

WAGNER GOMES PALHARINI

**INFLUÊNCIA DO ESTRESSE HÍDRICO SOBRE CARACTERES
AGRONÔMICOS, FISIOLÓGICOS E ABERTURA DE VAGENS IMATURAS
EM SOJA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de Magister Scientiae.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2016**

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

T

P161i
2016

Palharini, Waggner, 1992-
Influência do estresse hídrico sobre caracteres
agronômicos, fisiológicos e abertura de vagens imaturas em
soja / Waggner Palharini. - Viçosa, MG, 2016.
vi, 36f : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador : Tuneo Sedyama.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Soja. 2. *Glycine max*. 3. Soja - Cultivo - Fatores
climáticos. 4. Soja - Vagem. I. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de
Pós-graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 633.34

WAGNER GOMES PALHARINI

**INFLUÊNCIA DO ESTRESSE HÍDRICO SOBRE CARACTERES
AGRONÔMICOS, FISIOLÓGICOS E ABERTURA DE VAGENS IMATURAS
EM SOJA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de Magister Scientiae.

APROVADA: 22 de agosto de 2016

Fernando França da Cunha

José Eustáquio de Souza Carneiro

Felipe Lopes da Silva
(Coorientador)

Tuneo Sedyama
(Orientador)

A minha mãe Gislaine Avalos Gomes
A minha esposa Luciene Gimenez da Silva
Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus, primeiramente, por me proporcionar saúde, conhecimento e coragem.

À minha família que sempre me apoiou e estiveram na torcida, em especial minha mãe Gislaine Avalos Gomes, minha esposa Luciene Gimenez da Silva, meu tio Giuliano Arzamendia Gomes, minha avó Elba Avalos Arzamendia e meu avô Sideril Estevam Gomes.

Ao Professor Tuneo Sedyama pela orientação e paciência.

Ao Professor Felipe Lopes da Siva pela compreensão e atenção.

A empresa GDM Seeds pela concessão da bolsa de estudos e custeio de pesquisas.

Ao Eng. Agrônomo Marcos Norio Matsumoto pela oportunidade de desenvolver pesquisas importantes, apoio e confiança.

Aos meus amigos do Programa Soja, em especial Francisco Charles dos Santos Silva e André Ricardo Gomes Bezerra pela paciência e por sempre estarem dispostos a ajudar.

Ao amigo Stênio Andrey Guedes Dantas pela ajuda na adequação da metodologia para implantação do experimento.

Aos membros da banca de avaliação Fernando França da Cunha, José Eustáquio de Souza Carneiro.

Ao Pesquisador Germani Concenço, pelo voto de confiança e pelo incentivo para realizar o Mestrado em Fitotecnia na UFV.

A todos os professores que de maneira direta e indireta contribuíram para minha formação profissional

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, pela disponibilidade de um curso de alto nível e pela estrutura.

Obrigado.

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vi
INTRODUÇÃO	1
MATERIAL E MÉTODOS	3
Estresse hídrico	4
Medições de trocas gasosas	7
Mensuração de caracteres agronômicos	8
Análise estatística	8
RESULTADOS E DISCUSSÃO	9
Parâmetros fisiológicos	9
Parâmetros morfológicos	16
CONCLUSÕES	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

RESUMO

PALHARINI, Waggner Gomes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto, 2016. **Influência do estresse hídrico sobre caracteres agronômicos, fisiológicos e abertura de vagens imaturas em soja.** Orientador: Tuneo Sedyama. Coorientadores: Felipe Lopes da Silva e Cosme Damião Cruz.

A soja é sensível ao estresse hídrico, desta forma, em áreas que há a escassez de chuvas vários caracteres agronômicos e fisiológicos podem ser afetados. Diferente do padrão de deiscência comum, a abertura de vagens imaturas ocorre no estágio de desenvolvimento R6, podendo essa abertura ser causada por motivos diferentes da deiscência comum, tornando-se imprescindível conhecer o comportamento de cultivares de soja quanto a sua plasticidade em relação ao estresse hídrico. O objetivo deste estudo foi verificar a influência do estresse hídrico sobre caracteres agronômicos, fisiológicos e abertura de vagens imaturas em soja. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal de Viçosa. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 3x4 com três repetições. Os tratamentos foram compostos pela combinação de três cultivares de soja com quatro níveis de estresse hídrico (0, 10, 20 e 30 dias). Foram utilizadas duas condições de disponibilidade de água no solo, uma sem restrições hídricas em que o solo foi mantido a capacidade de campo (-33 kPa) e outra com restrição hídrica (-900 kPa). A restrição hídrica foi imposta a partir do estágio de desenvolvimento R3. Foram avaliados os caracteres altura de plantas, número de nós, ciclo, número de sementes por planta, peso de 100 sementes, volume de sementes, número de sementes por vagem, produção e comprimento, espessura e largura de vagens e sementes. Também foram avaliados parâmetros fisiológicos como a fotossíntese, condutância estomática e a eficiência intrínseca do uso da água. Os processos fisiológicos das plantas foram afetados, visto que houve redução da fotossíntese e da condutância estomática e aumento da eficiência intrínseca do uso da água com o déficit hídrico. A restrição hídrica a partir do estágio R3 reduziu o crescimento e desenvolvimento da planta, levando a produção de vagens menores, menor número de sementes por planta e menor produção. Houve aumento do tamanho das sementes com a intensificação do estresse. As cultivares MN01 e MN02 nos tratamentos que passaram por 20 e 30 dias de estresse hídrico apresentaram a abertura vagens imaturas. A cultivar MN03 mostrou-se resistente a abertura de vagens imaturas mesmo nas condições de maior déficit hídrico. A redução do tamanho da vagem e o aumento do tamanho do grão contribuíram para a abertura de vagens imaturas nas cultivares mais susceptíveis.

ABSTRACT

PALHARINI, Waggner Gomes, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, august, 2016. **Influence of water stress on agronomic traits, physiological and opening of immature pods in soybean.** Advisor: Tuneo Sedyama. Co-Advisors Felipe Lopes da Silva e Cosme Damião Cruz.

Soybeans are sensitive to drought stress, and in areas where there is the lack of rain several agronomic and physiological characters are affected by water stress. The water deficit can influence the opening of immature pods. Unlike standard common dehiscence, opening immature pods occurs in the R6 stage of development, can this openness be caused by different reasons from common dehiscence, thus it is essential to know the soybean cultivars behavior as its plasticity front hydric stress. The aim of this study was to investigate the influence of water stress on agronomic traits, physiological, and the opening of immature pods in soybean. The experiment was conducted in a greenhouse at the Federal University of Viçosa. The experimental design was randomized blocks in a 3x4 factorial design with three replications. The treatments consisted of the combination of three soybean cultivars with four levels of water stress (0, 10, 20 and 30 days). We used two conditions of water availability in the soil, one without water restrictions, where the soil was maintained at field capacity (-33 kPa) and the other with water restriction (-900 kPa). Water restriction was imposed from the R3 growth stage. We evaluated the characters height, number of nodes, cycle, number of seeds per plant, weight of 100 seeds, volume of seeds, number of seeds per pod, production and length, height and width of pods and seeds. It was also evaluated physiological parameters such as photosynthesis, stomatal conductance and the intrinsic efficiency of water use. The physiological processes of the plants were affected. There was a reduction of photosynthesis and stomatal conductance and increased intrinsic efficiency of water use with water deficit. Water restriction from the R3 stage reduced the growth and development of the plant, leading to production of smaller pods, fewer seeds per plant and lower production. There was an increase in the size of seeds with the intensification of stress. Cultivars 1 and 2 in treatments that went for 20 and 30 days of water stress showed the opening immature pods. Cultivar 3 was resistant to opening immature pods even in the worst conditions of drought. The reduction of the pod and increased grain size contributed to opening of immature pods in susceptible cultivars.

INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma das cinco culturas mais importantes em todo o mundo. O Brasil é o segundo maior produtor da oleaginosa, atrás apenas dos Estados Unidos. Segundo a Conab (2016) na safra 2015/2016, a estimativa é que no Brasil a cultura tenha ocupado uma área de 33.176,9 mil hectares, o que totalizou uma produção de 95.630,9 mil toneladas, obtendo uma produtividade média de 2.882 kg ha⁻¹.

Como diversas outras culturas, a soja é sensível ao estresse hídrico e a necessidade de água da cultura é relativamente elevada, chegando a 850 mm ciclo⁻¹ (YANG et al., 2003; SILVA et al., 2015). Na safra 2015/2016, a sensibilidade a restrição hídrica é evidenciada como uma das razões da baixa produtividade alcançada, de apenas 2.882 kg ha⁻¹. As estimativas indicam redução de 0,6% na produção em relação à safra anterior, mesmo com um aumento de 3,4% da área plantada (CONAB, 2016).

A cultura da soja possui um problema conhecido como deiscência, que se refere à abertura das vagens ao alcançar a maturação. Esta característica é muito dependente da cultivar podendo ser responsável por perdas significativas para os produtores de soja (CHRISTIANSEN et al., 2002). Segundo Funatsuki et al., (2014) a deiscência geralmente ocorre quando há redução da força de ligação da parede da vagem e a geração de força de deiscência. O acúmulo de força após secagem pode exceder a força de ligação das paredes das vagens e as sementes são dispersas.

Tem-se verificado um novo padrão de deiscência, chamado de abertura de vagens imaturas. Diferente do padrão de deiscência comum, a abertura das vagens ocorre no estágio de desenvolvimento R6, podendo essa abertura ser causada por motivos diferentes da deiscência comum, isso porque as vagens ainda estão verdes e as sementes com alta umidade.

Alguns estudos apontam que a antracnose (*Colletotrichum truncatum*) pode causar abertura de vagens imaturas e germinação dos grãos em formação (EMBRAPA, 2007). Segundo Mascarenhas et al. (2013) a deficiência de potássio também pode causar abertura de vagens imaturas, com germinação e deterioração das sementes em seu interior.

Outra hipótese que foi abordada neste trabalho, é que déficit hídrico nos estágios de desenvolvimento da vagem (R3 e R4), pode fazer com que as vagens não se desenvolvam completamente, resultando na sua abertura antes da maturidade.

Ferramentas devem ser empregadas para monitorar o fenótipo com o propósito de caracterizar a variação entre os mesmos através da imposição de diferentes condições de estresse. A avaliação de plantas em diferentes condições ambientais pode guiar a identificação de cultivares tolerantes ao estresse (SINCLAIR, 2011).

Com isso a avaliação de caracteres morfológicos é de grande valia para entender o comportamento de genótipos de soja quanto a sua plasticidade frente ao estresse hídrico.

O estresse hídrico provoca uma série de respostas fisiológicas, bioquímicas e morfológicas em diversas culturas (MONTAGU; WOO, 1999). Com as mudanças climáticas, estudos nessa área têm recebido uma maior atenção. No entanto, permanecem dúvidas quanto aos efeitos do estresse em específicos estádios de desenvolvimento das plantas e em diferentes intensidades.

O estudo de parâmetros fisiológicos pode ajudar a entender a resposta dos genótipos em relação à adaptação à seca e também permite verificar se o estresse imposto aos genótipos foi suficiente para que as plantas demonstrassem comportamento diferente ao das plantas sem estresse.

