o *status* hídrico da planta. Neste trabalho, foi encontrado uma relação inversa entre a temperatura foliar e o potencial hídrico do xilema: quanto maior a Tf, mais negativo o potencial hídrico do xilema.

A ocorrência de altas Tf, devido às menores taxas de E, foram influenciadas pela redução da gs, que também interferiu na assimilação de CO₂. Conforme os dados apresentados na Tabela 2, pode-se observar que as plantas com baixas condutâncias estomáticas apresentaram uma menor taxa de assimilação de CO₂. A menor assimilação de CO₂ pode ocorrer por uma redução da ativação da Rubisco (THIAGARAJAN et al., 2007) e também pela menor produção da enzima ribulose-1,5-bifosfato (LAWLOR e CORNIC, 2002), por causa da baixa síntese de ATP e NADPH (AZCÓN-BIETO, 1983). Essas afirmações vão de encontro com os dados apresentados neste trabalho, pois as plantas sob tensões de -1,43 MPa apresentaram as menores taxas de gs e E (0,03 mol

$\text{m}^{-2} \text{s}^{-2}$ e $0,9 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), tendo a maior Tf ($35,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$) que refletiu em um alto nível de carbono interno ($367,3 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

A concentração intracelular de CO_2 (Ci) também tem influência sobre a abertura e fechamento estomático. Segundo Lamber et al. (1998), quando se tem uma queda na concentração de Ci , ocorre um estímulo para a abertura dos estômatos. Neste ensaio, foi constatado essa afirmação: os potenciais de $-0,51$ e $-0,82 \text{ MPa}$ foram os que apresentaram os maiores valores de g_s , mostrando que houve uma maior abertura dos estômatos nesses dois potenciais hídricos do xilema. Com relação à assimilação de CO_2 , verifica-se que plantas sob DHS apresentaram assimilação, aproximadamente, seis vezes menor em relação às plantas sob DHM. Isso comprova que, sob déficit hídrico, as plantas têm os processos fisiológicos e bioquímicos como a fotossíntese afetados (JALEEL et al., 2009; FAROOQ et al., 2009). O que vai de encontro com os resultados deste trabalho, pois, a partir dos dados apresentados, pode-se notar que as respostas fisiológicas da cultura variaram de acordo com a imposição do déficit hídrico.

A alta concentração de CO_2 no mesófilo foliar sob estresse severo não influenciou em maior assimilação, e isso pode estar relacionado à queda na atividade de enzimas envolvidas no processo de fixação de CO_2 (MACHADO et al., 1999, 2005). As plantas submetidas ao tratamento DHM e a ausência de déficit não diferiram estatisticamente, para a variável assimilação. Isso pode ter ocorrido pelo fato que os tratamentos com DHM apresentaram um suprimento adequado de água, que garantiu a manutenção de A . Segundo Ohashi et al. (2006), a soja sob estresse hídrico apresenta redução significativa na A , g_s e E , enquanto que a concentração de CO_2 intracelular apresenta uma pequena variação apenas no início do estresse. O que corrobora com os resultados apresentados pelo DHS, pois os três parâmetros em questão além de diferirem estatisticamente dos demais, também foram, numericamente, muito inferiores.

Analisando a eficiência de carboxilação (A/Ci), a ausência de déficit e o déficit moderado não diferiram entre si, visto que apresentaram valores de A e Ci próximos. No entanto, a soja sob estresse severo apresentou baixa relação (A/Ci) e isso ocorreu pelo fato que esse tratamento apresentou baixo A e alta Ci no mesófilo foliar. Segundo Konrad et al. (2005), a relação entre A e Ci permite estimar os fatores não-estomáticos que podem afetar o rendimento fotossintético e, conseqüentemente, a produtividade biológica os quais podem estar relacionados ao ambiente ou mesmo à própria planta (CAMILLI et al., 2007). Logo sob déficit hídrico mais severo, as plantas de soja deste

experimento apresentaram reduções na fotossíntese muito provavelmente relacionadas à limitação bioquímica e não difusional (LAMBERS, 1998).

A eficiência instantânea do uso de água (A/E), verificada nestes experimentos, está de acordo com Machado et al. (2010), que relacionaram a quantidade de água evapotranspirada para a produção de determinada quantidade de matéria seca. A eficiência foi menor, numericamente, nas plantas mantidas sob DHS, no entanto não ocorreu diferença estatística entre os tratamentos SDH e DHM. Segundo Taiz e Zeiger (2010), para que as plantas tenham maior eficiência de uso da água é fundamental que absorvam o máximo de CO₂ com o mínimo de perda de H₂O.

