



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

ESMAEL LOPES DOS SANTOS

**DESEMPENHO DE CULTIVARES DE SOJA SOB DÉFICIT  
HÍDRICO**

---

Londrina  
2009

ESMAEL LOPES DOS SANTOS

**DESEMPENHO DE CULTIVARES DE SOJA SOB DÉFICIT  
HÍDRICO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação, em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Cássio Egidio Cavenaghi  
Prete  
Co- Orientador: Dr. Alexandre José Cattelan

Londrina  
2009

**Catálogo elaborado pela Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca  
Central da Universidade Estadual de Londrina.**

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**

S237d Santos, Esmael Lopes dos.  
Desempenho de cultivares de soja sob déficit hídrico / Esmael Lopes  
dos Santos. – Londrina, 2009.  
103 f. : il.

Orientador: Cássio Egídio Cavenaghi Prete.

Co-orientador: Alexandre José Cattelan.

Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de  
Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação  
em Agronomia, 2009.

Inclui bibliografia.

1. Soja – Cultivo – Teses. 2. Soja – Condições hídricas – Teses.  
I. Prete, Cássio Egídio Cavenaghi. II. Cattelan, Alexandre José. III.  
Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias.  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 633.34

ESMAEL LOPES DOS SANTOS

## DESEMPENHO DE CULTIVARES DE SOJA SOB DÉFICIT HÍDRICO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação, em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

### BANCA EXAMINADORA

---

Dr. Norman Neumaier – Embrapa Soja

---

Prof. Dr. Claudemir Zucareli – UEL

---

Dr. José Renato Bouças Farias –  
Embrapa Soja

---

Prof. Dr. José Antonio Pimenta – UEL

---

Dr. Rogério Teixeira de Faria – IAPAR

---

Dr. Alexandre Lima Nepomuceno –  
Embrapa Soja

---

Prof. Dr. Cássio Egidio Cavenaghi Prete  
Orientador  
Universidade Estadual de Londrina

Londrina, 16 de dezembro de 2009.

A minha esposa, Gheisa Helen, pelo incentivo, amor e colaboração para que  
pudesse realizar este sonho;

Aos meus pais, Elias e Rosalina, pelo incentivo e grandes lições de vida.

Aos meus irmãos, Eliel e Rosenilda, embora distantes muitas vezes, sempre  
souberam dar uma palavra de incentivo.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus.

A Universidade Estadual de Londrina (UEL), por ter possibilitado a realização do curso assim como, pela infraestrutura disponibilizada.

Ao meu orientador Prof. Dr. Cássio Egídio Cavenaghi Prete, não só pela constante orientação neste trabalho, mas sobretudo pela sua amizade.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Soja), pela cessão de materiais e estrutura, que possibilitou o desenvolvimento destas atividades.

Ao meu co-orientador Dr. Alexandre José Cattelan, pela orientação, amizade, paciência e pela imensa contribuição para o meu crescimento pessoal e profissional.

Aos pesquisadores da Embrapa soja, Dr. Nomam Neumaier, Dr. José Renato Bouças Faria, Dr. Alexandre Lima Nepomuceno e Dra. Maria Cristina Neves de Oliveira, pelo apoio, amizade, disponibilidade para solução dos problemas e auxílio na concretização das metas deste trabalho.

À Fundação de Apoio à Pesquisa e ao Desenvolvimento do Agronegócio - FAPEAGRO, pelo apoio para a realização deste curso, assim como aos funcionários e amigos, pela colaboração e incentivo.

Ao colegiado do curso de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina - UEL, pela dedicação e pelos conhecimentos transmitidos durante a realização do curso.

Aos funcionários da Embrapa Soja, em especial aos amigos Anizia Betti (laboratório de microbiologia do solo), Luis Arvin Betti (área de Melhoramento), Claudinei Toledo e Nelson Delatre (laboratório de ecofisiologia vegetal), pela apoio e ajuda incontestável a mim prestada.

Aos colegas da Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, pelo convívio e pelas trocas de conhecimentos.

Enfim, às pessoas e instituições que de forma direta ou indiretamente contribuíram de maneira significativa para que este trabalho pudesse ser realizado.

*“Jamais considere seus estudos como uma obrigação, mas como uma oportunidade invejável para aprender a conhecer a influência libertadora da beleza do reino do espírito, para seu próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade à qual seu futuro trabalho pertencer.”*

(Albert Einstein)

SANTOS, Esmael Lopes dos. **Desempenho de cultivares de soja sob déficit hídrico**. 2009. 114f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

## RESUMO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma das mais importantes culturas do mundo na produção de grãos. Neste cenário, o Brasil se destaca como o segundo maior produtor mundial de grãos de soja, razão pela qual esta é uma das culturas de maior importância econômica para o País. Entre os fatores de produção, a água é o que mais limita o rendimento das plantas cultivadas, principalmente em regiões onde ocorre distribuição irregular da precipitação pluvial. O presente trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho de cultivares de soja sob déficit hídrico através do crescimento de plantas, rendimento de grãos, fixação biológica do nitrogênio, acúmulo e rendimento de proteína e óleo. Os experimentos foram conduzidos no campo experimental da Embrapa Soja, em Londrina-PR. As semeaduras dos experimentos foram realizadas manualmente com revolvimento do solo somente nas linhas e com delineamento experimental em blocos ao acaso em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas principais foram aplicados três disponibilidades hídrica (1 – Déficit hídrico nos estádios reprodutivos - DHER, 2 – condições normais de campo - CNC e 3 – irrigado - IRR), enquanto as subparcelas receberam as 10 cultivares de soja. Para análise de crescimento e rendimento de grãos, foram utilizados dados das safras 2005/06 e 2006/07. As variáveis analisadas foram: rendimento de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e massa de 100 grãos (g), em CNC e IRR, foram estimados pela amostragem em três linhas de cinco metros, por unidade experimental, o que corresponde a uma área de  $7,5\text{m}^2$ , e, em DHER, pela amostragem em uma linha de dois metros, por unidade experimental, o que corresponde à área de  $1\text{m}^2$ ; área foliar (AF), determinada por meio de um *Area Meter*, LI-3100 em cinco plantas, e o índice de área foliar (IAF) calculado pela relação funcional existente entre a área foliar (AF) e a área do terreno ocupada pelas plantas, nos estádios  $V_7$ ,  $R_2$ ,  $R_4$  e  $R_6$ ; taxa fotossintética ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), determinada através de um medidor portátil de fotossíntese (*Photosynthesis System*, LI-Cor, Inc., modelo LI-6200), no folíolo mediano do 3º trifólio, completamente expandido, nos estádios  $V_7$  e  $R_4$ ; número de legumes por planta, média de cinco plantas por parcela (estádio  $R_8$ ) e altura de planta (cm), média de cinco plantas por parcela, medida no estádio  $V_7$  e na colheita (estádio  $R_8$ ). Para análise da fixação biológica de nitrogênio, foram utilizados dados da safra 2006/07. No estádio  $R_8$ , foram coletadas cinco plantas de cada subparcela, foram separadas parte aérea e raiz, e desta retirado os nódulos. As variáveis analisadas foram as características relacionadas com a nodulação (massa de nódulos secos - MNS; número de nódulos – NN) e o crescimento da planta (massa da parte aérea seca – MPAS; massa de raiz seca - MRS), após a secagem em estufa de circulação forçada de ar, à  $65^\circ \text{C}$  até atingir peso constante. Para análise do acúmulo e rendimento de proteína e óleo, foram utilizados dados da safra 2006/07. As variáveis analisadas foram: acúmulo de proteína e óleo nos grãos e rendimento de proteína e óleo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). O acúmulo de óleo foi determinado através de amostras retiradas de cada subparcela, pelo método

de Soxhlet, com hexano como solvente e o acúmulo de proteína pelo método de Kjeldahl. O rendimento de óleo e de proteína foi obtido com base no rendimento de grãos e no acúmulo de óleo e proteína nos grãos, pela multiplicação do rendimento pelos percentuais de óleo e proteína para cada disponibilidade hídrica. Quando submetidas há déficit hídrico, houve o comprometimento do crescimento das cultivares de soja, devido à redução do IAF, da taxa fotossintética, correlacionando com o rendimento da cultura. Entre as cultivares houve respostas diferenciadas, sendo a BRS 184 com maior rendimento a mais tolerante, e, a BR 16 com menor rendimento, a mais sensível ao déficit hídrico. O IAF se correlacionou com a taxa fotossintética, massa e rendimento de grãos, mostrando ser uma resposta das plantas ao déficit hídrico e um indicativo de rendimento. Houve variação entre as cultivares quanto a nodulação, sendo esta menor quando houve a limitação hídrica causada pelo DHER. O estresse causado pelo déficit hídrico nos estádios reprodutivos (DHER) foi limitante para a nodulação, restringindo a FBN. Os menores rendimentos de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) apresentados na disponibilidade hídrica DHER, podem ser reflexos do comprometimento da FBN. O acúmulo de proteína nos grãos foi favorecido pelo déficit hídrico, sendo a disponibilidade hídrica DHER a que expressou o maior acúmulo, e, entre as cultivares nesta disponibilidade hídrica, a BRS 183 e BRS 214 foram as de maiores médias. O DHER apresentou um menor rendimento de proteína e óleo, e a cultivar BRS 184, foi a de maior rendimento de proteína, e também se manteve entre as de maior rendimento de óleo, nas disponibilidades hídricas CNC e IRR.

**Palavras-chave:** Estresse hídrico. Composição química. FBN. Acúmulo de proteína e óleo e componente de produção.

SANTOS, Esmael Lopes dos. **Performance of soybean cultivars under water deficit**. 2009. 114f. Thesis (Doctor in Agronomy) – Londrina State University, Londrina, 2009.

## ABSTRACT

The soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] is one of the most important crops in the world regarding grain production. In this scenario, Brazil stands out as the second largest producer, what makes soybean one of the most important crops to the country. Among the different production factors, water is considered the most limiting one, especially in regions where the irregular distribution of pluvial precipitation occurs. The present study aimed to evaluate the performance of soybean cultivars under water deficit through plant growth, grain yield, biological nitrogen fixation, accumulation and yield of protein and oil. The experiments were conducted at the experimental field of the National Soybean Research Center of Embrapa, in Londrina-PR, Brazil. The sowing of the experiments was carried out manually with soil disturbance only in the rows, and the experimental design was a randomized complete blocks design with split-plot model and four replicates. The main plots received three water availability: 1 – water stress on reproductive stages (DHER), 2 – natural rainfall (CNC), and 3 – irrigation (IRR); while the subplots received 10 soybean cultivars. For analysis of growth and grain yield, data from the 2005/06 and 2006/07 seasons were used. The variables evaluated were: grain yield ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) and mass of 100 grains (g) in CNC and IRR were estimated by sampling to an area of  $7,5 \text{ m}^2$ , and in DHER, by sampling a range of two meters per experimental unit, which corresponds to the area of  $1 \text{ m}^2$ ; leaf area (AF), determined by an *Area meter*, LI-3100 in five plants, and leaf area index (IAF) calculated by the functional relationship between the leaf area (AF) and area of land occupied by plants, in the stages  $V_7$ ,  $R_2$ ,  $R_4$  and  $R_6$ ; photosynthetic rate ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), determined by a portable photosynthesis meter (photosynthesis system LI-Cor, inc., model LI-6200), the middle leaflet of the 3rd trifoliolate, fully expanded in stages  $V_7$  and  $R_4$ ; number of pods per plant, average of five plants per plot ( $R_8$ ) and plant height (cm), average of five plants per plot, measured at the  $V_7$  stage and harvest ( $R_8$ ). For the analysis of biological nitrogen fixation, data from the 2006/07 season were used. At the  $R_8$  stage, were collected five plants of each subplot were separated shoot and root, and this removed the nodules. The characteristics examined were related to nodulation (number of nodules – NN; nodule dry mass - MNS) and plant growth (shoot mass dry – MPAS; root dry mass - MRS) after drying in an oven forced circulation of air at  $65^\circ \text{C}$  until weight constant. To analyze the accumulation and yield of protein and oil, data from the 2006/07 season were used. The variables analyzed were: accumulation of protein and oil in grain yield and protein and oil ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). The accumulation of oil was determined by samples taken from each subplot, by the method of soxlet with hexane as solvent and the accumulation of protein by the kjeldahl method. The oil yield and protein was obtained based on grain yield and accumulation of oil and protein in grains, by multiplying the yield by the percentage of oil and protein for each water availability. When subjected to water deficit, there was impairment of growth of soybean cultivars, due to the reduction of IAF, photosynthetic rate, correlating with the crop yield. Among the cultivars there were different responses, and the BRS 184 with higher yield and the more tolerant, and the BR 16

with lower yield, the most sensitive to water deficit. The IAF was correlated with photosynthetic rate, weight and grain yield, being a plant response to drought and an indication of yield. There was variation among cultivars in the nodulation, which is lower when there was water limitation caused by DHER. The stress caused by water stress during reproductive stages (DHER) was limiting for nodulation, restricting the FBN. The lowest grain yield ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) presented in available water DHER, may reflect the involvement of the FBN. The accumulation of protein in grains was favored by drought, and water availability DHER, that expressed the greatest accumulation, and, between cultivars in this water availability, BRS 183 and BRS 214 were of the highest averages. The DHER showed a lower yield of protein and oil, and BRS 184 was the highest yield of protein, and also remained among the highest oil production, in the water availability CNC and IRR.