Dessa forma, este estudo teve como objetivo verificar a influência do estresse hídrico sobre caracteres agronômicos, fisiológicos e abertura de vagens imaturas em soja.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Programa Soja do Departamento de Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa (20°45'14"S; 42°52'53"W, 649 metros de altitude), no período de abril a julho de 2016. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com os tratamentos arranjados no esquema 3x4 com três repetições.

Os tratamentos foram compostos pela combinação de três cultivares de soja Intacta: a MN01 (cultivar 1), MN02 (cultivar 2) e MN03 (cultivar 3) com quatro níveis de estresse hídrico (0, 10, 20 e 30 dias). As sementes foram tratadas com fungicida (carbendazin + thiram), na dose de 200 ml por 100 kg de sementes, não sendo realizada a inoculação para que esse não fosse um fator de interferência. A parcela foi constituída de um vaso com uma planta.

Somente foi realizada adubação de base, utilizando valores de extração da cultura para produção de 3 mil kg ha⁻¹ (CÂMARA, 2015). Após a emergência foi realizado o desbaste deixando apenas uma planta por vaso. As características do solo utilizado se encontram na Tabela 1.

Tabela 1. Análises química e física do solo

Parâmetro	Determinação	Parâmetro	Determinação
P	53 mg/dm ³	CTC (t)	7,39 cmolc/dm ³
K	310 mg/dm ³	CTC (T)	10,03 cmolc/dm ³
Ca ²⁺	5,0 cmolc/dm ³	V	74 %
Mg ²⁺	1,6 cmolc/dm ³	pH em água	5,2
Al ³⁺	0 cmolc/dm ³	Argila	30 %
H + Al	2,64 cmolc/dm ³	Silte	14 %
SB	7,39 cmolc/dm ³	Areia	56 %

P-K – Extrator Mehlich 1

Ca-Mg-Al – Extrator KCl (1mol/L)

CTC (T) – Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0

H+Al – Extrator Acetato de Cálcio (0,5 mol/L – pH 7,0)

SB – Soma de Bases Trocáveis

B – Extrator água quente

CTC (t) – Capacidade de Troca Catiônica Efetiva

V – Índice de Saturação de Bases.

Os valores de temperatura registrados ao longo do cultivo seguem na Figura 1. Os demais tratos culturais foram realizados conforme o recomendado para a cultura da soja (SEDIYAMA et al., 2015).

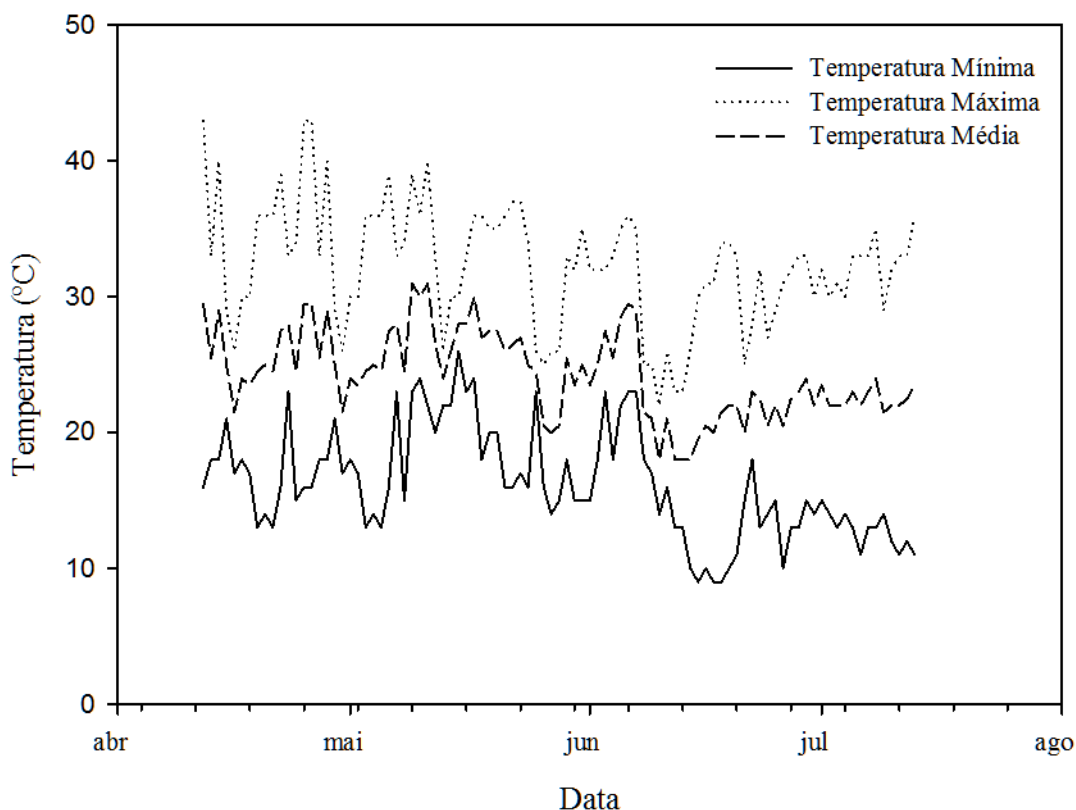


Figura 1. Temperaturas máxima, média e mínima registradas durante o período de cultivo.

Estresse hídrico

A metodologia utilizada para indução das plantas ao estresse hídrico foi adaptada para o uso em soja pelo Programa Soja da Universidade Federal de Viçosa e esta descrita a seguir.

Dois dias antes da instalação do experimento o solo foi homogeneizado e espalhado em uma superfície a fim de igualar a umidade presente. No momento do enchimento dos vasos, foram coletadas 10 amostras de solo, para realização da umidade, pelo método direto, através da secagem em estufa de circulação de ar forçada a 105°C por 48 horas. Foram utilizados vasos com capacidade de 15 litros e todos os vasos foram preenchidos com a mesma quantidade de solo (12 quilogramas).

Desta forma o peso inicial dos vasos (P_I) é constituído pela massa do recipiente vazio (M_V) mais a massa de solo úmido (M_{SU}). A massa de solo seco (M_{SS}) foi a M_{SU} menos a umidade presente naquele solo.

Tabela 2. Umidade de base seca do solo (U_{bs}), peso inicial dos vasos (P_I), massa do vaso (M_V), massa de solo úmida (M_{SU}) e massa de solo seco (M_{SS})

U_{bs}	P_I	M_V	M_{SU}	M_{SS}
%	-----g-----			
27,5	12.335	335	12,000	9.411,76

Em seguida foi realizada uma curva de retenção de água no solo. Os resultados se encontram apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Curva de retenção de água no solo.

Potencial (kPa)				
-10	-30	-60	-100	-1500
-----Kg/Kg-----				
0,295	0,274	0,260	0,244	0,185

A curva de retenção de água no solo foi plotada em um gráfico do tipo dispersão, onde foi realizada a equação da curva (Figura 2).

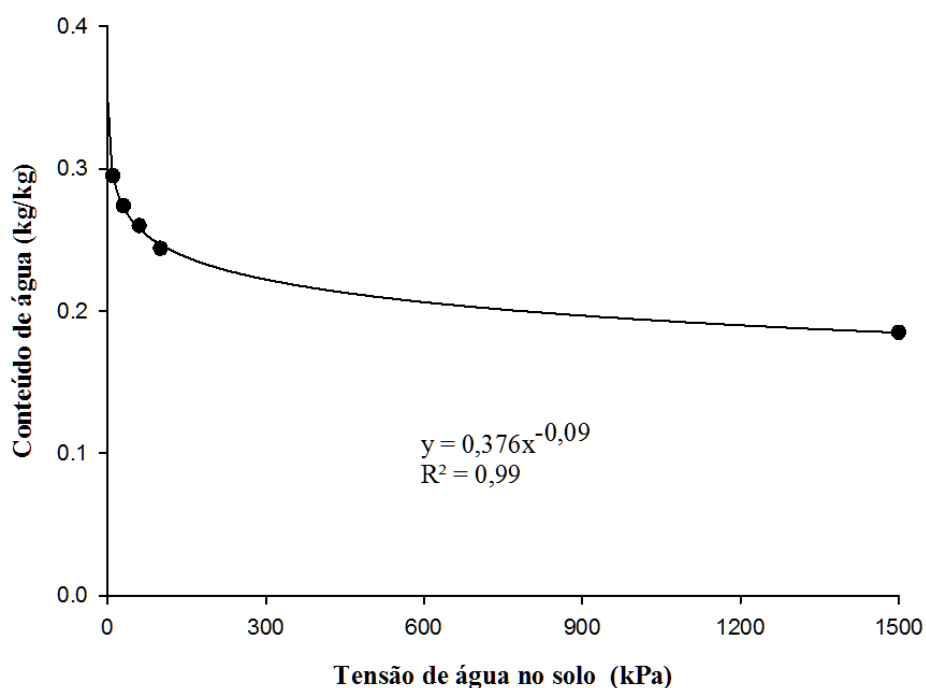


Figura 2. Curva de retenção de água no solo, onde y representa o conteúdo de água no solo (eixo Y) em kg/kg e x representa a tensão de água no solo (eixo X).

Com base na equação obtida ($y = 0,376x^{-0,09}$), foi possível estimar a umidade do solo em capacidade de campo e na situação de estresse desejada. Conceitualmente solos argilosos se encontram em capacidade de campo (y_{CC}) na tensão de -33 kPa (BERNARDO et al., 2008). Logo foi calculado o conteúdo de água no solo em capacidade de campo.

$$y_{CC} = 0,376 * 33^{-0,09} \therefore y_{CC} = 0,27448 \text{ kg/kg ou } 27,448\%$$

Não houve necessidade da realização do cálculo de umidade em ponto de murcha permanente (y_{PMP}), uma vez que essa informação se encontra nos dados da curva de retenção, sendo o utilizado como referencia o ponto de -1.500 kPa ($y_{PMP} = 0,185$.)

Foram utilizadas duas condições de disponibilidade de água no solo, uma sem restrições hídricas, em que o solo foi mantido em capacidade de campo ($x = -33$ kPa e $y = 27,448\%$) e outra com restrição hídrica ($x = -900$ kPa). O potencial hídrico de -900 kPa foi utilizado como base por ser um valor que irá causar estresse, mas sem levar a planta a morte, ou seja, é um valor mediano. Nesse potencial de água no solo a umidade Y_E , foi determinada conforme a seguinte fórmula:

$$y_E = 0,376 * 900^{-0,09} \therefore y_E = 0,203847 \text{ kg/kg ou } 20,3847\%$$

A porcentagem de umidade (U) é determinada pela razão entre o peso da água e peso da matéria seca, logo, para condições em que se desejou U de 27,448% (controle) e 20,384% (estresse), a massa de água foi a seguinte:

$$\begin{aligned} \text{Controle: } 0,27448 &= M_{\text{ÁGUA}} / 9411,76 \therefore M_{\text{ÁGUA}} = 0,27448 \times 9411,76 \\ &\therefore M_{\text{ÁGUA}} = 2583,34\text{g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Estresse: } 0,203847 &= M_{\text{ÁGUA}} / 9411,76 \therefore M_{\text{ÁGUA}} = 0,203847 \times 9411,76 \\ &\therefore M_{\text{ÁGUA}} = 1918,56\text{g} \end{aligned}$$

O sistema como um todo constou das massas de solo seco, de água, do vaso e da planta. Desse modo escrevemos a equação:

$$M_{\text{SIS}} = M_{\text{V}} + M_{\text{SS}} + M_{\text{ÁGUA}} + M_{\text{PLANTA}} .$$

A massa da planta foi determinada a partir da pesagem de plantas. Cada genótipo foi pesado no início da restrição hídrica e a cada 10 dias uma nova planta de cada genótipo era pesada para atualizar o valor de M_{PLANTA} do sistema.