O estresse hídrico influencia em menor condutância estomática (LORETO et al., 2003). Em períodos prolongados, o estresse hídrico acelera a taxa de degradação da clorofila (MAFAKHERI et al., 2010) e esses fatores refletem na redução da fotossíntese. Foi observado um valor máximo na eficiência intrínseca do uso de água (A/gs) sob déficit severo (98,9 mmol m⁻² s⁻¹). Esse resultado foi decorrente da baixa condutância estomática verificada nesse tratamento. No momento em que ocorre a difusão de CO₂ da atmosfera para o mesófilo foliar, a água é perdida por transpiração (E), sendo assim, o uso mais eficiente da água está diretamente relacionado ao tempo de abertura estomática (gs) (CONCENÇO et al., 2007).

Tabela 2 – Dados da avaliação realizadas com a câmara de pressão e o IRGA na cultura da soja no estado de desenvolvimento V6. Uberlândia (MG), 2016.

	PHX ²	Tf	Ci	E	Gs	A	A/Ci	A/E	A/Gs
SDH ³	-0,51 a	31,7 a	295,5 a	5,6 a	0,6 a	15,3 a	0,05 a	2,9 a	29,2 b
DHM	-0,82 a	32,5 ab	276,4 a	4,6 a	0,3 b	13,0 a	0,04 a	2,8 a	40,2 b
DHS	-1,43 b	35,5 b	367,3 a	0,9 b	0,03 c	2,1 b	0,007 b	1,7 a	98,9 a

¹Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, à 0,05 (5%) de significância.

² PHX – Potencial hídrico do xilema (MPa); Tf – Temperatura foliar (°C); Ci – Concentração intracelular de CO₂ (mmol m⁻² s⁻¹); E – Transpiração (mmol m⁻² s⁻¹); Gs – Condutância estomática (mol m⁻² s⁻¹); A – assimilação de CO₂ (μmol m⁻¹ s⁻¹); A/Ci – Eficiência instantânea de carboxilação (μmol CO₂ mol H₂O); A/E – Eficiência instantânea do uso da água (mmol CO₂ mol⁻¹ H₂O); A/Gs – Eficiência intrínseca do uso da água (mmol m⁻² s⁻¹ H₂O).

³ SDH – Sem déficit hídrico (100%); DHM – Déficit hídrico moderado (45%); DHS – Déficit hídrico severo (55%).

Zhang et al. (2016) relataram que a clorofila é o pigmento das plantas que desempenha papel central na absorção e transmissão de quantum de luz, sendo assim sua quantificação pode servir como medida da capacidade dessa em utilizar a luz. Além disso, seu conteúdo pode indicar desempenho fotossintético (TANG et al., 2016). Plantas sob DHS apresentaram os maiores níveis de clorofila “a”, “b” e Total (Tabela 3). Já plantas mantidas sob condições SDH e DHM não apresentaram diferença estatística, sendo que, numericamente, a condição SDH foi a que apresentou os menores teores de clorofila. Anjum et al. (2003) constataram que as plantas sob condição de déficit hídrico apresentam mudanças nos pigmentos da fotossíntese. Cairo (2011) relata que essas alterações interferem na quantidade de clorofila. Trabalhando com soja, Zhang (2006) observou que o déficit hídrico reduziu o teor de clorofila em 10% e a taxa fotossintética em 24%. Menores teores de clorofila podem estar relacionados às temperaturas foliares elevadas (KERBAUY, 2008), no entanto, neste experimento, essa relação não foi observada. Na Tabela 3, a temperatura das plantas sob DHS foi maior, no entanto, não refletiu em menor taxa de clorofila “a”, “b” ou total (Tabela 3). Tang (2016) verificou que sob estresse hídrico houve redução na relação Clo a /Clo b, o que indica redução na capacidade de absorção e conversão de energia luminosa. Corroborando com o presente trabalho, pois à medida que foi feita a restrição do suprimento hídrico nos tratamentos DHM e DHS ocorreu uma redução na relação Clo a /Clo b.

Tabela 3 – Avaliação com o Clorofilog. Uberlândia (MG), 2016

	PHX ²	Clo <i>a</i>	Clo <i>b</i>	Clo. Total	Clo a/Clo b
SDH ³	-0,51 a	25,57 b	5,94 b	31,51 b	4,30
DHM	-0,82 a	26,85 b	6,89 b	33,74 b	3,89
DHS	-1,43 b	30,84 a	9,22 a	40,06 a	3,34

¹ Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, à 0,05 (5%) de significância.

² PHX – Potencial hídrico do xilema (MPa); Clo *a* e Clo *b* – Clorofila “a” e “b” (0 a 100 ICF); Clo. Total – Clorofila Total (ICF); Clo a/Clo b – Relação entre clorofila “a” e clorofila “b” (ICF).

³ SDH – Sem déficit hídrico; DHM – Déficit hídrico moderado; DHS – Déficit hídrico severo

CONCLUSÃO

Em todos as variáveis analisadas, com exceção da clorofila “a” e “b”, o potencial hídrico do xilema até -0,51 MPa foi favorável para o melhor desempenho dos parâmetros fisiológicos estudados.