**Keywords:** Water stress. Chemical composition. FBN. Accumulation of protein and oil and production component.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	15
2.1 PRODUÇÃO E IMPORTÂNCIA DA CULTURA DA SOJA .....	15
2.2 CARACTERÍSTICAS DO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA SOJA .....	17
2.3 NECESSIDADES HÍDRICAS DA CULTURA DA SOJA .....	19
2.4 FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO NITROGÊNIO (FBN), O DÉFICIT HÍDRICO E A COMPOSIÇÃO DO GRÃO DE SOJA .....	23
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	29
<b>3 ARTIGO 1 – CRESCIMENTO DE PLANTAS E RENDIMENTO DE GRÃOS EM CULTIVARES DE SOJA SOB DÉFICIT HÍDRICO</b> .....	38
3.1 RESUMO E ABSTRACT .....	38
3.2 INTRODUÇÃO .....	40
3.3 MATERIAL E MÉTODOS .....	43
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	47
3.4.1 Safras 2005/2006 e 2006/07 .....	47
3.4.2 Análise Conjunta das Safras 2005/06 e 2006/07 .....	59
3.5 CONCLUSÕES .....	67
3.6 REFERÊNCIAS .....	68
<b>4 ARTIGO 2 – NODULAÇÃO E FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO NITROGÊNIO EM CULTIVARES DE SOJA DÉFICIT HÍDRICO</b> .....	73
4.1 RESUMO E ABSTRACT .....	73
4.2 INTRODUÇÃO .....	75
4.3 MATERIAL E MÉTODOS .....	77
4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	80
4.5 CONCLUSÕES .....	85
4.6 REFERÊNCIAS .....	86

<b>5 ARTIGO 3 – ACÚMULO E RENDIMENTO DE PROTEÍNA E ÓLEO EM CULTIVARES DE SOJA DÉFICIT HÍDRICO .....</b>	<b>89</b>
5.1 RESUMO E ABSTRACT.....	89
5.2 INTRODUÇÃO.....	91
5.3 MATERIAL E MÉTODOS .....	93
5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	96
5.5 CONCLUSÕES... ..	102
5.6 REFERÊNCIAS.....	103
<b>6 CONSIDERAÇÕES GERAIS .....</b>	<b>106</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>107</b>
APÊNDICE A.....	108

## 1 INTRODUÇÃO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma cultura de grande interesse do agronegócio brasileiro na geração de divisas, incrementar as atividades da agroindústria, gerar recursos financeiros à cadeia produtiva, propiciar um dinâmico fluxo de bens e serviços, fomentar empregos, além de demandar suporte técnico-científico para aumentar a precisão na agricultura. A soja é uma cultura de grande interesse do agronegócio brasileiro na geração de divisas, por gerar recursos financeiros à cadeia produtiva, pelo incremento das atividades da agroindústria, propiciar um dinâmico fluxo de bens e serviços, fomentar empregos, além de demandar suporte técnico-científico para aumentar a precisão na agricultura. Esta leguminosa também tem forte participação no desenvolvimento de novos bioprodutos de origem vegetal, propiciando aos agricultores, ao ambiente, ao país e aos consumidores um grande número de alternativas rentáveis, com crescente disponibilidade de novos produtos derivados da soja.

O Brasil é o segundo maior produtor de grãos de soja, razão pela qual esta é uma das culturas de maior importância econômica para o País. Com produção de 57,16 milhões de toneladas de grãos na safra 2008/09 numa área de 21,74 milhões de hectares, a produtividade média da soja brasileira é de 2.629 kg ha<sup>-1</sup>, chegando a alcançar cerca de 3.082 kg ha<sup>-1</sup> no estado de Mato Grosso, o estado maior produtor (CONAB, 2009).

Esta oleaginosa também se destaca com maior área cultivada no mundo, sendo atualmente considerada, a principal fonte de proteína vegetal disponível. O elevado valor socioeconômico da soja é atribuído, principalmente, à combinação muito favorável de alto acúmulo de proteína (cerca de 40%) e de óleo (cerca de 20%), juntamente com níveis adequados de rendimento de grãos. Este acúmulo de proteína e óleo são importantes porque determinam o rendimento industrial, ou seja, o quanto pode ser produzido de óleo comestível e de farelo por tonelada de grãos processada e, também, o valor comercial dos produtos derivados.

O rendimento da cultura da soja depende do potencial genético das cultivares e de fatores que interferem no sistema de produção. Como a cultura da soja é semeada em todas as regiões do Brasil e, portanto, sob condições ambientais muito variáveis, está sujeita às variações climáticas sendo estas o principal fator de

risco e de insucesso no cultivo de soja. Neste aspecto, o déficit hídrico é o principal fenômeno gerador de prejuízos e de riscos para a cultura. Apesar de todo o progresso que a pesquisa tem alcançado com cultivares de maior potencial de rendimento, estresses causados pelo déficit hídrico durante estádios críticos, têm limitado o rendimento de grãos.

A maior sensibilidade da soja às deficiências hídricas, considerando o rendimento de grãos, é da sementeira à emergência, floração, formação de legumes e enchimento de grãos, e nesta escala, tende a aumentar à medida que a cultura avança no seu ciclo. Os efeitos da deficiência hídrica sobre o rendimento vão depender da intensidade, duração, ciclo da cultura, época de ocorrência e da interação com outros fatores determinantes da expressão do rendimento final. Quando o déficit hídrico ocorre nos primeiros estádios de desenvolvimento vegetativo, a soja recupera-se melhor do que outras culturas, já que pode tolerar curtos períodos de déficit, pois tem sistema radicular profundo e período de florescimento relativamente longo, dependendo do ciclo da cultivar.

A deficiência hídrica também pode causar mudanças no conteúdo de óleo e proteína dos grãos. Esta variação está diretamente relacionada ao genótipo, ao nível e a época da ocorrência do déficit hídrico. Devido ao elevado acúmulo de proteína dos grãos a soja apresenta grande demanda por nitrogênio (N). As necessidades de N pelas plantas de soja, em condições de campo, são supridas pela fixação biológica do nitrogênio (FBN). Neste processo, as bactérias simbiotes fixam o nitrogênio atmosférico ( $N_2$ ) e o disponibilizam para as plantas na forma de compostos nitrogenados.

A FBN é extremamente sensível à deficiência hídrica, sendo o primeiro processo a ser afetado, comprometendo a sobrevivência do *Bradyrhizobium*, a formação e a longevidade dos nódulos e a síntese de leghemoglobina. Os déficits mais severos podem levar à paralisação irreversível da FBN, reduzindo a atividade fotossintética da planta hospedeira, podendo influenciar negativamente no rendimento e na composição química dos grãos.

A melhoria do potencial produtivo das cultivares de soja é um dos principais objetivos de todos os programas de melhoramento genético conduzidos no país. No entanto, mudanças morfológicas, fisiológicas e de desenvolvimento de plantas, e as suas consequências no rendimento da cultura, apresentam bases moleculares e genéticas. Portanto, a caracterização de genótipos tolerantes ou

sensíveis à seca é um pré-requisito para seleção e manipulação genética. A identificação e a compreensão dos mecanismos de tolerância à seca em plantas são cruciais para o desenvolvimento de novas cultivares de soja mais tolerantes e também para subsidiar a indicação de cultivares que ofereçam menores riscos de perdas na produtividade, conforme as características climáticas de cada região produtora.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de cultivares de soja sob déficit hídrico.

A tese esta dividida em forma de artigos, a saber:

- Artigo 1: Crescimento de plantas e rendimento de grãos em cultivares de soja sob déficit hídrico;
- Artigo 2: Fixação biológica do nitrogênio em cultivares de soja sob déficit hídrico;
- Artigo 3: Acúmulo e rendimento de proteína e óleo em cultivares de soja convencional e transgênica sob déficit hídrico.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 PRODUÇÃO E IMPORTÂNCIA DA CULTURA DA SOJA

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma leguminosa originária das regiões central e norte da China. Segundo Probst e Judd (1973), já estavam disponíveis descrições sobre plantas de soja entre 3000 e 2000 anos a.C. e, a partir de 200 anos a.C., a soja foi introduzida na Coreia e no Japão, de acordo com relato de Hymowitz (1970). Nos Estados Unidos, a introdução da soja ocorreu a partir do ano de 1765 (HYMOWITZ; HARLAN, 1983).

No Brasil, durante muitas décadas, a soja foi cultivada com caráter experimental, sendo os primeiros registros de 1882, ocorridos no estado da Bahia (HASSE, 1996) e, a partir da década de 70 até os dias atuais, a cultura da soja apresentou notável expansão em nosso país, até os dias atuais, devido ao interesse crescente da indústria de óleo e a demanda do mercado internacional (BONATO; BONATO, 1987).

No Paraná, a soja foi introduzida no ano de 1939, na Estação Experimental de Curitiba (VERNETTI, 1983). Como cultura, foi levada pelos agricultores gaúchos que emigraram para o sudeste e, depois, para o oeste do Estado. Na região dos Campos Gerais sua produção cresceu à medida que passou a ocupar as áreas de arroz de sequeiro (KASTER et al., 1981). No norte e nordeste do Estado, a cultura surgiu como decorrência dos efeitos das geadas de 1953 e 1955, que destruíram os cafezais, levando os agricultores, primeiramente, ao cultivo de cereais, como cultura intercalar e, devido às dificuldades de transporte e comercialização dessa produção, ao cultivo da soja, cuja colocação era garantida, tanto no mercado interno como externo a preços compensadores (KASTER et al., 1981; SILVA, 1981; STOLF, 2005).

A soja é uma das leguminosas mais importantes do mundo e no cenário mundial o Brasil se destaca o segundo maior produtor deste grão, além de maior exportador mundial, razão pela qual esta é uma das culturas de maior importância econômica para o País (EMBRAPA, 2008).

A produção brasileira, na safra 2008/09, foi de 57,16 milhões de toneladas de grãos, em uma área cultivada de 21,74 milhões de hectares com uma produtividade média de 2.629 kg ha<sup>-1</sup>. Esta produtividade chega a alcançar cerca de 3.082 kg ha<sup>-1</sup> no Estado do Mato Grosso, o maior produtor brasileiro de soja (CONAB, 2009). Esta representatividade em produção eleva a cultura a destaque no agronegócio brasileiro, pela geração de divisas na cadeia produtiva e incremento das atividades da agroindústria, proporcionando um dinâmico fluxo de bens e serviços.

Estes ótimos resultados do agronegócio brasileiro da soja podem ser atribuídos ao sofisticado pacote tecnológico desenvolvido para o cultivo da soja no país, que é resultado dos esforços realizados por várias instituições de pesquisa. Neste sentido, um destaque especial deve ser dado ao notório sucesso dos programas de melhoramento de soja no Brasil, que pode ser verificado por meio de centenas de cultivares já disponibilizadas aos agricultores (KIIHL; CALVO, 2008).

A soja é produzida para atender à demanda humana e animal de proteína e óleo, sendo desejável que a alta produtividade de grãos seja também acompanhada de altas concentrações destes componentes, pois isso diminui o custo dos produtos derivados da soja (TANAKA et al., 1995).

A cultura está incluída entre as cinco principais fontes protéicas, sendo também fonte calórica (18 a 22% de óleo). Teores de proteína e óleo nos grãos de soja determinam seu valor comercial. O farelo de soja destinado à exportação é classificado em três categorias, de acordo com seu conteúdo de proteína: HyPro (>48%), Normal (46%) e LowPro (<43,5%). Para atingir o índice classificado como Normal e HyPro, a soja deve conter acima de 41,5 e 43% de proteína nos grãos, respectivamente, com base na matéria seca (MORAES, 2006).