A restrição hídrica foi imposta a partir do estágio de desenvolvimento R3 (início da frutificação) de acordo com a escala de Fehr e Caviness (1977), porém com a observação de levar em consideração o início da frutificação do terço inferior da planta, isso porque as cultivares utilizadas são de tipo de crescimento indeterminado.

A partir dessas informações foi elaborada uma planilha eletrônica, onde o peso do sistema, em seus respectivos tratamentos, foi mantido como o peso a ser atingido todos os dias através do manejo de irrigação. Para isso, durante o período em que as plantas permaneceram em estresse hídrico, os vasos eram pesados todos os dias as 10 e 16 horas. Com base no peso individual de cada vaso, era aplicada a lâmina de água correspondente a cada tratamento.

Medições de trocas gasosas

Foram aferidos parâmetros fisiológicos como: Taxa fotossintética (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e através da relação entre A e g_s foi obtida a eficiência intrínseca de uso da água (EIUA). Para isso foi utilizado um analisador portátil de fotossíntese por radiação infravermelha (Infra Red Gas Analyser – IRGA, modelo Li-6400XT, LI-COR).

As mensurações foram realizadas no folíolo central do terceiro trifólio totalmente expandido, posicionado a partir do ápice da planta e sem vestígios de injúrias por pragas ou patógenos. As medidas foram realizadas quando as plantas estavam com 10, 20 e 30 dias após o início do estresse, ou seja, após R3. As medidas ocorreram em dias ensolarados e sem nebulosidade, das 9 horas às 11 horas da manhã.

Mensuração de caracteres agronômicos

Foi realizada a contagem do número de vagens imaturas abertas em R6 (granação plena, vagem verde com máximo de volume), (Fehr e Caviness, 1977). Semanalmente, durante todo o ciclo da cultura foi realizada a mensuração de altura (ALT) e a contagem de número de nós (NN), para obtenção da taxa de crescimento.

Também foram avaliadas os caracteres: Ciclo (CI); Número de sementes por planta (NS); Massa de 100 sementes (MCS); Volume de sementes (VS); Número de sementes por vagem (NSV) e Produção por planta (PROD).

De cada planta foram separadas 10 vagens de três grãos para realização de avaliação de comprimento, largura e espessura da vagem (COMV, LARV e ESPV). De cada uma dessas vagens foi retirado a semente do meio para realização das mensurações do seu comprimento, largura e espessura (COMS, LARS e ESPS).

Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise variância (ANOVA), teste de media (Tukey $P < 0,05$) quando indicado, e análise de regressão. Foi verificada a igualdade das equações, para isso foi utilizado o método de Identidade de Modelos (GRAYBILL, 1976). Todas as análises estatísticas foram realizadas com auxílio do software GENES (CRUZ, 2013). A apresentação dos dados foi feita por meio de tabelas e figuras. Para confecção das figuras foi utilizado o software SigmaPlot[®] 12.3 (Systat Software).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Parâmetros fisiológicos

Na Tabela 4 está apresentado o resumo das análises de variância para os parâmetros fisiológicos avaliados em três períodos (10, 20 e 30 dias após o início da restrição hídrica). Os parâmetros apresentados são: Fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs) e eficiência intrínseca do uso da água (EIUA).

Para o primeiro período de avaliação, em que as plantas permaneceram 10 dias sob estresse hídrico, foi observado diferença significativa pelo teste F de Fisher-Snedecor a 5% de probabilidade para a fonte de variação estresse para todas as variáveis. No entanto houve diferença significativa apenas para a variável EIUA entre cultivares.

No segundo período de avaliação, houve diferença significativa em todas as variáveis para o fator estresse enquanto que no fator cultivar houve diferença para as variáveis A e gs. No terceiro período houve diferenças para os dois fatores e a interação foi significativa para todas as variáveis.

Diante do exposto, foi realizado teste de média para as variáveis A e gs nos níveis de estresse no primeiro período (10 dias após o início da restrição hídrica), estresse e cultivares no segundo período. Para o terceiro período de avaliação o teste de média foi realizado sob a interação dos fatores (Figuras 3 e 4). Para a variável EIUA, no primeiro período foi realizado teste de média para verificar as diferenças entre cultivares e níveis de estresse, para o segundo período o teste de média foi realizado somente para níveis de estresse e no terceiro período o teste de média também foi realizado considerando o desdobramento da interação (Figura 5).

Tabela 4. Resumo da análise de variância de três cultivares de soja submetidas a quatro níveis de estresse hídrico para os parâmetros Fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs) e eficiência intrínseca do uso da água (EIUA) avaliados em três períodos (10, 20 e 30 dias após o início da restrição hídrica).

FV	GL	Quadrado médio								
		Período 1 (10 dias de estresse)			Período 2 (20 dias de estresse)			Período 3 (30 dias de estresse)		
		A	gs	EIUA	A	gs	EIUA	A	gs	EIUA
Blocos	2	19,04	0,00045	2897,57	8,44	0,00152	199,15	2,33	0,00192	20,46
Estresse	3	1040,07**	0,39914**	27303,54**	523,53**	0,60665**	18809,35**	481,39**	0,68624**	36484,38**
Cultivares	2	6,53ns	0,00102ns	1755,78*	29,07*	0,02387*	2181,33ns	5,01*	0,05004**	1995,93**
C x E	6	11,36ns	0,00058ns	170,76ns	12,05ns	0,01041ns	1004,22ns	9,82**	0,1428**	1217,19**
Resíduo	22	5,40	0,00126	372,94	6,75	0,00520	636,37	1,11	0,0022	69,68
Total	35	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	-	15,13	0,16	148,14	24,32	0,38	90,46	25,23	0,49	78,40
CV(%)	-	15,35	21,91	13,03	10,69	18,78	27,88	4,18	9,44	10,64

**, * significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente pelo teste de F de Fisher-Snedecor; FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; CV: Coeficiente de variação.

Um dos principais efeitos da restrição hídrica é a redução na fotossíntese, podendo surgir pela diminuição na expansão foliar, sistema fotossintético prejudicado, senescência foliar precoce, entre outros (WAHID; RASUL, 2005). Desta forma, esse parâmetro pode ser utilizado para verificar se o estresse imposto é de intensidade suficiente para prejudicar o desenvolvimento da planta.

A fotossíntese líquida ou o saldo de CO₂ fixado pela planta é a diferença entre a taxa de fixação bruta e a taxa de perda de CO₂ durante o processo respiratório (JONES, 1994; ZHU et al., 2002).

Na Figura 3 estão representados os valores de fotossíntese líquida (A). Nota-se que no primeiro período houve diferença apenas entre o controle (coluna 1) e estresse (colunas 2, 3 e 4). Fato esse importante porque até esse momento, com exceção dos tratamentos controle, todos as cultivares ainda estavam sob 10 dias de estresse hídrico, assim demonstrando que a metodologia utilizada para imposição do estresse foi precisa.

As cultivares MN01, MN02 e MN03 sem estresse, representadas pela coluna 1, apresentaram uma fotossíntese líquida média acima de 30 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Nesse mesmo período, a média das cultivares com 10 dias de estresse (colunas 2, 3 e 4) apresentaram uma redução significativa (maior que 50%) de fotossíntese líquida em relação ao tratamento controle.

Segundo Farooq et al. (2009) um dos principais efeitos da seca é a redução na fotossíntese. Isso porque, o fechamento estomático é o primeiro evento responsivo a diminuição do potencial hídrico da planta e, conseqüentemente, um limitante da assimilação de CO₂. Huang e Fu, (2000) explicam ainda que a taxa de fotossíntese limita frequentemente o crescimento das plantas quando a disponibilidade de água no solo é reduzida, fato esse que pode ser observado ao longo desse trabalho.

No segundo período (20 dias de estresse hídrico) as plantas que permaneceram apenas 10 dias sob estresse, ou seja, até o primeiro período de avaliação, já apresentavam ótima recuperação (coluna 5), atingindo uma fotossíntese tão elevada quanto as das cultivares sem estresse (coluna 4). No entanto, não houve um efeito de compensação que suprisse os dias em que a plantas permaneceram em estresse.

Já os tratamentos que ainda permaneciam sob estresse representados pelas colunas 6 e 7, apresentaram uma fotossíntese inferior aos demais, porém não diferenciando estatisticamente entre eles.

Houve diferença no comportamento das cultivares no segundo período de avaliação, assim foram acrescentadas três colunas para representar as médias das cultivares (colunas 1, 2 e 3). Ao analisar o teste realizado sobre a média das cultivares observa-se que a cultivar MN03 demonstrou uma fotossíntese superior ao da cultivar MN01 (colunas 3 e 1 respectivamente).

Houve interação dos fatores no terceiro período. Nessa avaliação, somente o ultimo nível de estresse para cada cultivar permanecia sob déficit hídrico (colunas 4, 8 e 12). Ao analisar o teste de média verificou-se que dentro de cada cultivar somente os tratamentos que permaneciam sob estresse apresentaram diferenças estatísticas, ou seja, houve uma recuperação dos tratamentos que haviam saído do estresse.

Nos períodos de 10 e 20 dias de estresse hídrico a cultivar MN03 apresentou maior fotossíntese quando comparada com as cultivares MN01 e MN02 dentro do mesmo nível de estresse.

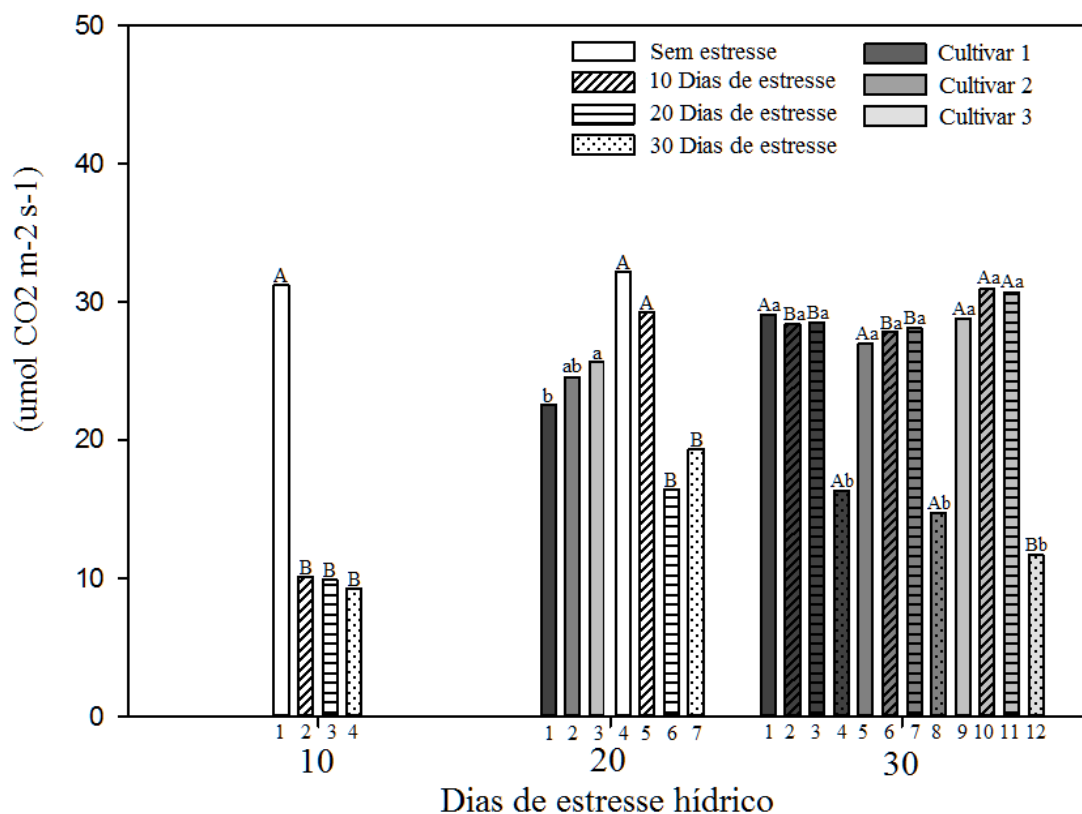


Figura 3. Fotossíntese líquida (A) de três cultivares de soja avaliadas em três períodos (10, 20 e 30 dias após o início do estresse hídrico). No primeiro período colunas seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si para níveis de estresse. Para o segundo período, colunas seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si para níveis de estresse e colunas seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si para cultivares. Para o terceiro período, colunas seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si entre cultivares dentro de cada nível de estresse e colunas seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si dentro de cultivares. (Teste Tukey a 5% de probabilidade).