Na condição de DHS, sob potencial hídrico do xilema de -1,43 MPa, ficou evidente os mecanismos que a planta utilizou para se adaptar ao déficit hídrico. Os valores de condutância estomática (gs) foram menores, desta forma, as plantas apresentaram menor taxa de transpiração (E) e maior eficiência intrínseca do uso de água (A/gs).

REFERÊNCIAS

- ANJUM, F.; YASEEN, M.; RASOOL, E.; WAHID, A.; ANJUM, S. Water stress in Barley (*Hordeum Vulgare* L.) I. Effect on morphological characters. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, [S.L], v. 40, n. 1-2, 2003.
- AZCÓN-BIETO, J. Inhibition of photosynthesis by carbohydrates in wheat leaves. **Plant Physiology**, [S.L], v. 73, n. 3, p. 681-686, 1983.
- BRALTS, V. F. Field performance and evaluation. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. (Ed.) Trickle irrigation for crop production. Amsterdam: Elsevier, p. 216-240, 1986.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Estatísticas de comércio exterior do agronegócio brasileiro**, 2014.
- BORRMANN, D. Efeito do déficit hídrico em características químicas e bioquímicas da soja e na degradação da clorofila, com ênfase na formação de metabolitos incolores. 2009. 107p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- BOYER, H. J. Plant productivity and environment. **Science**, v. 218, p. 443-448, 1982.
- CAMILLI, L. L.; IKEJIRI, J.; KLEIN, J. D.; RODRIGUES; BOARO, C. S. F. Produtividade e Estimativa da Eficiência de Carboxilação in vivo da Enzima Rubisco em Girassol Ornamental Cultivado em Lodo de Esgoto. **Revista Brasileira de Biociências**, [S.L], v. 5, p. 858-524, 2007.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Oitavo levantamento da safra de grãos 2011/2012. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_05_10_08_49_52_boletim_m aio_2_012.pdf.
- CONCENÇO, G.; FERREIRA, E.A.; SILVA, A.A.; FERREIRA, F.A.; VIANA, R.G.; D'ANTONINO, L.; VARGAS, L.; FIALHO, C.M.T. Uso da água em biótipos de azevém (*Lolium multiflorum*) em condição de competição. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 449-455, 2007.
- CORNIC, G. Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture not by affecting ATP synthesis. **Trands in Plant Science**. v. 5, n. 5, p. 187-188, 2000.
- ENDRES, L.; SOUZA, J. L.; TEODORO, L.; MARROQUIM, P. M. G.; SANTOS, C. M.; BRITO, J. E. D. Gas exchange alteration caused by water deficit during the bean reproductive stage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande (PB), v.14, n.1, p.11-16, 2010.
- ESPÍNDOLA, C. J.; CUNHA, R. C. C. A dinâmica geoeconômica recente da cadeia produtiva da soja no Brasil e no mundo. **GeoTextos**, [S.L], v. 11, n. 1, p. 217-238, 2015.

FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L. **Seca. Soja em carência de água**. EMBRAPA, 2016.

FARQUHAR, G. D.; SHARKEY, T. D. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual Reviews Plant. Physiol*, Canberra, Australia, v. 33, p. 317-45

FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N.; FUJITA, D.; BASRA, S. M. A. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development**, Pakistan, v. 29, n. 1, p. 185-212, 2009.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 11 p., 1977.

FIRMANO, R. S.; KUWAHARA, F. A.; SOUZA, G. M. Relação entre adubação fosfatada e deficiência hídrica em soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 7, p. 1967-1973, 2009.

FONTENELLI, J. L. **Métodos de manutenção de umidade do solo no cultivo do girassol e cártamo em condições controladas**. 2014. 84f. (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal de Mato Grosso-UFMT, Rondonópolis-MT, 2014.

FRIZZONE, J. A.; NETO, D. D. **Avaliações de sistemas de irrigação e análise econômica**. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. Irrigação: Série Engenharia Agrícola. Jaboticabal: SBEA, 2003. p. 621-623.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTO, J. J. **O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja, 2014. 70 p, n. 349.

JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; WAHID, A.; FAROOQ, M.; AL-JUBURI, H. J.; SOMASUNDARAM, R.; PANNEERSELVAM, R. Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. **International Journal of Agriculture & Biology**. [S.L], v. 11, n. 1, p. 100-105, 2009.

JONES, H. G. Stomatal control of photosynthesis and transpiration. **Journal of Experimental Botany**. Dundee (UK), v, 49, p. 387-398, 1998.

JORDAN, W.R. Whole plant response to water deficits: An overview. In: MELO, J. S.; RIBEIRO, V. G. Effects of transiente water stress and increasing doses of boro non the bud fertility in grapevines cv. Itália. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal/SP, v. 33, n. 2, 2011.