A pesquisa genética brasileira tem exercido esforço para melhorar diversos aspectos agronômicos da soja. Foram estudadas características de planta que possibilitem adaptação ampla a ambientes muito diversos, tais como: período juvenil longo, hábito de crescimento e ciclo de maturação adequado, resistência a doenças e insetos pragas e fixação biológica de nitrogênio (TOLEDO et al., 1994; SPEHAR, 1995).

Além destas características estudadas, o rendimento da cultura da soja depende do potencial genético das cultivares e de fatores que interferem no sistema de produção. Neste caso, fatores abióticos podem atuar de forma isolada ou

em conjunto, limitando ou favorecendo o rendimento da cultura. Entre os fatores abióticos, a seca é uma das principais causas da variação na produtividade e afeta, praticamente, todos os aspectos de crescimento da planta. Alguns mecanismos, entretanto, permitem aos vegetais tolerar a falta de água, por meio de um conjunto de respostas morfológicas, fisiológicas, de desenvolvimento e moleculares (CASAGRANDE et al., 2001).

## 2.2 CARACTERÍSTICAS DO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA SOJA

O rendimento da cultura da soja depende do potencial genético das cultivares e de fatores que interferem na intensidade fotossintética da planta. O processo fotossintético depende da interceptação da luz e sua conversão em energia química, portanto, o índice de área foliar (IAF) pode ser considerado um parâmetro indicativo de produtividade (MÜLLER, 1981) e como método-padrão para se medir a produtividade biológica de uma cultura, permitindo o estudo de diferentes cultivares de uma determinada cultura em seu ambiente de produção (PEREIRA; MACHADO, 1987; GOMES, 2007). Segundo Koller et al. (1970) e Lucchesi (1987), a capacidade fotossintética de uma planta depende da interceptação da radiação solar que por sua vez se relaciona com o IAF. O aumento do IAF eleva o nível de interceptação da luz incidente, proporcionando um aumento de produção de biomassa. Contudo, esse benefício depende da eficiência de absorção e de conversão da radiação em fotoassimilados (SINCLAIR, 1993).

A soja tem um crescimento inicial lento, que dura até a queda dos cotilédones. Em seguida, o IAF normalmente aumenta linearmente até o final do florescimento, atingindo valores entre 5,0 e 8,0. O valor do IAF decresce situando-se entre 4,0 e 6,0 próximo a maturidade fisiológica, a partir da qual observa-se um rápido amarelecimento da parte aérea das plantas, seguido de abscisão foliar (KOLLER et al., 1970).

O rendimento de grãos de uma cultura depende de fatores genéticos, condições favoráveis de solo, clima e manejo (EVANS; FISCHER, 1999) e da quantidade de radiação solar interceptada pelo dossel (MELGES et al., 1989). Scott e Batchelor (1979) obtiveram maior taxa de crescimento da cultura no início do

estádio reprodutivo da soja. Os valores de taxa de crescimento relativo, taxa assimilatória líquida e razão de área foliar foram maiores no início do período vegetativo e decresceram com o decorrer do ciclo. Board e Harville (1996) verificaram que a maior taxa de crescimento da cultura ocorreu entre as fases fenológicas reprodutivas  $R_1$  e  $R_5$ , devido ao aumento no índice de área foliar. Constataram, também, que a maior interceptação da radiação luminosa foi no final do período vegetativo, favorecendo a taxa de produção de massa da matéria seca em etapa seguinte e, que a produtividade foi correlacionada com a taxa de crescimento da cultura.

A altura de plantas é um parâmetro de crescimento das culturas, e de acordo com Heiffig (2002), é obtida medindo a distância compreendida entre a superfície do solo e a extremidade apical da haste principal. Em experimento com cultivar de soja convencional Coodetec 205 de ciclo tardio, Kuss (2006) obteve altura de planta de 103,66, 109,03 e 112,60 cm para plantas não irrigadas, irrigadas durante todo o ciclo e plantas com irrigação apenas nos períodos críticos, respectivamente.

Em um estudo com diferentes cultivares de soja, Ibarra (1990) constatou acúmulo máximo de massa total no estágio  $R_7$ , envolvendo a parte vegetativa e reprodutiva, mesmo com acentuada perda de biomassa seca da parte vegetativa, devido à queda de folhas senescentes e à translocação dos nutrientes destas para os legumes e grãos.

A associação do acúmulo de matéria seca com a escala fenológica da cultura da soja, permite a melhor observação do desempenho da planta. Francisco (2002) avaliou o efeito da antecipação da adubação da cultura da soja no acúmulo de matéria seca. Segundo o autor a matéria seca das folhas apresenta acúmulo gradual, com ponto de máximo no estágio reprodutivo  $R_5$ , decaindo posteriormente, em função da queda acentuada das folhas ocorrida no final do ciclo, chegando a reduzir em 137% a sua massa em relação ao ponto de maior acúmulo. O caule atinge 48% de sua massa final no estágio  $R_2$ , atingindo o ponto de maior acúmulo no estágio  $R_5$ , com massa de  $220 \text{ mg m}^{-2}$ , mantendo certa estabilidade até o final do ciclo. As raízes também apresentaram ponto de maior acúmulo de matéria seca no estágio  $R_5$ , com massa de  $77 \text{ mg m}^{-2}$ , tendo ocorrido intenso ganho de massa nos estádios iniciais de desenvolvimento. Analisando raízes, Silvius et al.,

(1977), verificaram que a matéria seca total de raízes de soja bem supridas de água foi superior aquelas sob déficit hídricos.

### 2.3 NECESSIDADES HÍDRICAS DA CULTURA DA SOJA

O estresse é um desvio significativo das condições ótimas para a vida, e induz mudanças e respostas em todos os níveis funcionais do organismo, os quais são reversíveis a princípio, mas podem se tornar permanente (LARCHER, 2000), sendo um fator externo que exerce influência desvantajosa para a planta (TAIZ; ZEIGER, 2008).

Segundo Jones e Jones (1991), o estresse pode ser definido em sentido geral como uma pressão excessiva de algum fator adverso que apresenta a tendência de inibir o normal funcionamento dos sistemas nas plantas. Enquanto que Levitt (1981) sugeriu que o estresse biológico poderia ser definido como determinadas condições ambientais, que induzem a um organismo a entrar num estado de tensão, definindo à tensão como determinadas alterações no metabolismo e na fisiologia do organismo, que podem ou não causar injúria.

O estresse hídrico pode estar ocorrendo quando há excesso ou falta de água para a planta, sendo estes, fatores de diminuição da produção e, por isso, seu manejo é essencial para a maximização da produção agrícola (RAMOS, 2002).

Uma das principais causas das oscilações de produtividade das culturas no Brasil têm sido ocorrências de adversidades climáticas, que podem ocorrer em períodos críticos do seu ciclo de desenvolvimento (KUSS, 2008; CASAGRANDE et al., 2001). Neste contexto, o déficit hídrico é uma situação comum à produção de muitas culturas, podendo apresentar um impacto negativo substancial no crescimento e desenvolvimento das plantas (LECOEUR; SINCLAIR, 1996), sendo o principal fenômeno gerador de prejuízos e de riscos para a cultura da soja (FARIAS et al., 2001).

A água é a substância mais abundante dos tecidos vegetais, constitui aproximadamente 90% da massa da planta, atuando em, praticamente, todos os processos fisiológicos e bioquímicos. Desempenha a função de solvente, através do qual, gases, íons inorgânicos e orgânicos são transportados. Tem, ainda,

papel importante na manutenção e na distribuição do calor (EMBRAPA, 2008), pelo processo de transpiração.

No campo, deficiências hídricas, provocam alterações fisiológicas na planta, como o fechamento estomático e o enrolamento dos folíolos devido à desidratação dos tecidos. Este comportamento de redução da transpiração pode ter como consequência à queda prematura das folhas, de flores e legumes, resultando por fim, em redução no rendimento de grãos (NEUMAIER et al., 2000; EMBRAPA, 2008).

A abscisão de folhas, flores e legumes se dá devido ao aumento nos níveis de ácido abscísico e consequente produção de etileno. Durante períodos de estresse hídrico, há um aumento no nível de ácido abscísico, provocando o fechamento estomático para reduzir as perdas de água (LIANG; WONG, 1997; TAIZ; ZEIGER, 2008). O fechamento dos estômatos se dá pela perda de solutos das células-guarda que se desidratam. A perda de água das células do mesófilo para a atmosfera, através dos estômatos, provoca variação de potencial da água na planta, que é considerado o início do processo de desenvolvimento do estresse na planta por déficit hídrico segundo Ackerson e Krieg (1977).

O consumo de água das culturas é determinado, basicamente, pela demanda evaporativa da atmosfera, propriedades do solo e características das plantas (BERGAMASCHI, 1992). As perdas de água por evaporação e transpiração que ocorrem em uma cultura à campo, constituem a evapotranspiração, essencial para estimar a quantidade de água requerida para irrigação (PEREIRA et al., 1997). A evapotranspiração real acumulada de uma cultura depende da duração do seu ciclo de desenvolvimento, as características das plantas e condições atmosféricas, destacando-se a radiação solar, velocidade do vento, umidade relativa do ar e temperatura do ar (KUSS et al., 2008).

Há também características da comunidade de plantas que influenciam a evapotranspiração, como a influência da arquitetura foliar, da taxa de crescimento e cobertura do solo, da população de plantas, do espaçamento entre linhas, da orientação, da altura das plantas, da profundidade e densidade do sistema radicular e do estágio fenológico da cultura (SEDYAMA et al., 1998).

A produtividade das plantas, limitada pela água, depende da quantidade disponível deste recurso e da eficiência do seu uso. Caso a disponibilidade deste recurso na planta se altere, ou seja, sofra uma redução ou um

aumento do seu conteúdo, o qual venha afetar seu crescimento e desenvolvimento, o processo de estresse hídrico estará ocorrendo (TAIZ; ZEIGER, 2008).

A demanda total de água na cultura da soja, para obtenção do máximo rendimento, varia entre 450 a 800 mm ciclo<sup>-1</sup>, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do ciclo (EMBRAPA, 2008).

O déficit hídrico é definido segundo Taiz e Zeiger (2008) como todo conteúdo de água de um tecido ou célula que está abaixo do conteúdo de água exibido no estado de maior hidratação. Entretanto, o déficit hídrico pode ocorrer em duas situações: uma quando o solo não contém água disponível às plantas, ou seja, a taxa de evapotranspiração fica mais dependente das características físico-hídricas do solo do que da demanda atmosférica, também chamado de déficit hídrico no solo (PEREIRA et al., 1997); ou ainda quando o solo contém água disponível, mas a planta não é capaz de absorvê-la em velocidade e quantidade suficiente para atender à demanda atmosférica (JONES, 1992).

As necessidades hídricas das plantas variam de um período para outro, aumentando desde a emergência das plântulas, com valores muito baixos, até o ponto de máxima área foliar onde se observa a maior evapotranspiração. Berlato et al. (1986) determinando a evapotranspiração máxima da soja e as relações com a evapotranspiração calculada pela equação de Penman, evaporação do tanque classe A e a radiação solar global, encontraram que os maiores consumos de água pela soja ocorreram do início da floração ao início da fase de enchimento de grãos, com uma média de 7,5 mm dia<sup>-1</sup>. Os coeficientes de cultura (Kc), que relacionam a evapotranspiração máxima com variáveis meteorológicas, também apresentaram valores mais elevados, do início do florescimento ao início da fase de enchimento de grãos, coincidindo com a maior altura das plantas e máximos índices de área foliar.

Os efeitos da deficiência hídrica sobre o rendimento vão depender da intensidade, duração, época de ocorrência e da interação com outros fatores determinantes da expressão do rendimento final (QUEIROZ et al., 1996). Quando o déficit hídrico ocorre nos primeiros estádios de desenvolvimento vegetativo, a soja recupera-se melhor do que outras culturas, já que pode tolerar curtos períodos de déficit, pois tem sistema radicular profundo e período de florescimento relativamente longo, dependendo do ciclo da cultivar (FARIAS et al., 2001).

No caso da soja os dois períodos mais sensíveis à falta de água no solo são germinação-emergência e floração-enchimento de grãos, porque envolvem

diretamente a formação dos componentes do rendimento: número de plantas por área, número de legumes por planta, número de grãos por legume e massa média de grãos (CUNHA; BERGAMASCHI, 1992; NEUMAIER et al., 2000; CASAGRANDE, 2001; EMBRAPA, 2008). Nestes dois períodos o déficit hídrico poderia ter interferência direta nos componentes do rendimento, enquanto no restante do ciclo os efeitos são menos pronunciados, somente afetando indiretamente os componentes do rendimento (CUNHA; BERGAMASCHI, 1992). A sensibilidade da soja às deficiências hídricas, considerando o rendimento de grãos, tende a aumentar à medida que a cultura avança no seu ciclo (KRON et al., 2008), apresentando uma máxima sensibilidade durante o período reprodutivo, principalmente na formação de legumes e enchimento de grãos (KORTE et al., 1983).