Comportamento similar ao da fotossíntese foi observado na condutância estomática (g_s), que apresentou rápida redução nos valores quando em estresse hídrico (Figura 4). Isso ocorre porque o déficit hídrico tem efeitos em diversos processos fisiológicos das plantas, podendo aumentar a resistência estomática, reduzindo a transpiração e conseqüentemente o suprimento de CO_2 a ser assimilado (NOGUEIRA et al., 2001).

Um rápido fechamento estomático pode estar associado a uma rápida adaptação das plantas ao estresse hídrico (MENCUCCINI et al., 2000). Os tratamentos que apresentaram maior abertura estomática também apresentaram maiores taxas fotossintéticas e o contrário também foi verificado.

Verificou-se importante redução na condutância estomática das plantas submetidas ao déficit hídrico nas três cultivares avaliadas em todos os períodos de avaliação. Em condições de déficit hídrico as plantas normalmente apresentam um decréscimo paralelo de A e g_s (ROZA, 2010).

Ao analisar a interação ocorrida no terceiro período, o teste de média entre variedades dentro de cada nível de estresse representado por letras maiúsculas, demonstra, assim como ocorreu para a fotossíntese, uma maior condutância estomática para a cultivar MN03.

Com exceção da cultivar MN01, no terceiro período houve uma elevação dos valores de condutância estomática das cultivares após a reidratação, atingindo valores tão elevados quanto os tratamentos controle. Desta forma, permitindo que tais processos fisiológicos da soja, como a fotossíntese se recuperassem rapidamente após a eliminação do estresse hídrico, como demonstrado na Figura 3.

Wang et al. (2006) verificaram em soja que a g_s diminui à medida que a seca progride, porém atingindo o valor mais baixo no quinto dia e ao reidratar os valores elevam-se quase quanto o controle.

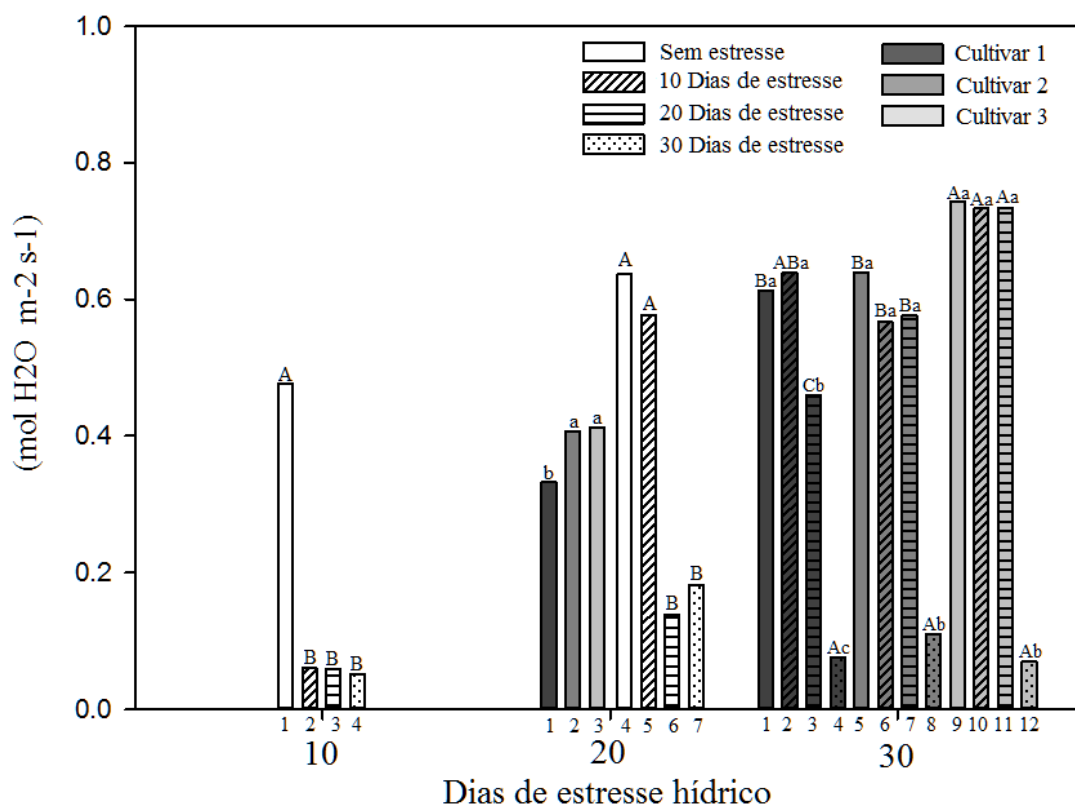


Figura 4. Condutância estomática (gs) de três cultivares de soja avaliadas em três períodos (10, 20 e 30 dias após o início estresse hídrico). No primeiro período colunas seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si para níveis de estresse. Para o segundo período, colunas seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si para níveis de estresse e colunas seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si para cultivares. Para o terceiro período, colunas seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si entre cultivares dentro de cada nível de estresse e colunas seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si dentro de cultivares. (Teste Tukey a 5% de probabilidade).

A eficiência de uso da água de uma cultura é definida como um rendimento ou ganho de carbono, em relação à água utilizada para fixar o carbono ou biomassa. Assim, culturas mais eficientes no uso da água podem produzir quantidade maior de matéria por uma mesma quantidade de água transpirada (CONCENÇO et al., 2007).

O uso mais eficiente da água está diretamente relacionado ao tempo de abertura estomática, pois enquanto a planta assimila CO₂ para a fotossíntese, a água é perdida por transpiração, com intensidade variável, dependendo do gradiente de potencial entre a superfície foliar e a atmosfera (FERREIRA et al., 2011; GILBERT, 2011).

Os dados de eficiência intrínseca do uso da água (EIUA), obtida através de uma relação entre a fotossíntese e a condutância estomática, demonstra que a cultivar 1 foi a mais eficiente na primeira época.

No segundo período somente houve diferença para os níveis de estresse, sendo que as plantas que passaram 10 dias sob estresse (coluna 2) voltaram a apresentar valores estatisticamente iguais ao do controle (coluna 1) e os tratamentos que estavam sob estresse permaneciam com valores significativamente maiores.

Ao analisar o desdobramento de níveis de estresse dentro de cultivares no terceiro período, nota-se que os tratamentos que permaneciam sob estresse hídrico se mostraram mais eficientes no uso da água (colunas 4, 8 e 12) e entre essas, a cultivar MN01 com 30 dias estresse hídrico (coluna 4) apresentou uma maior eficiência seguida pela cultivar MN03 e por último a MN02. Esse fato pode ser constatado nas figuras anteriores (Figuras 3 e 4) em que a fotossíntese da cultivar MN01 no 4º nível de estresse permanece alta em relação as outras cultivares no mesmo nível de estresse, porém com condutância estomática igual, demonstrando assim maior eficiência.

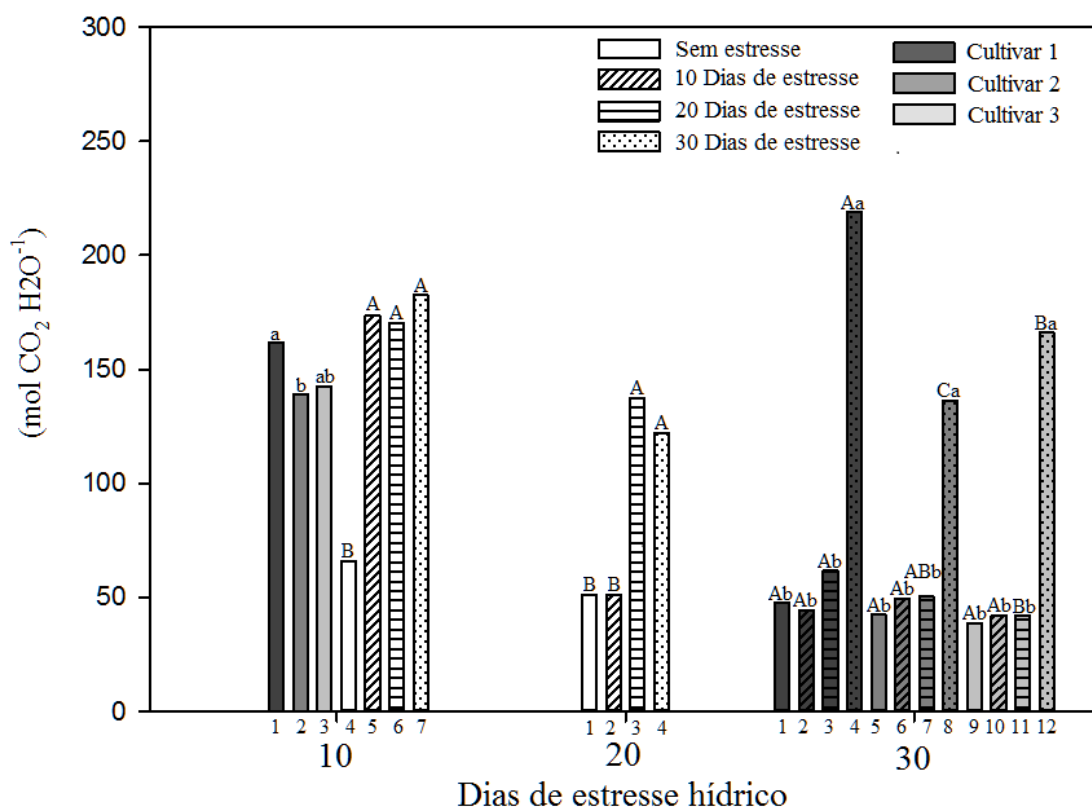


Figura 5. Eficiência intrínseca do uso da água (EUIA) de três cultivares de soja avaliadas em três períodos (10, 20 e 30 dias após o início do estresse hídrico). No primeiro período colunas seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si para níveis de estresse e colunas seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si para cultivares. Para o segundo período, colunas seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si para níveis de estresse. Para o terceiro período, colunas seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si entre cultivares dentro de cada nível de estresse e colunas seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si dentro de cultivares. (Teste Tukey a 5% de probabilidade).