KONRAD, M. L. F.; SILVA, J. A. B.; FURLANI, P. R.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. **Bragantia**, v. 64, p. 339-347, 2005.

KUSAKA, M.; OHTA, M.; FUJIMURA, T. Contribution of inorganic components to osmotic adjustment and leaf folding for drought tolerance in pearl millet. **Physiologia Plantarum**. Japan, v. 125, n, 4, p. 474-489, 2005.

LAMBERS, H. **Plant physiological ecology**. Berlin: Springer, 1998.

LAWLOR, D.W., CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficit in higher plants. **Plant Cell Environ.** n. 2, v. 25, p. 275–294, 2002.

LORETO, F.; CENTRITTO, M.; CHARTZOULAKIS, K. Photosynthetic limitations in olive cultivars with different sensitivity to salt stress. **Plant Cell and Environment**, v. 26, p. 595-601, 2003.

LOPES, N. F.; LIMA, M. G. S. Fisiologia da produção. Editora UFV. Viçosa, p. 492, 2015.

MACHADO, E.C., SCHMIDT, P.T., MEDINA, C. L., RIBEIRO, R.V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.40, n.12, p.1161-1170, 2005.

MACHADO, E.C., MEDINA, C.L., GOMES, M.M.A. Teor de água no substrato de crescimento e fotossíntese em laranjeira “Valença”. 1999. In: NASCIMENTO, S. P. **Efeitos do déficit hídrico em feijão-caupi para identificação de genótipos com tolerância à seca**. 2009. 109f. (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal do Piauí-UFPI, Teresina-PI, 2009.

MACHADO, A. F. L. I.; FERREIRA, L. R.; SANTOS, L. D. T.; FERREIRA, F. A.; VIANA, R. G.; MACHADO, M. S. V.; FREITAS, F. C. L. Eficiência fotossintética e uso da água em plantas de eucalipto pulverizadas com glyphosate. **Planta daninha**, [S.L], v. 28, p. 319-327, 2010.

MACHADO-FILHO, J.A.; CAMPOSTRINI, E; YAMANISHI, O.K.; FAGUNDES, G.R. Efeito da umidade do ar nas trocas gasosas em folhas de mamoeiro (*Carica papaya* L.) cultivado em condições de campo. **Bragantia**, Campinas, v. 65, p.185- 196, 2006.

MAFAKHERI A, SIOSEMARDEH A, BAHRAMNEJAD B, STRUIK P & SOHRABI Y (2010) Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. **Australian Journal of Crop Science**, [S.L], v. 4, p. 580-585.

MUNGER, P. H.; CHANDLER, J. M.; COTHREN, J. T. Effect of water stress on photosynthetic parameter of Soybean (*Glycine max*) and Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). **Weed Science**, [S.L], v. 35, p. 15-21, 1987.

NASCIMENTO, S. P. **Efeitos do déficit hídrico em feijão-caupi para identificação de genótipos com tolerância à seca**. 2009. 109f. (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal do Piauí-UFPI, Teresina-PI, 2009.

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**. [S.L], v. 50, 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**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 86-95, 2005.

OSAKABE, Y.; OSAKABE, K. SHINOZAKI, K.; TRAN, L-S. Response of plants to water stress. **Frontiers in Plant Science**. Tsukuba v. 5, n. 86, 2014.

O'TOOLE, J. C.; YAMBAO, E. B. Effects of nitrogen nutrition and root medium water potential on growth, nitrogen uptake and osmotic adjustment of rice. **Physiologia Plantarum**, [S.L], v. 60, n. 4, p. 507–515, 1984.

ROSA, A. G.; SCHIAVINI, I. Estrutura da comunidade arbórea em um remanescente florestal urbano (Parque do Sabiá, Uberlândia, MG). **Bioscience Journal**., Uberlândia, v. 22, n. 1, p. 151-162, 2006.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SILVA, M. I. S.; GUIMARÃES, E. C.; TAVARES, M. Previsão da temperatura média mensal de Uberlândia, MG, com modelos de séries temporais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 12, n. 5, p. 480-485, 2008.

SPSS Inc. **SPSS statistics for Windows, version 20.0**. Chicago: SPSS Inc., 2011.

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 5. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2010. 782 p.

THIAGARAJAN, A.; LADA, R.; JOY, P. Compensatory effects of elevated CO₂ concentration on the inhibitory effects of high temperature and irradiance on photosynthetic gas exchange in carrots. **Photosynthetica**, Canada, n. 3, p. 355-362, 2007.

ZHANG, J.; LIU, J.; YANG, C.; DU, S.; YANG, W. Photosynthetic performance of soybean plants to water deficit under high and low light intensity. **South African Journal of Botany**, [S.L], p. 279-287, 2016.