Durante o período de germinação-emergência, tanto o excesso de água quanto o déficit são prejudiciais à obtenção de um bom estabelecimento do dossel vegetativo, em função da diminuição do estande de plantas (CASAGRANDE, 2001). Segundo Embrapa (2008), a semente de soja necessita absorver, no mínimo, 50% de umidade em relação à sua fitomassa seca para assegurar uma boa germinação. Nesta fase, a água no solo não deve exceder a 85% do total máximo de água disponível e nem ser inferior a 50%. Para Thomas e Costa (1994), a área foliar fotossinteticamente ativa das plantas é a parte mais sensível ao déficit hídrico e um dos fatores que afeta o rendimento das culturas. Na soja, em caso de déficit hídrico, a redução na expansão foliar e aceleração da senescência das folhas fisiologicamente mais velhas é uma tentativa da planta em reduzir o uso da água para uso em períodos posteriores.

Confalone e Dujmovich (1999) estudando a influência do déficit hídrico sobre a eficiência da radiação solar em soja, concluíram que o déficit hídrico produz efeito variado sobre o crescimento e produção de biomassa na cultura da soja, esta variação depende do momento de ocorrência e da severidade do estresse. Boerma e Ashley (1982) indicam que a sensibilidade da cultura é mínima durante a fase vegetativa a não ser que a severidade do déficit hídrico limite muito o porte da planta.

Do total de flores produzidas pela soja, 40 a 80% são abortadas naturalmente no florescimento e início da formação de legumes (HANSEN; SHIBLES, 1978). No entanto, a queda de legumes ocorre numa intensidade muito menor que o aborto de flores em função do estresse hídrico (DOMINGUEZ; HUME,

1978). Porém, apesar da soja ser uma planta que naturalmente aborta até 80% de suas flores, um déficit hídrico severo no período de florescimento e desenvolvimento dos legumes pode levar ao abortamento de flores além do normal e queda de legumes.

A disponibilidade adequada de água no florescimento, reduz o aborto de flores e abscisão de legumes e proporciona um incremento no potencial de rendimento de grãos por possibilitar um maior massa de grão e número de grãos por legume (MAEHLER et al., 2003). Foroud et al., (1993) verificaram que um estresse hídrico em R<sub>5</sub> reduziu as medidas das características avaliadas na soja e foi mais crítico que o estresse em R<sub>2</sub>. Rambo et al. (2004), avaliando o potencial de rendimento da soja em três extratos do dossel da soja em função da modificação do arranjo de plantas, em dois regimes hídricos, concluíram que a disponibilidade hídrica adequada, mesmo no final do ciclo, reduz a perda de potencial de rendimento em soja.

O déficit hídrico durante a fase de crescimento vegetativo, se mostra menos importante que durante os períodos de florescimento, formação de legumes e enchimento de grãos (KORTE et al., 1983; QUEIROZ et al., 1998; FARIAS et al. 2001). A falta de água durante o enchimento de grãos reduz o tamanho e a massa de grãos, devido à diminuição do suprimento de fotoassimilados produzidos pela planta e/ou inibição do metabolismo do próprio grão (SALINAS et al., 1996).

#### 2.4 FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO NITROGÊNIO (FBN), O DÉFICIT HÍDRICO E A COMPOSIÇÃO DOS GRÃOS DE SOJA

O nitrogênio é o nutriente requerido em maior quantidade pela cultura da soja, pois os grãos são ricos em proteína, apresentando um acúmulo médio de 6,5% de N. Desse modo, para produzir 1000 kg de grãos de soja são necessários 65 kg de N, sendo que adicionando-se mais 15 kg de N para as folhas, caule e raízes tem-se 80 kg de N. Conseqüentemente, para obtenção de produtividades de grãos de 3000 kg ha<sup>-1</sup> são necessários 240 kg de N, dos quais 195 kg são retirados da lavoura pelos grãos (HUNGRIA et al., 2001).

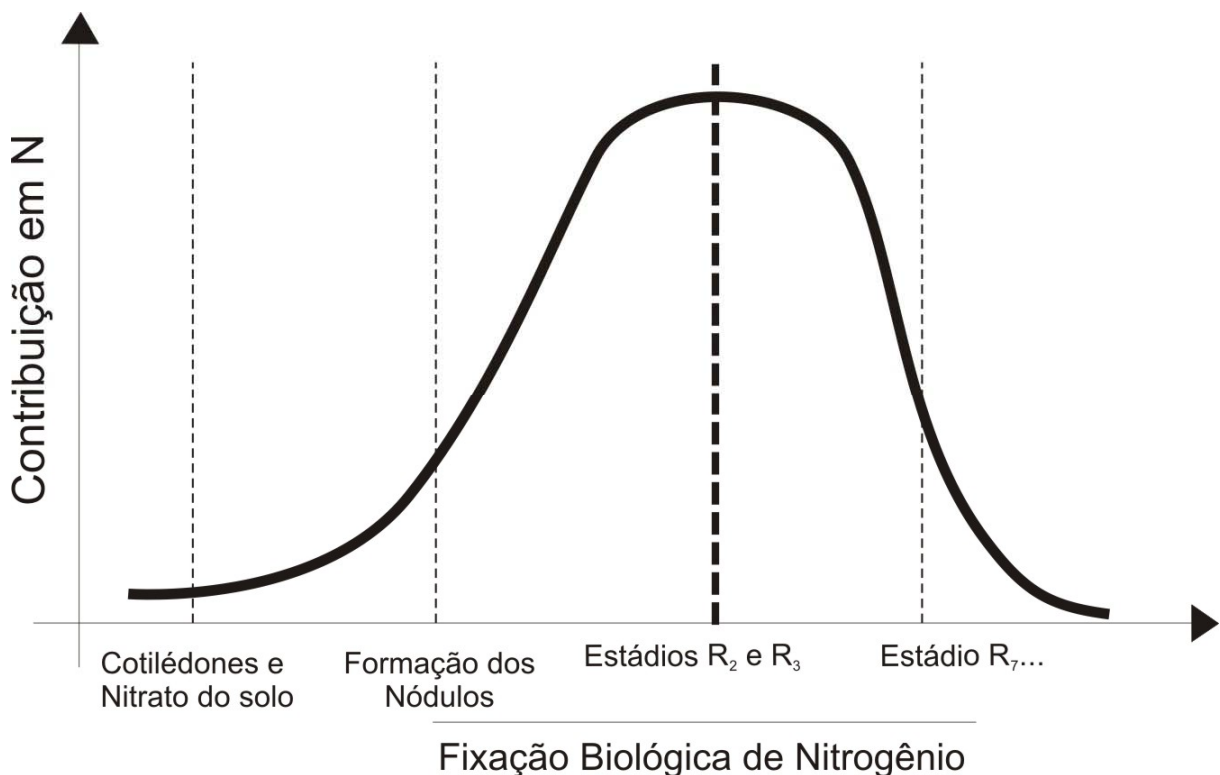
As principais fontes de N disponíveis para as plantas de soja, em condições de campo, são os fertilizantes nitrogenados e a fixação biológica de nitrogênio (FBN). No Brasil, a FBN é um dos exemplos de maior sucesso, uma vez que a utilização de inoculantes com *Bradyrhizobium* possibilita uma economia anual aproximada de US\$ 3 bilhões em fertilizantes nitrogenados (FAGAN et al., 2007). A simbiose, que ocorre entre esta leguminosa e as bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, resulta na formação de nódulos nas raízes da planta, possibilitando a obtenção de todo o N que a cultura necessita, mesmo com expectativa de alta produtividade de grãos (EMBRAPA, 2005, ZILLI et al., 2006).

O comprometimento da FBN para que o N seja suprido em quantidade necessária, pode ser decorrente de vários fatores, dentre eles, o fornecimento ou a falta de umidade superficial do solo aliado a temperaturas elevadas, se destaca entre os fatores limitantes (CATTELAN; HUNGRIA, 1994). A fase mais crítica para o estabelecimento da fixação é logo após a semeadura, pois o solo permanece descoberto e, desta forma, nos períodos mais quentes do dia, pode atingir altas temperaturas nos primeiros 5cm de profundidade, o que poderá prejudicar a sobrevivência da bactéria e a associação simbiótica (HUNGRIA et al., 2007), principalmente em áreas submetidas ao preparo convencional do solo.

Tem sido largamente documentado que a FBN em soja é extremamente sensível ao déficit hídrico sendo o primeiro processo a ser prejudicado, antes mesmo de afetar a fotossíntese, portanto, diminui a síntese protéica antes da produção de massa seca (SINCLAIR et al., 1987).

De forma direta, compromete a sobrevivência do *Bradyrhizobium*, a formação e a longevidade dos nódulos, a síntese de leghemoglobina, responsável pela coloração interna rósea típica de nódulos ativos e cuja função é transportar o oxigênio. Além disso, o estresse mais severo pode levar à paralisação irreversível da fixação (SERRAJ et al., 1999; HUNGRIA; VARGAS, 2000). A deficiência hídrica provoca redução da permeabilidade dos nódulos aos gases limitando o acesso de oxigênio para a respiração e conseqüentemente a fixação do N<sub>2</sub>. A disponibilidade hídrica adequada também é essencial para a importação de fotoassimilados e exportação dos compostos nitrogenados, que podem causar a desnaturação da nitrogenase quando se acumulam nos nódulos (HUNGRIA; VARGAS, 2000; SANTOS, 2006).

As máximas taxas de fixação de nitrogênio ocorrem no final do florescimento e durante o enchimento de grãos (Figura 1). O nitrogênio assimilado entre o desenvolvimento do legume (estádio  $R_3$ ) e o começo da maturação (estádio  $R_7$ ) é a fonte predominante de nitrogênio para o grão (WAREMBOURG; FERNANDEZ, 1985; ZAPATA et al., 1987). No entanto, as consequências da falta de água durante o enchimento de grãos, reduzindo o tamanho e a massa de grãos (SALINAS et al., 1996), também é reflexo do comprometimento da FBN nesta fase da cultura.



**Figura 1** – Fontes de nitrogênio e suas contribuições no desenvolvimento da planta de soja. Adaptado de Zapata et al., (1987).

Em estudos realizados com aplicação de nitrogênio em soja nodulada e não-nodulada, na premissa de que naqueles genótipos não-nodulados haveria maior eficiência na utilização de N pela planta devido à economia na energia despendida na manutenção de um sistema nodular, verificou-se, que não houve produção superior nas plantas não-noduladas em relação às noduladas em nenhuma das doses de nitrogênio aplicadas (WEBER, 1966). Este autor relatou que, em linhagens isogênicas noduladas, sempre houve maior produtividade de grãos do

que nas não noduladas, utilizando-se a mesma quantidade de fertilizante. O autor sugere que o nitrogênio simbiótico seria uma fonte mais aproveitável de N do que aquele proveniente de fertilizante, ainda que a necessidade de energia para a simbiose e a redução do N fixado fossem menores do que aquela requerida para a absorção de nitrato e sua subsequente redução e assimilação pela linhagem isogênica não nodulada.

Também há controvérsia sobre a necessidade de suplementação de N em soja no período final da formação de grãos (R<sub>5</sub>, R<sub>6</sub> ou R<sub>7</sub>) devido à diminuição da atividade simbiótica durante o enchimento dos legumes. Cabe salientar que o nitrato do solo é antagonista à fixação biológica do nitrogênio, pois mantém os nódulos em formação e interfere na fixação dos nódulos existentes. Um fator complicador desse quadro é que a fixação biológica do nitrogênio começa a declinar durante a fase de enchimento de grãos. Então, o crescimento do grão fica fortemente dependente da remobilização do nitrogênio dos tecidos vegetais, principalmente das folhas. A perda de nitrogênio pelas folhas faz com que estas reduzam sua capacidade fotossintética, o que finalmente levaria a planta à senescência e morte (PÍPOLO et al., 2004b). Em função dessa sequência de eventos, Sinclair e Wit (1975) classificam a soja como sendo autodestrutiva.