Em ambientes com limitada disponibilidade de água o bom funcionamento fisiológico das plantas se presta como indicador para monitorar o pleno estabelecimento das plantas, assim como para demonstrar a plasticidade fisiológica das espécies em relação aos fatores abióticos (FERREIRA et al., 2012).

Parâmetros morfológicos

As curvas sigmóides apresentadas na Figura 6 (A1, B1 e C1) representam o crescimento de plantas em altura, avaliado durante todo o ciclo da cultura da soja. Nelas pode-se verificar uma fase inicial de crescimento lento, passando posteriormente a uma fase exponencial, depois um crescimento linear e, em seguida, um novo período de crescimento lento, com a paralisação eventual do processo.

A Figura 6 (A2, B2 e C2) representa a taxa de crescimento. A taxa máxima de crescimento é indicada pela primeira curvatura na linha, a fase de senescência é caracterizada pela queda na taxa de crescimento e ocorre quando a planta ou órgão alcança a maturidade e se torna senescente (PEREIRA; PEIXOTO 2009).

Para a maioria das cultivares o florescimento ocorreu por volta de 26 dias após a emergência (DAE). Nos tratamentos em condições de disponibilidade de água (controle), nota-se que houve crescimento mesmo após o florescimento. Isso é explicado pelas cultivares utilizadas serem de tipo de crescimento indeterminado, assim, tendo como característica não cessar o seu crescimento com o início do florescimento, diferentemente do que ocorre com genótipos de tipo de crescimento determinado (VAZ BISNETA, 2015).

Ao observar as três cultivares nos tratamentos controle (Figura 6) pode-se verificar que há uma tendência de redução da taxa de crescimento a partir de 40 dias após a emergência (DAE), coincidindo aproximadamente com o estágio de desenvolvimento R5 (início da formação do grão) das plantas. Zilio, (2014) também verificou ganhos em estatura de soja até os estádios R4 e R5.

Os tratamentos que passaram por estresse hídrico apresentaram uma redução da taxa de crescimento por volta de 35 DAE (Figura 7), ou seja, um pouco antes das mesmas cultivares sem estresse, coincidindo com data a qual foi imposto o estresse. Tal fato pode ser confirmado na Figura 6 (A2, B2 e C2), em que todas as cultivares sem estresse hídrico aos 40 DAE possuíam uma taxa de crescimento superior as demais.

Resultado semelhante foi encontrado por Gava, (2014) que verificou que a ocorrência de déficit de água prejudicou o desenvolvimento da soja em altura total das plantas. Segundo Farooq et al. (2009) o crescimento das plantas é muito afetado pela deficiência hídrica sendo que a parte aérea e as raízes são as mais afetadas e ambas são os principais componentes de adaptação das plantas à seca.

As plantas que permaneceram somente 10 dias sob estresse apresentaram uma taxa de crescimento superior aos tratamentos com 20 e 30 dias de estresse hídrico quando comparados a partir dos 35 DAE.

As cultivares que permaneceram com 20 e 30 dias de déficit hídrico apresentaram um comportamento semelhante. Aos 40 DAE obtiveram uma taxa de crescimento inferior aos tratamentos sem estresse e com 10 dias de estresse, porém semelhante entre elas. Isso ocorreu porque aos 20 e/ou 30 dias após a imposição do estresse, todos os genótipos já haviam alcançado o estágio de crescimento R5, assim mesmo retomando as condições ideais de disponibilidade hídrica não houve uma retomada de crescimento, isso porque nesse estágio a planta está redirecionando os fotoassimilados para o enchimento de grãos.

Sob estresse as cultivares apresentaram taxa máxima de crescimento entre 15 e 25 DAE, já os tratamentos controle, entre 30 e 40 dias. As plantas atingiram a taxa máxima de crescimento próximo ao momento de imposição do estresse, por isso os tratamentos que estavam sob estresse diminuíram o crescimento fazendo com que, para esses, a taxa máxima ocorresse antes das plantas sem estresse (Figura 6 A2, B2 e C2).

As taxas máximas de crescimento atingidas para os tratamentos controle foram 2,18, 1,36 e 1,82 cm dia⁻¹ para a cultivar MN01, MN02 e MN03, respectivamente. Todas as cultivares sob estresse apresentaram valores máximos inferiores a estes.

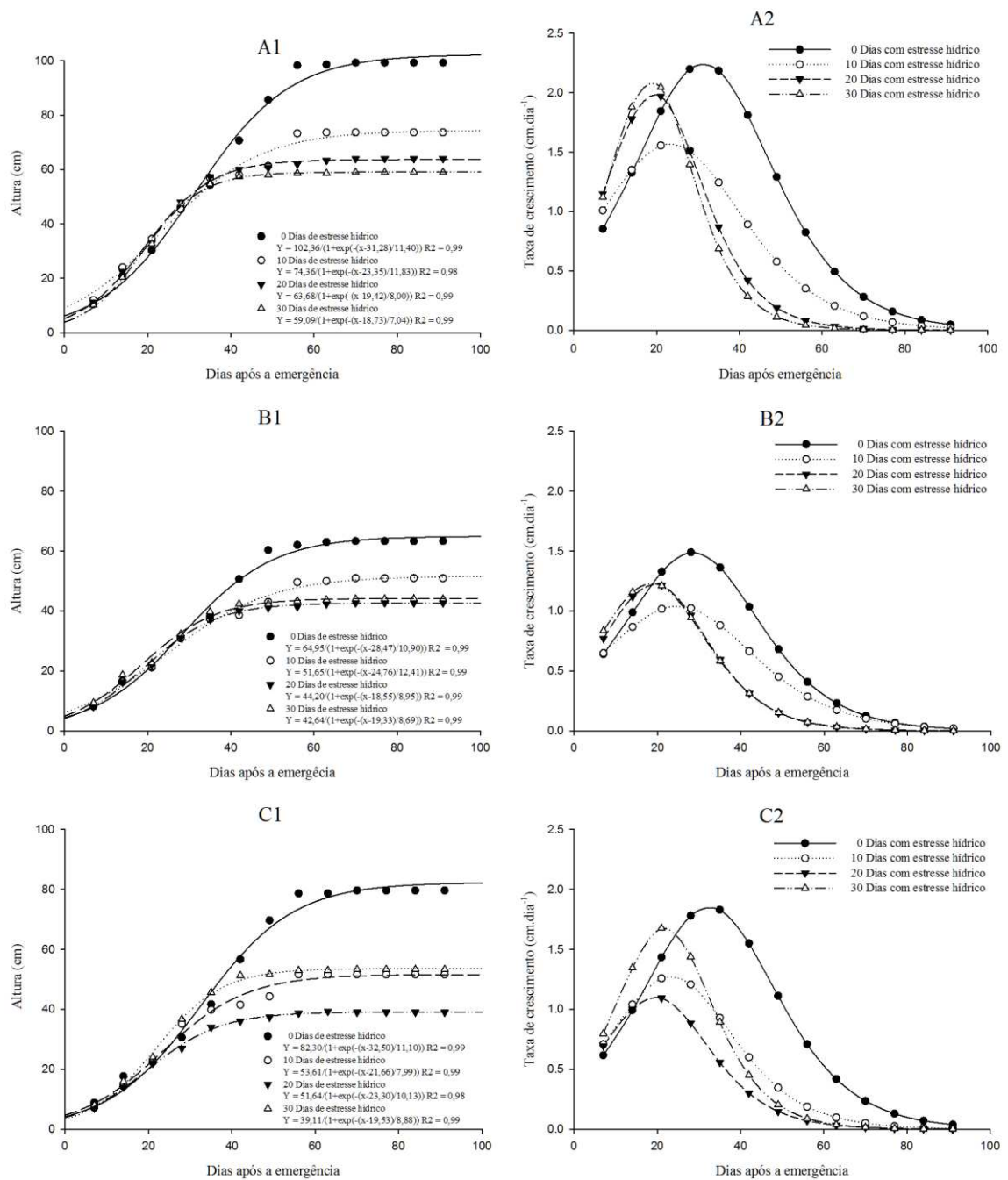


Figura 6. Representação do crescimento (1) e taxa de crescimento (2) em altura de três cultivares de soja sob estresse hídrico, sendo a cultivar MN01 (A), cultivar MN02 (B) e cultivar MN03 (C).

Segundo Jaleel et al. (2009) a altura junto a outras características como área foliar são as primeiras características morfológica a serem afetadas com o estresse. Em geral, pode-se dizer que o estresse hídrico no estágio reprodutivo R3 fez com que as plantas apresentassem uma altura final menor, em relação aos outros tratamentos.



Figura 7. Comportamento das cultivares de soja 10 dias após a imposição do estresse hídrico.

Ao analisar o crescimento das plantas em número de nós (Figura 8), assim como para altura, nota-se a estabilização do crescimento aproximadamente no estágio R5 para os tratamentos em controle. Já para os tratamentos que passaram por estresse hídrico a estabilização do crescimento ocorreu a partir da imposição do estresse, ou seja, antes do tratamento controle. Desta forma verificou-se que o déficit hídrico também influenciou na diferenciação de nós durante o desenvolvimento da cultura.

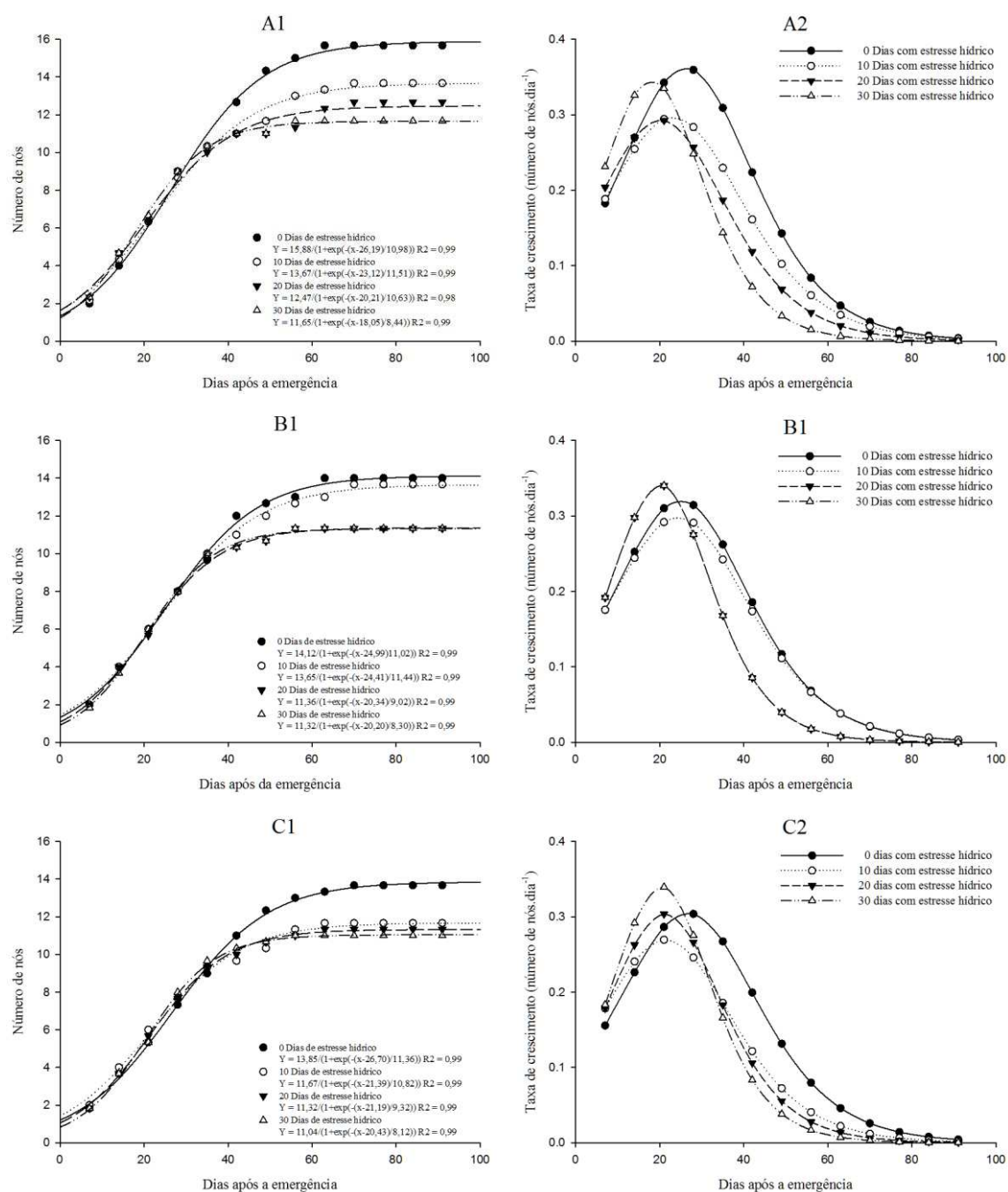


Figura 8. Representação do crescimento (1) e taxa de crescimento (2) em número de nós de três cultivares de soja sob estresse hídrico, sendo a cultivar MN01 (A), MN02 (B) e MN03 (C).

Zilio (2014) observou em seu trabalho com soja, um incremento do número de nós até o estágio R5 para as plantas irrigadas e até o estágio R4 para as plantas em restrição hídrica, com redução no número total de nós e na taxa de emissão de nós entre as plantas sob restrição hídrica.

A cultivar MN02 com 10 dias de estresse hídrico obteve uma taxa de crescimento muito próxima ao tratamento controle, demonstrando que essa cultivar apesar de ter apresentado uma taxa de crescimento em altura menor, ainda foi capaz de continuar diferenciado nós para essa situação.

As taxas máximas de crescimento em relação ao número de nós ocorreram aproximadamente aos 30 DAE para os tratamentos controle e para os tratamentos com estresse aproximadamente aos 21 DAE.

Na Tabela 5 está apresentado o resumo das análises de variância para os caracteres agronômicos. Em relação as cultivares, não se verificou diferença significativa para as características peso de 100 sementes (PS), número de sementes por vagens (NSV), volume de sementes (VS) e espessura de vagens (ESPV) indicando que as diferentes cultivares não possuem variabilidade para essas características.

Com exceção do caractere número de sementes por vagem (NSV), foi observada significância da fonte de variação Estresse para todos os outros, demonstrando a importância do estudo da influência do estresse hídrico sob tais caracteres.

Verificou-se interação C x E significativa para os caracteres ciclo (CI), largura de vagens (LARV) e produção (PROD). Isso indica que as cultivares possuem comportamentos diferenciados em relação à alteração do nível de estresse.

Tabela 5. Resumo da análise de variância para ciclo (CI), número de sementes por planta (NS), massa de 100 sementes (MCS), número de sementes por vagem (NSV), volume de sementes (VS), comprimento de sementes (COMS), espessura de sementes (ESPV), largura de sementes (LARS), comprimento de vagens (COMV), espessura de vagens (ESPV), largura de vagens (LARV) e produção por planta (PROD).

FV	GL	QM					
		CI	NS	MCS	NSV	VS	COMS
Blocos	2	2,11	36,01	0,04	0,003	0,12	0,02
Estresse	3	80,10**	8705,07**	63,76**	0,47ns	15,77**	0,58**
Cultivar	2	9,52*	671,99**	6,06ns	0,32ns	0,20ns	0,34**
E x C	5	7,04*	133,15ns	4,00ns	0,14ns	0,34ns	0,04ns
Resíduo	12	2,53	75,30	2,13	0,21	0,32	0,023
Total	35						
Média		95,69	94,74	19,25	2,06	8,43	6,78
CV(%)		1,66	9,15	7,02	22,04	7,41	2,25

FV	GL	QM					
		ESPV	LARS	COMV	ESPV	LARV	PROD
Blocos	2	0,05	0,01	1,72	0,06	0,04	1,66
Estresse	3	0,51**	1,06**	71,44**	0,75**	4,42**	128,72**
Cultivar	2	0,97**	0,13**	74,59**	0,06ns	0,07ns	28,99**
E x C	5	0,04ns	0,02ns	1,72ns	0,07ns	0,14**	4,70*
Resíduo	12	0,04	0,01	2,12	0,04	0,03	1,82
Total	35						
Média		7,51	6,08	43,08	9,27	7,65	19,25
CV(%)		2,96	2,08	3,38	2,28	2,42	7,02

**,* significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente pelo teste F de Fisher-Snedecor; FV: fonte de variação; GL: Graus de liberdade; CV: Coeficiente de variação.

Pelo teste de médias apresentado na Tabela 6, pode-se observar que ocorreu um aumento do ciclo com a intensificação do estresse. Verificou-se ainda que independente da cultivar, os tratamentos em controle e os que passaram 10 dias em estresse não diferenciaram entre si estatisticamente. Já os tratamentos que passaram por 20 e 30 dias de estresse hídrico apresentaram um aumento do ciclo, porém não diferenciando entre si.

Ao analisar as médias de cultivares dentro de cada nível de estresse, nota-se que somente houve diferença no estresse de 20 dias em que a cultivar MN01 teve o ciclo maior do que a cultivar MN02, e no estresse de 30 dias a cultivar MN01 teve o ciclo maior do que as cultivares MN02 e MN03.

Tabela 6. Médias da variável ciclo de três cultivares para soja sob quatro níveis de estresse hídrico

Níveis de estresse hídrico	Ciclo					
	Cultivar MN01		Cultivar MN02		Cultivar MN03	
	-----Dias após a emergência-----					
0 Dias de estresse	92,33	Ab	92,00	Ab	93,00	Ac
10 Dias de estresse	94,00	Ab	93,33	Aab	94,33	Abc
20 Dias de estresse	99,33	Aa	95,66	Ba	97,00	ABab
30 Dias de estresse	101,00	Aa	95,33	Ba	97,66	Ba

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

O estresse hídrico causou retenção foliar nas cultivares (Figura 9). Isso ocorreu devido a redução do número de vagens e grãos na planta. Com a falta de ‘dreno’ suficiente não houve a translocação de fotoassimilados suficientes para o início da senescência foliar. Sosa-Gomez e Moscardi (1995) citam em seu trabalho que Hicks e Pendleton (1969) observaram que a retenção foliar de maior intensidade está ligada à ausência de vagens na planta.

Sival et al. (2013) citam em seu trabalho informações da Embrapa Soja (2003), que a soja sob estresse hídrico durante a fase final de floração e na formação das vagens pode causar abortamento de quase todas as flores restantes e vagens recém formadas e a falta de carga nas plantas pode provocar uma segunda florada, normalmente infértil, resultando em retenção foliar pela ausência de demanda pelos produtos da fotossíntese.



Figura 9. Cultivar MN01 aos 40 dias após a imposição do estresse. Os tratamentos estão dispostos do maior estresse hídrico (30 dias) ao menor (0 dias ou controle).

Na Figura 10 está representado o teste de média do desdobramento da interação cultivar e estresse para a variável produção. Nota-se uma diminuição gradual dos valores com o aumento do período em que a planta convive com o estresse hídrico. Ao comparar os tratamentos controle com os tratamentos que passaram 30 dias sob estresse hídrico as perdas chegaram a 37%, 42% e 33%, respectivamente, para as cultivares MN01, MN02 e MN03.

Para as cultivares MN02 e MN03, 10 dias de estresse hídrico a um potencial de -900 kPa não foi suficiente para reduzir significativamente a produção. Também não houve diferença entre os tratamentos com 20 e 30 dias de estresse hídrico. A cultivar MN01 apresentou redução significativa na produção (14,66%) com 10 dias de estresse hídrico, porém não houve diferença entre os tratamentos com 10 e 20 dias.

Ao analisar as médias de cultivares dentro de cada nível de estresse hídrico, somente foi possível identificar diferenças com 20 dias de estresse em que as cultivares MN01 e MN03 se mostraram mais produtivas do que a cultivar MN02, e para 30 dias de estresse a cultivar MN03 foi mais produtiva do que a cultivar MN02.

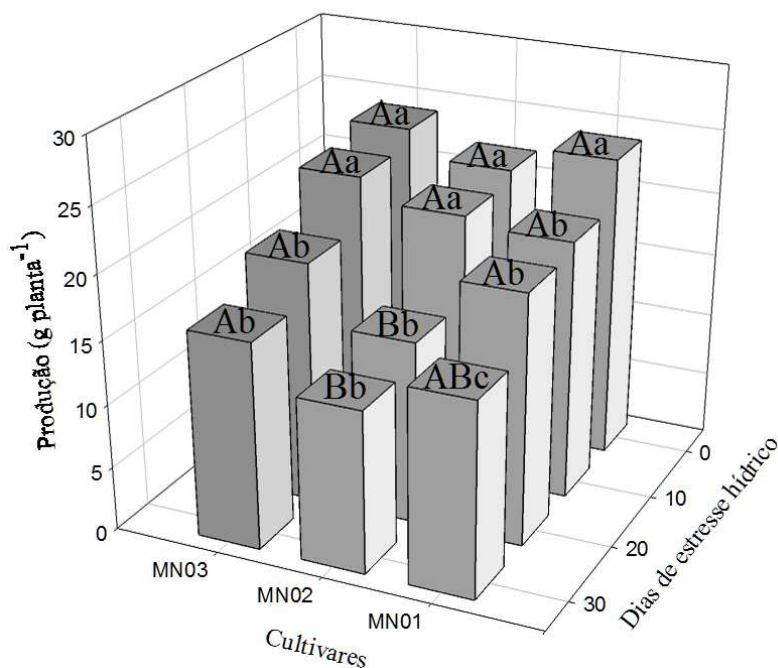


Figura 10. Representação gráfica da produção de três cultivares de soja sob estresse hídrico. Colunas seguidas pela mesma letra maiúscula na horizontal (efeito de cultivares) não diferem entre si e colunas seguidas pela mesma letra minúscula na vertical (efeito de estresse hídrico) não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade.

Vários autores também verificaram que a seca durante o período reprodutivo causa redução drástica no rendimento de grãos (CONFALONE; NAVARO, 1999; DESCLAUX et al., 2000; NEUMAIER et al., 2000). Atti et al. (2005) concluíram que o estresse hídrico afetou o crescimento e a produtividade da soja em diferentes níveis de estresse testados.

Foi realizada a mensuração de comprimento, espessura e largura de vagens, com intuito de verificar o comportamento dessas variáveis em relação ao estresse hídrico em cada cultivar (Figura 11). Utilizou-se do teste de identidade de modelos para verificar se as cultivares apresentaram o mesmo comportamento.