A composição do grão em relação à proteína e óleo tem controle genético quantitativo e sofre grande influência do meio ambiente (WILCOX, 1985; BURTON, 1989). A inversa e consistente relação entre produtividade de grãos e concentração de proteína, assim como a correlação negativa entre concentração de proteína e óleo nos grãos de soja (PÍPOLO et al., 2004a; PÍPOLO et al., 2004b; SANTOS, 2006), constituem barreiras para aumentar o acúmulo de proteína e óleo das linhagens comerciais (BURTON, 1985). Levando em consideração as adversidades ambientais onde a soja é cultivada no Brasil, Pípolo et al. (2004a) estudou os efeitos da temperatura sobre as concentrações de proteína e óleo nos grãos de soja e verificou que as concentrações de proteína e óleo e a taxa de acúmulo de massa seca do grão não apresentavam diferenças significativas quando a temperatura variava entre 21 e 29°C, em grãos submetidos ao desenvolvimento *in vitro*, a partir do estágio R<sub>5</sub>, durante oito dias. Esse mesmo autor também constatou que as maiores diferenças na concentração de proteína obtidas a campo, dentro de um mesmo local, foram melhor explicadas pela distribuição de chuvas durante o período de enchimento de grãos.

Hayati et. al., (1996) sugerem que mudanças na disponibilidade de nitrogênio para os grãos, induzidas pelo meio ambiente, pode ser o mecanismo que explica as variações na concentração de nitrogênio no grão em condições de campo. As mudanças da disponibilidade de nitrogênio para os grãos podem estar relacionadas diretamente com a fixação biológica do nitrogênio.

Streeter (1978) estudou o efeito da deficiência de N em plantas de soja em vários estádios de crescimento sobre a produtividade de grãos e sobre a concentração deste elemento em partes da planta na maturidade. No cultivo *in vitro*, o N foi retirado aos 65, 76 e 87 dias depois da semeadura. O mais curto período de estresse de N resultou em decréscimo de sua concentração e da massa individual do grão. Períodos mais longos de estresse de N causaram redução do número de legume e de grãos, assim como, redução na massa e de concentração de N.

Burton (1994) estudou a influência do incremento da fotossíntese, pelo aumento da intercepção de luz sobre a concentração de proteína no grão de soja. Para aumentar a intercepção de luz no estágio R<sub>5</sub>, a linha central de uma parcela de três linhas foi cortada ou foram cortadas as duas laterais. Ambos tratamentos resultaram em significativo aumento na produtividade de grãos e na concentração de proteína do grão. A concentração de óleo decresceu em quase todas as linhas, porém não de forma significativa. O autor concluiu que a relação negativa entre a produtividade de grãos e a concentração de proteína nos grãos não ocorre devido a um inerente antagonismo fisiológico entre as duas características e que o melhoramento de soja, visando o aumento da fotossíntese e/ou a FBN, pode aumentar a produtividade de grãos e a concentração de proteína nos grãos.

Paek et al. (1997) estudaram em casa de vegetação as mudanças na concentração de proteínas nos grãos devido ao suprimento de N e concluíram que a soja tem a capacidade de aumentar a concentração de proteína no grão quando mais N é disponibilizado para o grão.

Hayati et al. (1995) avaliaram a relação entre a demanda de N pelo grão e a senescência das folhas. As plantas de soja cresceram sob a sombra de R<sub>1</sub> até R<sub>5</sub>, então, a sombra foi removida com o objetivo de aumentar a fotossíntese e o acúmulo de matéria seca e N no grão. Os experimentos incluíram tratamentos com plantas com nodulação e sem nodulação e em sistema hidropônico. O aumento da fotossíntese no estágio R<sub>5</sub>, quando N estava disponível para as plantas, aumentou seu acúmulo nos grãos em direta proporção com a massa seca, resultando em sua

constante concentração. Onde o N não estava disponível para a planta, a retirada da sombra não aumentou seu acúmulo, então, o aumento da massa seca dos grãos causou decréscimo na sua concentração.

Nakasathien et al. (2000) avaliaram o efeito do suprimento de dose extra de N sob a concentração de proteína no grão de soja *in vivo*, e verificaram que o aumento da disponibilidade de N aumentou a concentração de proteína nas linhagens com alto teor protéico, mas este aumento resultou em decréscimo de produtividade de grãos. Santos (2006) também chegou a resultados semelhantes quando testou a hipótese de que a característica de alta concentração de proteína no grão é regulada pelo suprimento de N para os grãos em desenvolvimento e avaliou o efeito do suprimento de altas doses de N (glutamina) sob a concentração de proteína no grão de soja de cultivares contrastantes, com parte do desenvolvimento *in vitro* comparando com os grãos que continuaram o desenvolvimento *in vivo*. Com o aumento na concentração de glutamina o conteúdo protéico no grão aumentou e, mesmo não apresentando as mesmas concentrações, a cultivar de baixo teor apresentou maior acréscimo. Estes estudos sugerem que linhagens com concentração normal de proteína no grão têm a capacidade bioquímica de sintetizar mais proteína quando o substrato está disponível e, que a concentração de proteína é regulada pela disponibilidade de N para os grãos em desenvolvimento, além da característica genética dão grão influenciar na concentração de proteína no mesmo.

## REFERÊNCIAS

ACKERSON, R.C.; KRIEG, D.R. Stomatal and nonstomatal regulation of water use in cotton, corn and sorghum. **Planty Physiology**, v.60, p.850-853, 1977.

BERGAMASCHI, H. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Ed. Da UFRGS, 1992. 125p.

BERLATO, M. A.; MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H. Evapotranspiração máxima da soja e relações com a evapotranspiração calculada pela equação de Penman, evaporação do tanque classe A e radiação solar global. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v.22, n.2, p.243-259, 1986.

BOARD, J. E.; HARVILLE, B. G. Growth dynamics during the vegetative period affects yield of narrow-row, late-planted soybean. **Agronomy Journal**, v. 88, p. 567-572, 1996.

BOERMA, H. R.; ASHLEY, D. A. Irrigation, row spacing, and genotype effects on late and ultralate planted soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v. 74, n. 6, p. 995-999, 1982.

BONATO, E.R.; BONATO, A.L.V. A soja no Brasil: história e estatística. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1987. 61p. (EMBRAPA-CNPSo. Documentos, 21).

BURTON, J.W. Breeding soybean cultivars for increase seed protein percentage. In: CONFERENCIA MUNDIAL DE INVEstigACION EN SOJA, 4., 1989. Buenos Aires. **Proceedings...** Buenos Aires: AASoja, 1989, v.2, p. 1079-1085.

BURTON, J.W. Breeding soybean for improved protein quantity and quality. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 3. 1985. Boulder. **Proceedings...** Boulder: Westview Press, 1985. p. 361-367.

BURTON, J.W. Effects of increase light on soybean seed yield and protein concentration. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 5. 1994. Chiang Mai. **Proceedings...** Chiang Mai: Kasetsart University Press, 1994. p. 362-366.

CASAGRANDE, E.C.; FARIAS, J.R.B.; NEUMAIER, N.; OYA, T.; PEDROSO, J.; MARTINS, P.K. BRETON, M.C.; NEPOMUCENO, A.L. Expressão gênica diferencial durante déficit hídrico em soja. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**. Lavras, v. 13, n. 2, p. 168-184, 2001.

CATTELAN, A.J.; HUNGRIA, M. Nitrogen nutrition and inoculation. In FAO (Ed.), **Tropical soybean improvement and production**. Rome: FAO.1994, p. 201-215.

CONFALONE, A.; DUJMOVICH, M. N. Influência do déficit hídrico sobre o desenvolvimento e rendimento da soja. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 7, n. 2, p. 183-187, 1999.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Disponível em: [www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/12graos\\_08.09.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/12graos_08.09.pdf). Acesso em 14 out. 2009.

CUNHA, G.R.; BERGAMASCHI, H. Efeitos da disponibilidade hídrica sobre o rendimento das culturas. In: BERGAMASCHI et al. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 1992. cap.6, p.85-97.

DOMINGUEZ, C.; HUME, D. J. Flowering, abortion and yield of early maturing soybean at three densities. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, n. 5, p. 801-805, 1978.

EMBRAPA. **Tecnologia de produção de soja – região central do Brasil 2005**. Londrina, Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste: Fundação Meridional, 2004. 239p.

EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de Produção de soja - Região Central do Brasil 2009 e 2010**. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 13). Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/download/Tecnol2009.pdf>. Acesso em: 7 out. 2009.

EVANS, L.T.; FISCHER, R.A. Yield potential: its definition, measurement, and significance. **Crop Science**, Madison, v.39, p.1544-1551, 1999.

FAGAN, E.B.; MEDEIROS, S.L.P.; MANFRON, P.A.; CASSOROLI, D.; SIMON, J.; DOURADO NETO, D.; VAN LIER, Q.J.; SANTOS, O.S.; MÜLLER, L. Fisiologia da fixação biológica de nitrogênio em soja – revisão. *Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia*, v. 14, p. 89-106. 2007.

FARIAS, J.R.B.; ASSAD, E.D.; ALMEIDA, I.R.; EVANGELISTA, B.A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. Caracterização de risco climático nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.2, 2001.

FOROUD, N.; MÜNDEL, H.H.; SAINDON, G.; ENTZ, T. Effect of level and timing of moisture stress on soybean plant development and yield components. **Irrigation Science**, v.13, n.4, p.149-155. 1993.

FRANCISCO, E.A.B. **Antecipação da adubação da soja na cultura de *Eleusine coracana* (L.) Gaertn., em sistema de plantio direto**. 2002. 58 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

GOMES, A.C.S. **Efeito de diferentes estratégias de irrigação sob a cultura da soja (*glycine max* (L.) merrill) na região de Santiago, RS**. 2007. 133 P. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

HANSEN, W. R.; SHIBLES, R. Seasonal log of the flowering and podding activity of field-grown soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v. 70, n. 1, p. 47-50, 1978.

HAYATI, R.; EGLI, D.B.; CRAFTS-BRANDNER, S.J. Carbon and nitrogen supply during seed filling and leaf senescence in soybean. **Crop Science**, v.35, p. 1063-1069, 1995.

HAYATI, R.; EGLI, D.B.; CRAFTS-BRANDNER, S.J. Independence of nitrogen supply and seed growth in soybean: studies using an *in vitro* culture system. **Journal of Experimental Botany**, v.47, p. 33-44, 1996.

HEIFFIG, L.S. **Plasticidade da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em diferentes arranjos espaciais**. 2002. 85 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I. C.; **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja**: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 80 p. (Embrapa Soja. Documentos, 283).

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I.C. **Fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja**. Londrina, PR: Embrapa, CNPSo, 2001. 48p. (EMBRAPA CNPSo. Circular Técnica, 35).

HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T. Environmental factors impacting N<sub>2</sub> fixation in legumes grown in the tropics, with an emphasis on Brazil. **Field Crops Research**, v. 65, p. 151-164, 2000.

HYMOWITZ, T. On the domestication of soybean. **Economic Botany**, Lawrence, v. 24, p. 408-421, 1970.

HYMOWITZ, T.; HARLAN, J.R. Introduction of soybean to north America by Samuel Brown in 1765. **Economic Botany**, v. 37, p. 371-379, 1983.

IBARRA, T. L. **Eficiência de absorção e utilização de N, P e K, em quatro variedades de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em solo de cerrado**. 1990. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1990.

JONES, H. G. **Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology**. 2.ed. New York: Cambridge, 1992. 428p.

JONES, H.G., JONES, M.B. **Introduction: some terminology and common mechanisms**. In JONES, H.G.; FLOWERS, M.; JONES, M.B. *Plants under stress*. Cambridge press. 1991.

KASTER, M.; QUEIROZ, E. F. DE; TERASAWA, F. II- Introdução da soja no Brasil. 4-No Estado do Paraná. In: MIYASAKA, S. EMEDINA, J. C. (eds) **A soja no Brasil**. Instituto de Tecnologia de Alimentos- ITAL, Seção de Divulgação, 1ª ed. p. 22-24, 1981.

KIIHL, R.A.S.; CALVO, E.S. A soja no Brasil: mais de 100 anos de história, quatro décadas de sucesso. In: Ana Christina Sagebin Albuquerque; Aliomar Gabriel da Silva. (Org.). *Agricultura Tropical Quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas*. 1 ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008, v. 1, p. 199-218.

KOLLER, H.R.; NYQUIST, W.E.; CHORUSH, I.S. Growth Analysis of the Soybean Community. **Crop Science**, v. 10, p. 407-412, 1970.

KORTE, L. L.; WILLIAMS, J. H.; SPECHT, J. E.; SORENSEN, R. C. Irrigation of soybean genotypes during reproductive ontogeny I: agronomic responses. **Crop Science**, Madison, v. 23, n. 3, p. 521-527, 1983.

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

KUSS, R.C.R. **Populações de plantas e estratégias de irrigação na cultura da soja**. Santa Maria, UFSM, 2006. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

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.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.

LECOEUR, J.; SINCLAIR, R.T. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits. **Crop Science**, Madison, v.36, p.331-335, 1996.

LEVITT, J. Stress and strain terminology. In LEVITT, J **Chilling, freezing and high temperature stress**. vol. 1. Academic press. 1981. Chapter 1. p. 3-10.

LIANG, J.; ZHANG, J. & WONG, M.H. Can stomatal closure caused by xilem ABA explain the inhibition of leaf photosynthesis under soil drying? **Photosynthesis Research**, The Hague, v.51, p. 149-159, 1997.

LUCCHESI, A.A. Fatores da produção vegetal. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987, p. 1-12.

MAEHLER, A.R.; PIRES, J.L.F.; COSTA, J.A.; FERREIRA, F.G. Potencial de rendimento da soja durante a ontogenia em razão da irrigação e arranjo de plantas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.225-231, 2003.

MELGES, E. MELGES, E.; LOPES, N.F.; OLIVA, M.A. Crescimento, produção de matéria seca e produtividade da soja submetida a quatro níveis de radiação solar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.9, n.6, p.1073-1080, 1989.

MORAES, R.M.A.; JOSÉ, I.C., RAMOS, F.G.; BARROS, E.G. MOREIRA, M.A. Caracterização bioquímica de linhagens de soja com alto teor de proteína. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.5, p.725-729, 2006.

MÜLLER, L. Fisiologia. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. **A soja no Brasil**. 1.ed. São Paulo: ITAL, 1981. cap.4, p.109-174.

NAKASATHIEN, S.; ISRAEL, D.W.; WILSON, R.F.; KWANYUEN, P. Regulation of seed protein concentration in soybean by supra-optimal nitrogen supply. **Crop Science**, v.40, p. 1277-1284, 2000.

NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L.; FARIAS, J.R.B. Estresses de ordem ecofisiológica. In: BONATO, E.R. **Estresses em soja**. Passo Fundo: EMBRAPA Trigo, 2000. 254p.

PAEK, N.C.; INSANDE, J.; SHOEMAKER, R.C.; SHIBLES, R. Nutritional control of soybean seed storage protein. **Crop Science**, v.37, p. 489-503, 1997.

PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidade de vegetais**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1987. 33p. (Boletim técnico, 114).

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDYAMA, G.C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (FEALQ), 1997. 183p.

PÍPOLO, A.E.; SINCLAIR, T.R.; CAMARA, G. M. S. Effects of temperature on oil and protein concentration in soybean seeds cultured *in vitro*. **Annals of Applied Biology**, v. 144, p. 71-76, 2004a.

PÍPOLO, A.E.; SINCLAIR, T.R.; CAMARA, G.M.S. Protein and oil concentration of soybean seed cultured *in vitro* using nutrient solutions of differing glutamine concentration. **Annals of Applied Biology**, v. 144, p. 223-227, 2004b.

PROBST, A H.; JUDD, R W. Origin, US History, development and world distribution. In: CALDWELL, B.E. (Ed.) **Soybeans: improvent, production and uses**. Madison: American Society of Agronomy, 1973. p. 1-19.

QUEIROZ, E.F. MOLION, L. C. B.; MINOR, H. C.; NEUMAIER, N. Um modelo matemático de quantificação do efeito da disponibilidade hídrica em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.31, n.10, p.683-690, out. 1996.

QUEIROZ, E.F.; GAUDÊNCIO, C.A.; GARCIA, A.; TORRES, E.; OLIVEIRA, M.C.N. Efeito de época de plantio sobre o rendimento da soja, na Região Norte do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.9, p.1461-1474, set. 1998.

RAMBO, L. COSTA, J.A.; PIRES, J.L.F.; PARCIANELLO, G.; FERREIRA, F.G. Estimativa do potencial de rendimento por estrato do dossel da soja, em diferentes arranjos de plantas. **Ciência Rural**, v.34, n.1, p.33-40. 2004.

RAMOS, A. **Análise do desenvolvimento vegetativo e produtividade da palmeira popunha (*Bactris gasipaes* Kunth) sob níveis de irrigação e adubação nitrogenada**. 2002. 126f. Tese (Doutorado), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SALINAS, A.P.R.; ZELENER, N.; CRAVIOTTO, R.M.; BISARO, Z. Respuestas fisiologicas que caracterizam el comportamiento de diferentes cultivares de soja a la diferencia hídrica en el suelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.5, p.331-338, 1996.

SANTOS, E. L. **Influência do genótipo sobre as concentrações de proteína e óleo em sementes de soja [*Glycine max* (L.) Merrill]**. 2006. 53 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR.

SCOTT, H. D.; BATCHELOR, J. T. Dry weight an leaf area production rates of irrigated determinate soybeans. **Agronomy Journal**, v. 71, p. 776-782, 1979.

SEDYAMA, G.C; RIBEIRO, A.; LEAL, B.G. Relação clima-água-plantas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27. 1998, Lavras. **Manejo da irrigação**. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p.47-53.

SERRAJ, R.; SINCLAIR, T.R.; PURCELL, L.C. Symbiotic N<sub>2</sub> fixation response to drought. **Journal of Experimental Botany**, v. 50, p. 143-155, 1999.

SILVA, J. G. da. II- Introdução e evolução da soja no Brasil. In: MIYASAKA, S. E. MEDINA, J. C. (eds) **A soja no Brasil**. Instituto de Tecnologia de Alimentos- ITAL, Seção de Divulgação, 1ª ed. p.26-9, 1981.

SILVIUS, J.E.; JOHNSON, R.R.; PETERS, D.B. Effect of water stress on carbon assimilation and distribution in soybean plants at different stages of development. **Crop Science**, v. 17, n. 5, p. 713-716, 1977.

SINCLAIR, T.R. Crop yield potential and fairy tales. In: BUXTON, D.R. et al. (Ed). **International Crop Science I**. Crop Science Society of America, 1993. Cap.52, p.707-711.

SINCLAIR, T.R.; MUCHOW, R.C.; BENNETT, J.M.; HAMMOND, L.C. Relative Sensitivity of Nitrogen and Biomass Accumulation to Drought in Field-Grown Soybean. **Agronomy Journal**, v 79, p. 986-981, 1987.

SINCLAIR, T.R.; WIT, C.T. de. Photosynthate and nitrogen requirements for seed production by various crops. **Science**, v. 18, p. 565-567, 1975.

SPEHAR, C.R. Impact of strategic genes in the soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] on agricultural development in the Brazilian Tropical Savannahs. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.41, p.141-146, 1995.

STOLF, R. **Avaliações morfo-anatômicas, ecofisiológicas e expressão gênica diferencial em duas cultivares de soja [*glycine max* (L.) merrill], durante períodos de déficit hídrico**. 2005. 175 P. Dissertação (Mestrado em Genética e Biologia Molecular) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR.

STREETER, J.G. Effect of N starvation of soybean plants at various stages of growth on seed yield and N concentration of parts at maturity. **Agronomy Journal**, v.70, p.74-76, 1978.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. (Ed.) **Fisiologia vegetal**. 4a. ed. Porto Alegre: Artmed, 2008. 820p.

TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; REGITANOD'ARCE, M.A.B.; GALLO, P.B. Concentração e produtividade de proteína e óleo de soja em função da adubação potássica e da calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.4, p.463-469, 1995.

THOMAS, A.L.; COSTA, J.A. Influência do déficit hídrico sobre o desenvolvimento e rendimento da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.9, p.1389-1396, 1994.

TOLEDO, J.F.F.; ALMEIDA, L.A.; KIIHL, R.A.S.; PANIZZI, M.C.; KASTER, M.; MIRANDA, L.C.; MENOSSO, O.G. Genetics and breeding. In: EMBRAPA-CNPSo. (Ed.). **Tropical soybean: improvement and production**. Rome: FAO, 1994. p.19-36.

VERNETTI, F. J. (coord) **Soja- Planta, Clima, Pragas Moléstias e Invasoras**. Vol 1, Campinas, Fundação Cargil, 1983.

WAREMBOURG, F.R.; FERNADEZ, M.P. Distribution and remobilization of symbiotically fixed nitrogen in soybean (*Glycine max*). **Physiologia Plantarum**, v.65, p. 281-286, 1985.

WEBER, C.R. **Nodulation and non-nodulation soybeans isolines**. I Agronomic and chemical attributes. **Agronomy Journal**, Madison, v.58, p.43-46, 1966.

WILCOX, J.R. Breeding soybeans for improved oil quantity and quality. in: World Soybean Research Conference, 3, Boulder, 1985. **Proceeding**. Boulder: Westview Press, 1985. P.380-386.

ZAPATA, F.; DANSO, S.K.A.; HARDARSON, G.; FRIED, M. Time course of nitrogen fixation in field-grown soybean using nitrogen-15 methodology. **Agronomy journal**, v.79, p. 172-176, 1987.

ZILLI, J.E.; MARSON, L.C.; CAMPO, R.J.; GIANLUPPI, V.; HUNGRIA, M.; SMIDERLE, O.J. **Avaliação da fixação biológica de nitrogênio na soja em áreas de primeiro cultivo no cerrado de Roraima**. Embrapa Roraima, 2006. 9p. (Embrapa Roraima. Comunicado Técnico, 20).

### 3. ARTIGO 1. CRESCIMENTO DE PLANTAS E RENDIMENTO DE GRÃOS EM CULTIVARES DE SOJA SOB DÉFICIT HÍDRICO

#### 3.1. Resumo

A soja é uma das mais importantes culturas do mundo na produção de grãos. Neste cenário, o Brasil se destaca como o segundo maior produtor mundial de soja. Como a cultura da soja é semeada em todas as regiões do Brasil e, portanto, sob condições ambientais muito distintas, está sujeita a variações climáticas, sendo estas o principal fator de risco e de insucesso no cultivo da oleaginosa. Neste aspecto, a seca é o principal fenômeno gerador de prejuízos e de riscos para a cultura. O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento de plantas e o rendimento de grãos em cultivares de soja sob déficit hídrico. Os experimentos foram conduzidos no campo experimental da Embrapa Soja, em Londrina-PR. As semeaduras dos experimentos foram realizadas manualmente com revolvimento do solo somente nas linhas e com delineamento experimental em blocos ao acaso em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas principais foram aplicados três disponibilidades hídrica (1 – Déficit hídrico nos estádios reprodutivos - DHER, 2 – condições normais de campo - CNC e 3 – irrigado - IRR), enquanto as subparcelas receberam as 10 cultivares de soja (BR 16, Embrapa 48, BRS 133, BRS 134, BRS 245 RR, BRS 247 RR, BRS 183, BRS 184, BRS 214, and BRS 232). Para análise de crescimento e rendimento de grãos, foram utilizados dados das safras 2005/06 e 2006/07. As variáveis analisadas foram: rendimento de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e massa de 100 grãos (g), em CNC e IRR, foram estimados pela amostragem em três linhas de cinco metros, por unidade experimental, o que corresponde a uma área de  $7,5\text{m}^2$ , e, em DHER, pela amostragem em uma linha de dois metros, por unidade experimental, o que corresponde à área de  $1\text{m}^2$ ; área foliar (AF), determinada por meio de um *Area Meter*, LI-3100 em cinco plantas, e o índice de área foliar (IAF) calculado pela relação funcional existente entre a área foliar (AF) e a área do terreno ocupada pelas plantas, nos estádios  $V_7$ ,  $R_2$ ,  $R_4$  e  $R_6$ ; taxa fotossintética ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), determinada através de um medidor portátil de fotossíntese (*Photosynthesis System*, LI-Cor, Inc., modelo LI-6200), no folíolo mediano do 3º trifólio, completamente expandido, nos estádios  $V_7$  e  $R_4$ ; número de legumes por planta, média de cinco plantas por parcela (estádio  $R_8$ ) e altura de planta (cm), média de cinco plantas por parcela, medida no estádio  $V_7$  e na colheita (estádio  $R_8$ ). Em condições de déficit hídrico, houve o comprometimento do crescimento das cultivares de soja, redução do IAF e da taxa fotossintética, prejudicando o rendimento de grãos da cultura. Entre as cultivares houve respostas diferenciadas, sendo a BRS 184 com maior rendimento a mais tolerante, e, a BR 16 com menor rendimento, a mais sensível ao déficit hídrico. O IAF se correlacionou com a taxa fotossintética, massa e rendimento de grãos, mostrando ser uma resposta das plantas ao déficit hídrico e um indicativo de rendimento.