Para a variável comprimento de vagem, as cultivares MN02 e MN03 apresentaram valores superiores ao da cultivar MN01 e consideradas iguais entre si, desta forma, foi realizada uma nova equação que representasse as duas cultivares. Para as variáveis espessura e largura de vagem todas as cultivares apresentaram o mesmo padrão de variação em função da intensificação do estresse hídrico.

Houve uma redução linear nos valores de comprimento e espessura e um aumento nos valores de largura de vagem com o aumento do estresse hídrico.

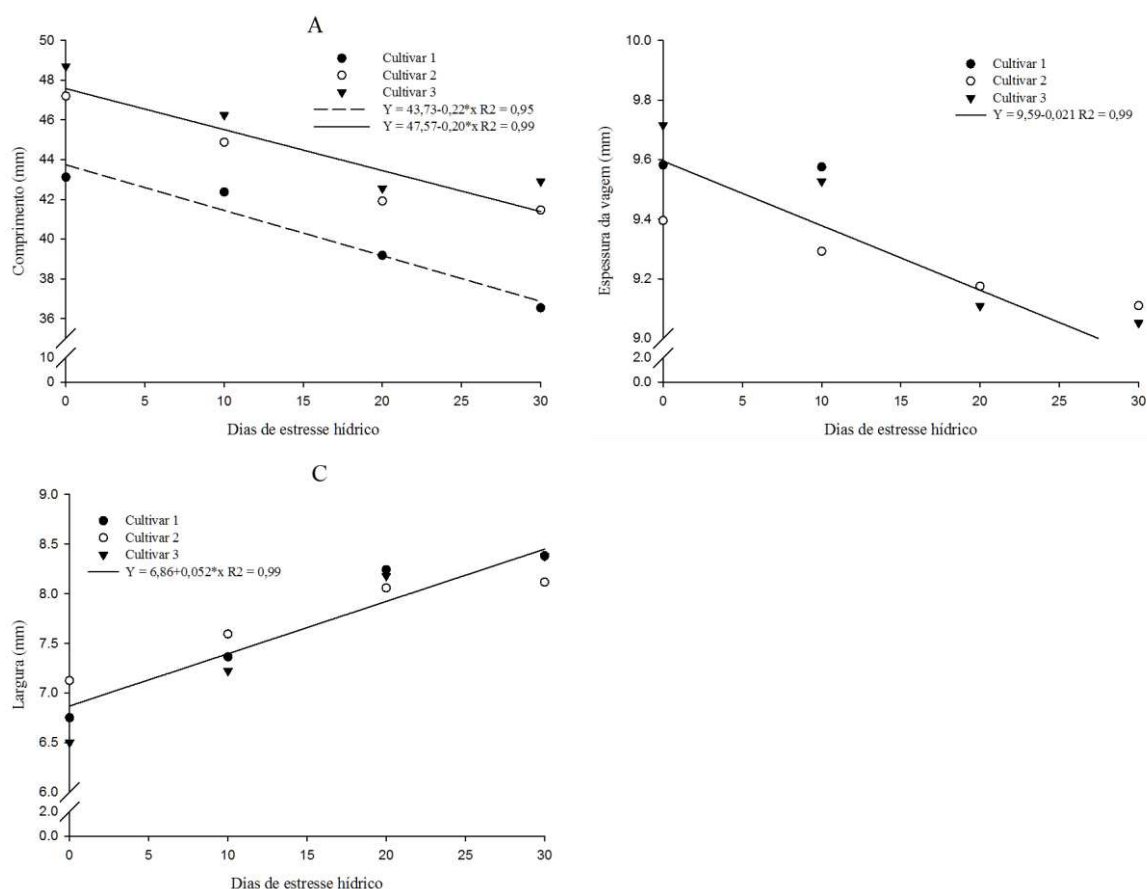


Figura 11. Representação do comprimento (A), espessura (B) e largura (C) de vagem de três cultivares sob estresse hídrico.

O estresse hídrico durante o período de desenvolvimento das vagens proporcionou diminuição das mesmas, porém nota-se um aumento da largura da vagem, que ocorreu possivelmente para acompanhar o desenvolvimento do grão que apresentou maior tamanho com o aumento de dias sob estresse hídrico (Figura 12).

Para as variáveis representadas na Figura 12 todas as cultivares apresentaram comportamento linear em relação à intensificação do estresse hídrico. Houve um aumento do comprimento da semente para as três cultivares. As cultivares MN01 e MN02 apresentaram valores menores do que a cultivar MN03 e o mesmo comportamento entre si, desta forma estão representadas por uma equação em comum.

Para a variável espessura de sementes houve diferenças no comportamento das cultivares. Já para as variáveis largura e volume de semente houve um comportamento semelhante para as três cultivares sendo ajustada uma nova equação em comum.

O aumento de dias sob estresse hídrico proporcionou maiores valores para comprimento, espessura, largura, volume e peso de 100 sementes em todas as cultivares de soja (Figura 5 A, B, C, D e E). Kuss et al. (2008), também verificaram maior peso de 100 sementes para plantas que passaram por déficit hídrico, esses autores encontraram as maiores médias de produtividade para o tratamento com irrigação plena.

O aumento do tamanho das sementes ocorreu devido ao período a qual as plantas foram expostas ao estresse hídrico. Como as cultivares utilizadas são de tipo de crescimento indeterminado, há a formação de vagens no terço inferior antes do terço superior, desta forma quando a restrição hídrica foi imposta ainda haviam flores no terço superior da planta, isso fez com que aumentasse o abortamento de flores e conseqüentemente a diminuição do número de grãos e produção por planta.

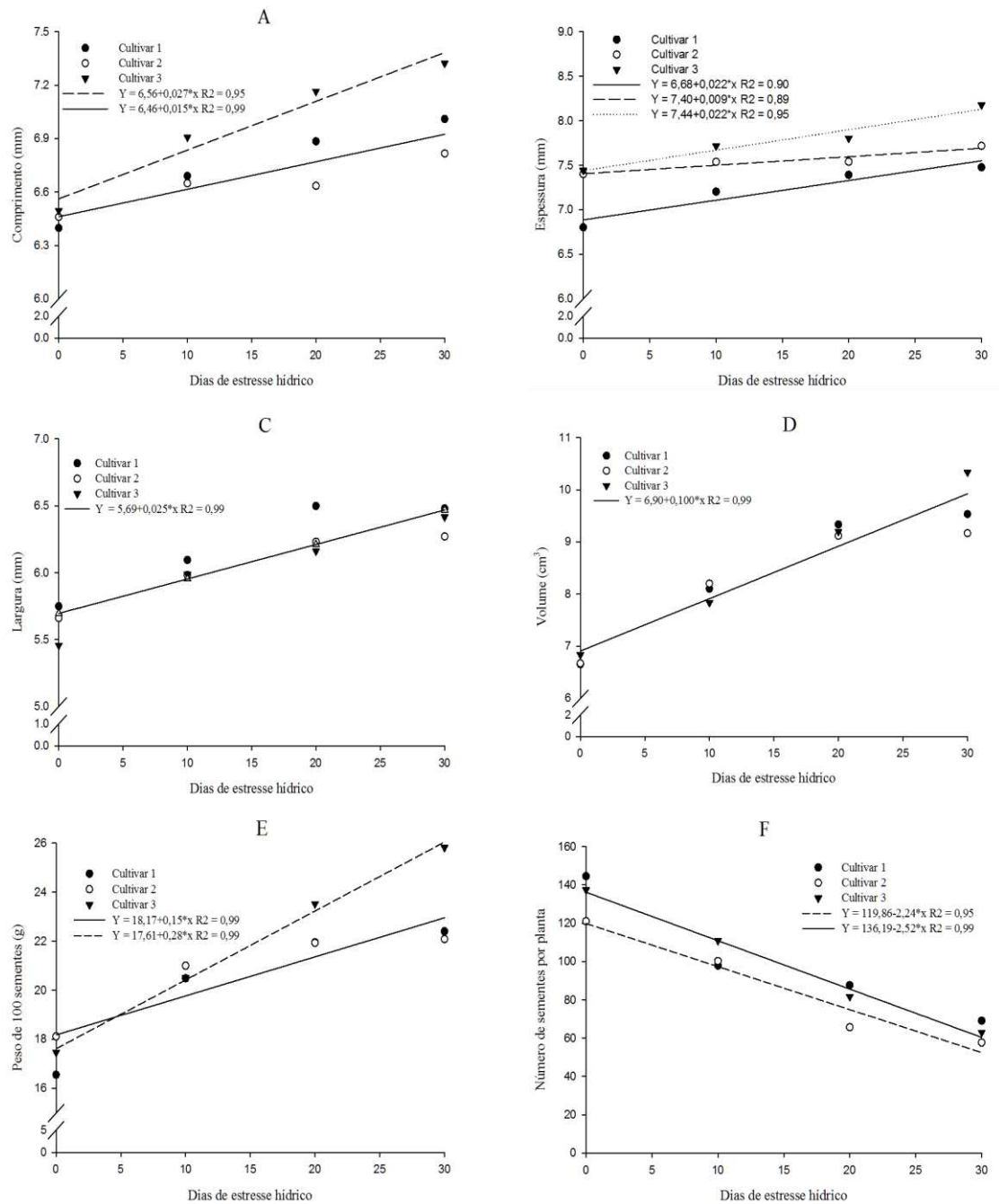


Figura 12. Representação do comprimento de semente (A), espessura de semente (B), largura de semente (C), volume de 100 sementes (D), massa de 100 sementes (E) e número de sementes por planta (F) de três cultivares sob estresse hídrico.

Como não houve falta de água no estágio de desenvolvimento vegetativo a planta se desenvolveu normalmente, e com a retomada da irrigação ainda com a planta enchendo grãos, toda a produção de fotoassimilados foi concentrada em uma menor quantidade de grãos, fazendo com que esses fossem maiores e mais pesados.

O estresse proporcionou diminuição do número de grãos por planta como pode ser verificado na Figura 12 (F). Esse fato pode ser explicado pelo abortamento de flores que ainda estavam sendo formadas no momento da imposição do estresse e também pelo abortamento de vagens. Gava (2014) verificou que a falta de água no florescimento pode causar abortamento de flores e refletir em menor número de grãos.

Na Tabela 7 está apresentada a porcentagem de abertura de vagens imaturas. As três cultivares nos tratamentos sem estresse e com 10 dias de estresse hídrico não apresentaram abertura de vagens imaturas. As cultivares MN01 e MN02 apresentaram abertura somente quando submetidas a 20 e 30 dias de estresse hídrico e a cultivar MN03 não apresentou abertura independente do estresse imposto.

A cultivar MN02 foi a que apresentou maiores porcentagens de abertura de vagens imaturas, chegando a valores acima de 10% no nível máximo de estresse hídrico (30 dias). Assim nota-se que há variabilidade para essa característica e que a mesma é muito influenciada pelo ambiente.

Para as cultivares que apresentaram abertura de vagens imaturas, a maior porcentagem ocorreu com o aumento dos dias de permanência em estresse, desta forma verifica-se a influência do estresse hídrico sobre essa característica.

Tabela 7. Porcentagem de abertura de vagens imaturas em três cultivares de soja sob quatro níveis de estresse.