**Palavras-chave:** *Glycine max* (L.) Merrill. Estresse hídrico. Fotossíntese. Irrigação e componentes de produção.

## PLANT GROWTH AND YIELD IN SOYBEAN CULTIVARS UNDER WATER DEFICIT

### 3.1. Abstract

Soybean is one of the most important crops in the world regarding grain production. In this scenario, Brazil stands out as the second largest producer. As the soybean crop is sown in all regions of Brazil and, therefore, under widely variable environmental conditions, it is subject to climatic variations. This is considered as the most important factor of risk and of failure to the soybeans cultivation. In this respect, drought is the main cause of the losses and risks to the culture. The objective of this study was to evaluate plant growth and grain yield in soybean cultivars under water deficit. The experiments were conducted at the experimental field of the National Soybean Research Center of Embrapa, in Londrina-PR, Brazil. The sowing of the experiments was carried out manually with soil disturbance only in the rows, and the experimental design was a randomized complete blocks design with split-plot model and four replicates. The main plots received three water availability: 1 – water stress on reproductive stages (DHER), 2 – natural rainfall (CNC), and 3 – irrigation (IRR); while the subplots received 10 soybean cultivars (BR 16, Embrapa 48, BRS 133, BRS 134, BRS 245 RR, BRS 247 RR, BRS 183, BRS 184, BRS 214, and BRS 232). For analysis of growth and grain yield, data from the 2005/06 and 2006/07 seasons were used. The variables evaluated were: grain yield ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) and mass of 100 grains (g) in CNC and IRR were estimated by sampling to an area of  $7,5 \text{ m}^2$ , and in DHER, by sampling a range of two meters per experimental unit, which corresponds to the area of  $1 \text{ m}^2$ ; leaf area (AF), determined by an *area meter*, *li-3100* in five plants, and leaf area index (IAF) calculated by the functional relationship between the leaf area (AF) and area of land occupied by plants, in the stages  $V_7$ ,  $R_2$ ,  $R_4$  and  $R_6$ ; photosynthetic rate ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), determined by a portable photosynthesis meter (photosynthesis system LI-Cor, inc., model LI-6200), the middle leaflet of the 3rd trifoliate, fully expanded in stages  $V_7$  and  $R_4$ ; number of pods per plant, average of five plants per plot ( $R_8$ ) and plant height (cm), average of five plants per plot, measured at the  $V_7$  stage and harvest ( $R_8$ ). When subjected to water deficit, there was impairment of growth of soybean cultivars, due to the reduction of IAF, photosynthetic rate, correlating with the crop yield. Among the cultivars there were different responses, and the BRS 184 with higher yield and the more tolerant, and the BR 16 with lower yield, the most sensitive to water deficit. The IAF was correlated with photosynthetic rate, weight and grain yield, being a plant response to drought and an indication of yield.

**Keywords:** *Glycine max* (L.) Merrill. Water stress. Photosynthesis. Irrigation and production component.

### 3.2. Introdução

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é uma das mais importantes leguminosa do mundo (BLACK, 2000), sendo o Brasil o segundo maior produtor de grãos de soja, razão pela qual esta é uma das culturas de maior importância econômica para o País. Na safra 2008/09, a cultura ocupou uma área de 21,74 milhões de hectares, totalizando uma produção de 57,16 milhões de toneladas. A produtividade média da soja brasileira nesta safra foi de 2.629 kg ha<sup>-1</sup>, chegando a alcançar 3.0820 kg ha<sup>-1</sup> no estado de Mato Grosso, o estado maior produtor (CONAB, 2009).

Como a cultura da soja é semeada em todas as regiões do Brasil e, portanto, sob condições ambientais muito diversas, está sujeita às variações climáticas sendo estas o principal fator de risco e de insucesso no cultivo de soja. Neste contexto, a seca é o principal fenômeno gerador de prejuízos e de riscos para a cultura (FARIAS et al., 2001). Apesar de todo o progresso que a pesquisa tem alcançado com cultivares de maior potencial de rendimento, estresses causados pelo déficit hídrico durante estádios críticos têm limitado a obtenção de rendimentos mais próximos ao potencial produtivo da espécie (COSTA et al., 1999; MAEHLER et al., 2003; FARIAS, 2004).

O déficit hídrico é definido segundo Taiz e Zeiger (2008) como todo conteúdo de água de um tecido ou célula que está abaixo do conteúdo de água exibido no estado de maior hidratação. Entretanto, o déficit hídrico pode ocorrer em duas situações: uma quando o solo não contém água disponível às plantas, ou seja, a taxa de evapotranspiração fica mais dependente das características físico-hídricas do solo do que da demanda atmosférica, também chamado de déficit hídrico no solo (PEREIRA et al., 1997); ou ainda quando o solo contém água disponível, mas a planta não é capaz de absorvê-la em velocidade e quantidade suficiente para atender à demanda atmosférica (JONES, 1992).

A soja tem dois períodos críticos bem definidos com relação à falta de água: germinação-emergência e floração-enchimento de grãos (R<sub>5</sub> e R<sub>6</sub>), porque envolvem diretamente a formação dos componentes do rendimento: número de plantas por área, número de legumes por planta, número de grãos por legume e massa média de grãos (CUNHA; BERGAMASCHI, 1992; NEUMAIER et al., 2000; CASAGRANDE et al., 2001; FARIAS et al. 2001; EMBRAPA, 2008). Nesses dois

períodos o déficit hídrico poderia ter interferência direta nos componentes do rendimento, enquanto no restante do ciclo os efeitos são menos pronunciados, somente afetando indiretamente os componentes do rendimento (CUNHA; BERGAMASCHI, 1992). A sensibilidade da soja às deficiências hídricas, considerando o rendimento de grãos, tende a aumentar à medida que a cultura avança no seu ciclo (KRON et al., 2008), apresentando uma máxima sensibilidade durante o período reprodutivo, principalmente na formação de legumes e enchimento de grãos (KORTE et al., 1983).

Os efeitos da deficiência hídrica sobre o rendimento vão depender da intensidade, duração, época de ocorrência e da interação com outros fatores determinantes da expressão do rendimento final (QUEIROZ et al., 1996). Quando o déficit hídrico ocorre nos primeiros estádios de desenvolvimento vegetativo, a soja recupera-se melhor do que outras culturas, já que pode tolerar curtos períodos de déficit, pois tem sistema radicular profundo e período de florescimento relativamente longo, dependendo do ciclo da cultivar (FARIAS et al., 2001).

Dentre os componentes de rendimento, Salinas et al., (1996) verificaram que o tamanho e a massa de grãos foram os mais sensíveis ao déficit hídrico. Estes autores argumentam ainda que a falta de água durante o enchimento de grãos reduz o tamanho e a massa de grãos, devido à diminuição do suprimento de fotoassimilados produzidos pela planta e/ou inibição do metabolismo do próprio grão. Rambo et al. (2003) verificando as respostas de cultivares de soja irrigada e não irrigada, constaram que houve menor taxa de enchimento de grãos, resultando em menor massa de grão e refletindo em menores rendimentos de grãos de soja nos tratamentos não irrigados do que nos irrigados.

Kuss et al., (2008), analisando populações de plantas e estratégias de manejo de irrigação na cultura da soja, verificaram que a massa média de grãos foi maior nos tratamentos que não receberam irrigação durante o ciclo da cultura. Estes autores argumentam que durante a realização do experimento, ocorreu déficit hídrico no florescimento e no final do enchimento de grãos e que, nestes tratamentos, a restrição hídrica causou maior abortamento de flores e legumes. Este fato pode ser verificado pelo menor número de legumes por planta, fazendo com que aqueles legumes que permaneceram na planta acumulassem mais massa seca em seus grãos do que, comparativamente, com plantas com maior número de legumes e grãos, onde é maior a demanda por fotoassimilados. Para Casagrande et al.

(2001), este comportamento é um mecanismo de tolerância à falta de água, objetivando direcionar o fluxo de compostos para os legumes que se apresentam mais adiantados no processo de desenvolvimento e que, em teoria, teriam maiores chances de produzir sementes viáveis.

O rendimento da cultura da soja depende do potencial genético das cultivares e de fatores que interferem na intensidade fotossintética da planta. O processo fotossintético depende da interceptação da luz e sua conversão em energia química, portanto, o índice de área foliar (IAF) pode ser considerado um parâmetro indicativo de produtividade (MÜLLER, 1981) e como método-padrão para se medir a produtividade biológica de uma cultura, permitindo o estudo de diferentes cultivares de uma determinada cultura em seu ambiente de produção (PEREIRA; MACHADO, 1987; GOMES, 2007). A resposta mais proeminente das plantas ao déficit hídrico, segundo McCree e Fernández (1989) e Taiz e Zeiger (2008), consiste no decréscimo da produção da área foliar, da aceleração da senescência e da abscisão das folhas. A falta de água pode afetar ainda a eficiência do processo fotossintético, tanto de forma direta, com a desidratação do citoplasma, como indiretamente, devido ao fechamento estomático (CASAGRANDE et al., 2001).

A melhoria do potencial produtivo das cultivares e a resistência a doenças de soja são os principais objetivos de todos os programas de melhoramento genético conduzidos no país (SANTOS et al., 2006). No entanto, mudanças morfológicas, fisiológicas e de desenvolvimento de plantas, e as suas consequências no rendimento da cultura, apresentam bases moleculares e genéticas. Portanto, a caracterização de genótipos tolerantes ou sensíveis à seca é um pré-requisito para seleção e manipulação genética (TURNER, 1997). A identificação e a compreensão dos mecanismos de tolerância à seca em plantas são cruciais para o desenvolvimento de novas cultivares de soja mais tolerantes (CASAGRANDE et al., 2001) e também para subsidiar a indicação de cultivares que ofereçam menores riscos de perdas na produtividade, conforme as características climáticas de cada região produtora.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento de plantas e o rendimento de grãos em cultivares de soja sob déficit hídrico.

### 3.3. Material e Métodos

Os experimentos foram conduzidos no campo experimental da Embrapa Soja, em Londrina-PR, (latitude 23° 11 S, longitude 51° 11 W e altitude 566m), nas safras 2005/06 e 2006/07 (Figuras 1 e 2 do apêndice). O clima predominante, segundo Köppen (1931), é do tipo subtropical, sendo a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e a do mês mais frio inferior a 18°C (CORRÊA et al., 1982).

Segundo a classificação da Embrapa (2006) o tipo de solo do local onde foi realizado o experimento, é Latossolo Vermelho Eutroférico argiloso. As características químicas do solo estão apresentadas na Tabela 1 do apêndice, sendo as correções necessárias realizadas conforme recomendação para a cultura da soja.

As sementeiras dos experimentos foram realizadas manualmente com revolvimento do solo somente nas linhas, com espaçamento de 45cm, deixando após o desbaste 12 plantas/m. A inoculação das sementes de soja foi realizada conforme Hungria et al., (2007), com inoculante turfoso contendo as estirpes Semia 587 + Semia 5019 e o tratamento das sementes com o fungicida Vitavax + Thiram (Figura 3 do apêndice). Os tratamentos culturais foram realizados de acordo com as recomendações das Tecnologias de Produção de Soja para a Região Central do Brasil 2006 (EMBRAPA, 2005).

Na safra 2005/06 a sementeira foi realizada no dia 04 de dezembro de 2005 e na 2006/07, no dia 03 de dezembro de 2006. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas principais, três disponibilidades hídricas (1 – Déficit hídrico nos estádios reprodutivos – DHER, 2 – condições normais de campo - CNC e 3 – irrigado – IRR) e em subparcelas, as 10 cultivares de soja, comuns, nas duas safras (BR 16, Embrapa 48, BRS 133, BRS 134, BRS 245 RR, BRS 247 RR, BRS 183, BRS 184, BRS 214 e BRS 232), a descrição com as características das cultivares estão apresentadas na Tabela 2 do apêndice.

A disponibilidade hídrica DHER foi obtido utilizando-se abrigos móveis contra a chuva (Figura 4 do apêndice), com fechamento automático, evitando-se, assim, a precipitação pluviométrica sobre as parcelas, durante o período desejado. As cultivares foram submetidas às condições normais de campo

até o estágio  $R_1$  (início do florescimento), quando foi iniciado o fechamento automático dos abrigos, ao chover. O solo das parcelas sob DHER foi isolado por uma barreira de placas verticais de concreto, enterradas até a profundidade de 80 cm, visando evitar a troca de umidade com o solo externo aos abrigos. Ainda, ao redor dos abrigos, o solo foi gramado para impedir o escoamento superficial de água.