Cultivar	Níveis de estresse			
	0 Dias	10 Dias	20 Dias	30 Dias
	-----% de abertura-----			
1	0	0	2,22	3,88
2	0	0	5,66	10,74
3	0	0	0	0

A abertura de vagens imaturas não foi afetada pela a quantidade de grãos por vagem, havendo abertura em vagens de dois, três e quatro grãos (Figura 13).



Figura 13. Abertura de vagens imaturas em vagens de dois, três e quatro grãos.

Houve abertura de vagens imaturas ao longo de toda a planta, sendo que a maioria estava localizada no terço médio. Os terços superior e inferior apresentaram a mesma quantidade de vagens abertas (Figura 14).

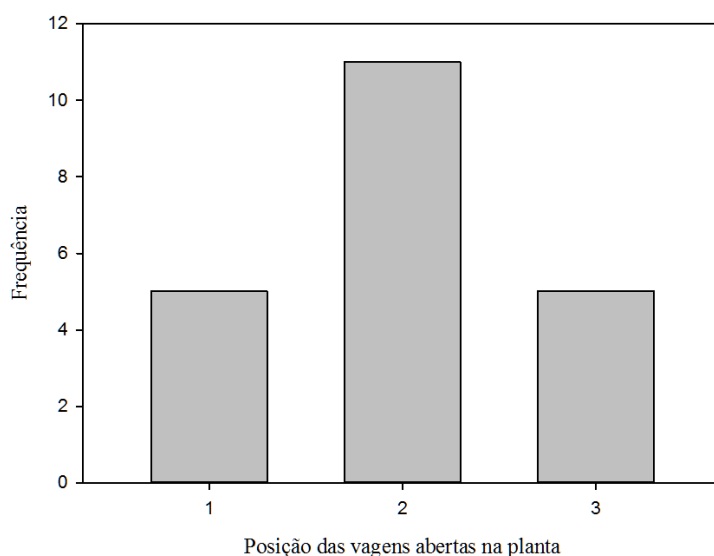


Figura 14. Frequência de abertura de vagens imaturas no terço superior (1), médio (2) e inferior (3) da planta.

CONCLUSÕES

As cultivares de soja avaliadas são sensíveis ao estresse hídrico no estágio de desenvolvimento R3 a um potencial de -900 kPa.

Os processos fisiológicos das plantas foram afetados significativamente após o 10º dia do estresse hídrico, havendo redução da fotossíntese e da condutância estomática e aumento da eficiência intrínseca do uso da água.

O estresse por falta de água no estágio R3 reduziu o crescimento e desenvolvimento da planta, levando ao desenvolvimento de estruturas menores como a vagem, menor número de sementes por planta e conseqüentemente menor produção por planta, chegando a 42% de perda.

O estresse hídrico nas condições impostas nesse trabalho proporcionou o aumento do tamanho da semente.

A redução do tamanho da vagem e o aumento do tamanho do grão contribuíram para a abertura de vagens imaturas nas cultivares mais susceptíveis.

A cultivar MN03 mostrou-se resistente a abertura de vagens imaturas, mesmo nas condições de maior déficit hídrico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATTI, S.; BONNELL, R.; PRASHER, S.; SMITH, D. L. Response of soybean [Glycine max (L.) Merr.] under chronic water deficit to lco application during flowering and pod filling. **Irrigation and Drainage**, New Delhi, v. 54, p. 15-30, 2005.

BERNARDO, S; SOARES, A. A; MANTOVANI, C. E. Manual de irrigação. Viçosa-MG, Ed. 8. p. 625, 2008.

CÂMARA, G. M. S. ADUBAÇÃO. In: **Soja do plantio a colheita**. SEDIYAMA, T.; SILVA, F.; BORÉM, A. Viçosa-MG. p. 110-148. 2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira**. Grãos, nono levantamento. Brasília. ISSN 2318-6852, v. 9, p. 1-174, 2016.

CONCENÇO, G.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A.; VIANA, R. G.; D'ANTONINO, L.; FIALHO, C. M. T. Uso da água em biótipos de azevém (*Lolium multiflorum*) em condição de competição. **Planta Daninha**, v. 25, n. 3, p. 449-455, 2007.

CONFALONE, A.; NAVARO, M. D. Influencia do déficit hídrico sobre eficiência da radiação solar em soja. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 5, n. 3, p. 195-198, 1999.

CHRISTIANSEN, L. C.; DAL DEGAN, F.; ULVSKOV, P.; BORKHARDT, B. Examination of the dehiscence zone in soybean pods and isolation of a dehiscence-related endopolygalacturonasegene. **Plant, Cell & Environment** v. 25, n. 4, p. 479-490, 2002.

CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**. v.35, n.3, p.271-276, 2013.

DESCLAUX, D.; HUYNH, T.; ROUMET, P. Identification of soybean plant characteristics that indicate the timing of drought stress. **Crop Science**, Madison, v. 40, n. 3, p. 716-722, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, **Tecnologias de Produção de Soja – Paraná 2004**. Londrina: Embrapa Soja, p. 218, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil – 2007**. - Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2007.

FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N.; FUJITA, D.; BASRA, S. M. A. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Sustainable agriculture**. Springer Netherlands, p. 153-188, 2009.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages on soybean development**. Ames: Iowa State University/Cooperative Extension Service, (Special Report, 80), p. 11, 1977.

FERREIRA, E. A.; ASPIAZÚ, I.; GALON, L.; CONCENÇO, G.; SILVA, A. F.; REIS, L. A. C. Características fisiológicas da soja em relação a espécies de plantas daninhas. **Revista Tropical Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 5 n. 1, p. 39, 2011.

FERREIRA, M. J.; DE CARVALHO GONÇALVES, J. F.; FERRAZ, J. B. S. Crescimento e eficiência do uso da água de plantas jovens de castanheira-da-amazônia em área degradada e submetidas à adubação. **Ciência Florestal**, v. 22 n. 2, p. 397-405, 2012.

FUNATSUKI, H.; SUZUKI, M.; HIROSE, A.; INABA, H.; YAMADA, T.; HAJIKA, M.; FUJINO, K. Molecular basis of a shattering resistance boosting global dissemination of soybean. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 50, p. 17797-17802, 2014.

GAVA, R. **Os efeitos do estresse hídrico na cultura da soja (Glycine max (L.) Merrill).** Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". ESALQ, Piracicaba-SP. p. 123, 2014.

GILBERT, M. E.; ZWIENIECKI, M. A.; HOLBROOK, N. M. Independent variation in photosynthetic capacity and stomatal conductance leads to differences in intrinsic water use efficiency in 11 soybean genotypes before and during mild drought. **Journal of Experimental Botany**, p. 461, 2011.

GRAYBILL, F. A. **Theory and application of the linear model.** Belmont: Duxbury Press. p. 704, 1976.

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 Agricultural Biology**, v. 11, p. 100–105, 2009.

JONES, H. G. **Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology.** Cambridge: Cambridge University Press, p. 428, 1994.

KUSS, R. C. R.; KÖNIG, O.; DUTRA, L. M. C.; BELLÉ, R. A.; ROGGIA, S.; STURMER, G. R. Populações de plantas e estratégias de manejo de irrigação na cultura da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 4, p. 1133-1137, 2008.

HICKS, D. R.; J. W.; PENDLETON. Effect of the floral bud removal performance of soybean. **Crop Science**, v. 9, p. 435-437, 1969.

HUANG B. R., FU J. Photosynthesis, respiration, and carbon allocation of two cool-season perennial grasses in response to surface soil drying, **Plant Soil**, p. 17–26, 2000.

MASCARENHAS, H. A. A.; DE FÁTIMA ESTEVES, J. A.; WUTKE, E. B.; RECO, P. C.; DA LUZ LEÃO, P. C. Deficiência e toxicidade visuais de nutrientes em soja. **Nucleus**, v. 10, n. 2, 2013.

MENCUCCINI M.; MAMBELLI S.; COMSTOCK J. Stomatal responsiveness to leaf water status in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is a function of time of day. **Plant, Cell and Environment**, v. 23, p. 1109–1118. 2000.

MONTAGU, K. D.; WOO, K. C. Recovery of tree photosynthetic capacity from seasonal drought in the wet-dry tropics: the role of phyllode and canopy processes in *Acacia auriculiformis*. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 26, n. 2, p. 135–145, 1999.

NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B. Estresses de ordem ecofisiológica. In: BONATO, E. R. (Ed.) **Estresses em soja**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, p. 45-65, 2000.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; MORAES, J. A. P. V.; BURITY, H. A.; Alterações na resistência a difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleira submetidas à déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, n. 1, p. 75-87, 2001.

PEREIRA, C. R.; PEIXOTO, M. F. S. P. Dinâmica do crescimento vegetal: princípios básicos. **Tópicos em Ciências Agrárias**, p. 38, 2009.

ROZA, F. A. **Alterações morfofisiológicas e eficiência de uso da água em plantas de *Jatropha curcas* L. submetidas à deficiência hídrica**. Dissertação. Universidade Estadual de Santa Cruz. Ilhéus, p. 78, 2010.

SEDIYAMA, T.; SILVA, F. L.; BORÉM, A. **Soja do plantio a colheita**. Viçosa-MG, p. 333, 2015.

SILVA, A. J.; CANTERI, M. G.; DA SILVA, A. L. Haste verde e retenção foliar na cultura da soja. **Summa Phytopathologica**, v.39, n.3, p.151-156, 2013.

SILVA, F. A.; SEDIYAMA, T.; BORÉM, A. Exigências Edafoclimáticas. In: **Soja do plantio a colheita**. SEDIYAMA, T.; SILVA, F. L.; BORÉM, A. Ed UFV, Viçosa-MG, p. 54-65. 2015.

SINCLAIR, T. R. Challenges in breeding for yield increase for drought. **Trends in plant science**, v. 16, n. 6, p. 289-293, 2011.

SOSA-GOMEZ, D. R.; MOSCARDI, F. Retenção foliar diferencial em soja provocada por percevejos (Heteroptera: Pentatomidae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 24, n. 2, p. 401-404, 1995.

VAZ BISNETA, M. **Influência do tipo de crescimento, época e densidade de semeadura em caracteres morfoagronômicos de cultivares de soja**. Dissertação, Universidade Federal de Goiás, UFG, Goiânia, p. 76, 2015.

WAHID A., RASUL E. Photosynthesis in leaf, stem, flower and fruit, in: Pessaraki M. (Ed.), **Handbook of Photosynthesis**, 2nd ed., CRC Press, Florida, p. 479–497, 2005.

WANG, L.; ZHANG, T.; DING, S. Effect of drought and rewatering on photosynthetic physioecological characteristics of soybean. **Acta Ecologica Sinica**, v. 26, n. 7, p. 2073-2078, 2006.

YANG, P. H.; LI, G. Q.; GUO, L.; WU, S. J. Effect of drought stress on plasma membrane permeability of soybean varieties during flowering-podding stage. **Agricultural Research in the Arid Areas**, v. 21, n. 3, p. 127–130, 2003.

ZILIO, M. **Crescimento e partição de biomassa de cultivares de soja submetida à restrição hídrica em diferentes estádios fenológicos**. Tese de Doutorado em Produção Vegetal, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2014.

ZHU, G. J.; JIANG, G. M.; HAO, N. B. Relationship between ecophysiological features and grain yield in different soybean varieties. **Acta Botânica Sinica**, v. 44, n. 6, p. 725–730, 2002.