No IRR, a suplementação hídrica foi efetivada em cada parcela, manualmente com mangueira (Figura 5 do apêndice), mantendo o potencial matricial da água no solo entre -0,03 e -0,05 MPa, sendo a umidade monitorada por tensiômetros de mercúrio (Figura 6 do apêndice), enterrados no solo à profundidade de 30cm e quando o mercúrio atingia 20cm de altura capilar era realizado a irrigação. Também, semanalmente, a umidade do solo foi monitorada pelo método gravimétrico (GARDNER, 1986).

Na disponibilidade hídrica DHER, cada subparcela foi constituída por três linhas de três metros, com 0,5m nas entrelinhas, totalizando uma área de 4,5m<sup>2</sup>. As subparcelas do CNC e IRR foram constituídas por oito linhas de seis metros, com 0,5m nas entrelinhas, totalizando uma área de 24m<sup>2</sup>.

Na safra 2005/06 os abrigos foram acionados a partir de do dia 19 de janeiro de 2006. Na disponibilidade hídrica IRR, a suplementação de água foi realizada nos dias 11, 12, 13, 16, 17, 18, 24 de janeiro; dia 3 de fevereiro e dias 16 e 20 de março/2006, ou seja, dez irrigações no decorrer da safra. Para a safra 2006/07, os abrigos foram acionados, a partir de do dia 19 de janeiro de 2007. Na disponibilidade hídrica IRR, a suplementação de água foi realizada nos dias 16 e 17 de fevereiro; 08, 09 e 10 de março de 2007, ou seja, cinco irrigações no decorrer da safra. Nessa safra, porém, os abrigos fecharam (ao chover) por um período de 47 dias.

A pluviosidade acumulada diariamente, temperaturas máxima, mínima e média diárias, observadas no período, nas safras 2005/06 e 2006/07, estão expressas nas Figuras 7 e 8 do apêndice, respectivamente. A dinâmica das condições atmosféricas nos meses de dezembro/2005 e janeiro/2006 caracterizou-se por um período com poucas chuvas e temperaturas altas, chegando a 35°C nos dias 14 e 15 de janeiro, e com outros picos de temperaturas no final do mesmo mês e no início do mês de fevereiro. As maiores precipitações ocorridas na safra 2005/06 se concentraram no mês de fevereiro (período de fechamento dos abrigos). A

configuração da condição climática para esses meses na safra seguinte foi diferente, pois as chuvas foram melhor distribuídas e as temperaturas só aumentaram no final do ciclo, quando não causam grandes prejuízos para as plantas.

As variáveis analisadas foram: rendimento de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e massa de 100 grãos (g), em CNC e IRR, foram estimados pela amostragem em três linhas de cinco metros, por unidade experimental, o que corresponde a uma área de  $7,5\text{m}^2$ , e, em DHER, pela amostragem em uma linha de dois metros, por unidade experimental, o que corresponde à área de  $1\text{m}^2$ . O rendimento de grãos foi corrigido para 13 % de umidade; Área foliar (AF), determinada por meio de um *Area Meter*, LI-3100 (Figura 1) em cinco plantas, e o índice de área foliar (IAF) foi calculado pela relação funcional existente entre a área foliar (AF) e a área do terreno ocupada pelas plantas, nos estádios  $V_7$ ,  $R_2$ ,  $R_4$  e  $R_6$ ; taxa fotossintética ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), determinada através de um medidor portátil de fotossíntese (*Photosynthesis System*, LI-Cor, Inc., modelo LI-6200, (Figura 2)), no folíolo mediano do 3º trifólio, completamente expandido, nos estádios  $V_7$  e  $R_4$ ; número de legumes por planta, média de cinco plantas por parcela (estádio  $R_8$ ); altura de planta (cm), média de cinco plantas por parcela, medida no estágio  $V_7$  e na colheita (estádio  $R_8$ ).



**Figura 1** – Determinador de área foliar (AF) *Area Meter*, LI-3100.



**Figura 2** – Determinador de taxa fotossintética (*Photosynthesis System*, LI-Cor, Inc., modelo LI-6200 – IRGA, infra-red gas Analyzer).

Para determinar o fim de um estágio e o início de outro, na escala de Fehr e Caviness (1977), considerou-se que as plantas de cada parcela atingiram determinado estágio de desenvolvimento quando 50% das plantas apresentavam as características morfológicas descritas na escala.

O método estatístico utilizados para todas as variáveis resposta constituiu-se de um diagnóstico exploratório, seguido da análise de variância (ANOVA). Neste diagnóstico exploratório avaliaram-se os seguintes pré-requisitos: a distribuição normal dos erros experimentais pelo método de Shapiro e Wilk (1965), a homogeneidade de variâncias dos tratamentos pelo método de Burr e Foster (1972), a aditividade do modelo do delineamento experimental pelo método de Tukey (1949) e a análise dos resíduos pelo método apresentado em Parente (1984). Além da análise de variância aplicou-se também o teste de comparações múltiplas de médias pelo método de Duncan ao nível de significância de  $\alpha = 0,05$  (COCHRAN; COX, 1957). Os programas estatísticos utilizados foram o SANEST (ZONTA et al., 1982) e o SAS e (SAS INSTITUTE, 2001).

### 3.4. Resultados e Discussão

#### 3.4.1. Safras 2005/06 e 2006/07

Os resultados dos testes que averiguam a veracidade da normalidade e independência dos erros foram atendidos para todas as variáveis respostas, em cada um dos estádios, com exceção da taxa fotossintética medida em  $V_7$ . A hipótese de homogeneidade de variâncias dos tratamentos foi rejeitada apenas para o índice de área foliar (IAF) medido em  $R_6$ . O modelo do delineamento experimental não apresentou aditividade para as variáveis IAF medidas nos períodos de  $R_4$  e  $R_6$  e massa de 100 grãos na safra 2005/06. Estes resultados dos testes, embora rejeitados de acordo com os valores críticos tabelados, não interferiram na significância do teste F para todos os efeitos do modelo do delineamento experimental adotado.

Houve resposta significativa para três tipos de interação, a saber: disponibilidade hídrica x cultivar, compreendendo a variável taxa fotossintética ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), nos estádios  $V_7$  e  $R_4$ , disponibilidade hídrica vs ano, a variável taxa fotossintética nos estádios  $V_7$  e  $R_4$ , índice de área foliar em todos os estádios, massa de grãos e rendimento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e cultivar vs ano somente as variáveis IAF e rendimento de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). Os demais efeitos que não constavam nas interações também apresentaram respostas significativas, isoladamente.

No rendimento de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), houve resposta significativa em todas as interações duplas envolvendo safras, disponibilidade hídrica e cultivares. Na interação entre disponibilidade hídrica e as cultivares (Tabela 1), quando analisado cada cultivar, houve resposta significativa e aumento no rendimento quando houve disponibilidade hídrica nas duas safras estudadas. Desta forma, em DHER ocorreram os menores rendimentos médios nas duas safras. As diferenças estatísticas entre CNC e IRR ocorreram somente na safra 2005/06, sendo que as cultivares BRS 134, BRS 183, BRS 214 e a BRS 245RR não apresentaram diferenças estatísticas entre estes.

Entre as cultivares, na disponibilidade hídrica DHER da safra 2005/06, somente a BR 16 foi significativamente diferente das outras, com média inferior. Em CNC e IRR, houve grande variação entre as cultivares e nos dois casos a cultivar BRS 184 foi a que apresentou as maiores médias. No entanto, na

disponibilidade hídrica CNC somente diferiu da BRS 232 e da BR 16, e no IRR a diferença foi em relação as cultivares BR 16, Embrapa 48, BRS 183 e BRS 214. Na safra 2006/2007, houve variações em todos as disponibilidades hídricas e a cultivar BRS 184 apresentou as maiores médias em todos eles, sendo que na DHER não diferiu estatisticamente da BRS 247RR, no CNC não diferiu da BRS 133 e BRS 245 RR, e no IRR das cultivares BRS 133, BRS 232, BRS 245 RR e BRS 247 RR.

Para a mesma condição hídrica DHER em safra diferente (Tabela 1), as maiores médias foram sempre na safra 2006/2007, e no CNC somente a cultivar BRS 214 apresentou média inferior na safra 2006/2007, enquanto que no IRR, as médias sempre foram próxima entre as duas safras.

Na safra 2005/06 algumas cultivares diferiram entre as disponibilidades hídricas CNC e IRR, no entanto, na safra 2006/07 isso não foi verificado, pois a necessidade de suplementação por irrigação foi de apenas cinco irrigações, mostrando que mesmo sem irrigação o ambiente apresentou-se poucas vezes com necessidade de suplementação, diferente da safra 2005/06 onde foram realizadas dez irrigações.

Conforme as Figuras 7 e 8, pode-se inferir, que as repostas das cultivares foram diferentes nas duas safras devido a distribuição das chuvas. Enquanto, na safra 2005/06 as plantas encontraram um ambiente quente e com pouca disponibilidade hídrica, na safra 2006/07, as chuvas foram bem distribuídas e as temperaturas mais amenas, ou seja, com as condições propícias à obtenção de bom desenvolvimento e alto rendimento final.

Mesmo com as condições favoráveis, e com suplementação pela irrigação (IRR), ainda assim os maiores rendimentos apresentados nos experimentos foram inferiores a média nacional, que de acordo com a Conab (2009) foi de 2.629 kg ha<sup>-1</sup>. Conforme a Tabela 2 do apêndice, a época recomendada para a semeadura dessas cultivares é até 5 de dezembro. Os experimentos foram semeados ainda na época recomendada (safra 2005/06 semeadura no dia 04 de dezembro de 2005 e safra 2006/07 em 03 de dezembro de 2006), no entanto, o fato da semeadura ter sido realizada nesta época, pode ter ocasionado os baixos rendimentos de grãos. Conforme a Embrapa (2008), a soja melhor se adapta a temperaturas do ar entre 20°C e 30°C; a temperatura ideal para seu crescimento e desenvolvimento está em torno de 30°C. Verifica-se na Figuras 7 do apêndice, que no período da safra 2005/06 temperatura superior a 30°C foram constantemente

registradas, com destaques para os meses em que as plantas se encontravam no estágio vegetativo (janeiro e fevereiro de 2006). Na safra 2006/07, também houve registro de temperatura superior a 30°C em dezembro de 2006, março e abril de 2007 (Figura 8 do apêndice). Para Lucchesi (1987) a temperatura influi diretamente em todos os subperíodos de desenvolvimento da soja, ou seja, nos processos de germinação, crescimento, floração e frutificação e, ainda, sobre os processos vitais das plantas como, por exemplo, nos processos de reações químicas da respiração e da fotossíntese e na absorção de água e de nutrientes (JONES, 1983).

**Tabela 1** – Médias da interação entre disponibilidades hídricas e cultivares de soja, da variável rendimento<sup>1</sup> de grãos (kg ha<sup>-1</sup>), nas safras 2005/06 e 2006/07.

Cultivares	Safras					
	2005/06			2006/07		
	DHER <sup>2</sup>	CNC	IRR	DHER	CNC	IRR
BR 16	185 b <sup>3</sup> C	1161 c	B 1853 b A	1072 d	B 1946 c	A 1929 b A
Embrapa 48	626 a C	1477 abc	B 1968 b A	1235 cd	B 1946 c	A 1953 b A
BRS 133	413 a C	1667 abc	B 2425 ab A	1130 cd	B 2525 ab	A 2534 a A
BRS 134	400 a B	1894 ab	A 2307 ab A	1274 cd	B 2297 b	A 2019 b A
BRS 183	387 a B	1749 abc	A 1946 b A	1284 cd	B 1984 c	A 1986 b A
BRS 184	706 a C	2111 a	B 2676 a A	1647 a	B 2637 a	A 2552 a A
BRS 214	394 a B	1711 abc	A 1836 b A	1309 bcd	B 1675 c	A 1543 c A
BRS 232	402 a C	1324 bc	B 2209 ab A	1380 bc	B 2369 b	A 2329 a A
BRS 245 RR	470 a B	1856 ab	A 2120 ab A	1116 d	B 2424 ab	A 2406 a A
BRS 247 RR	464 a C	1625 abc	B 2310 ab A	1539 ab	B 2376 b	A 2315 a A
Média Geral	445	1658	2165	1299	2218	2157

CV Parcela (%) = 12,20

CV Subparcela (%) = 16,98

<sup>1</sup> Rendimento de grãos corrigido para 13 % de umidade.

<sup>2</sup> = Déficit hídrico nos estádios reprodutivos (DHER), condições normais de campo (CNC) e irrigado (IRR).

<sup>3</sup> = Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Na interação entre cultivares e as safras 2005/06 e 2006/07 (Tabela 2), quando analisado cada cultivar, houve resposta significativa, para todas as cultivares, exceto para a BRS 214, com as maiores médias na safra 2006/07. Em relação às cultivares dentro de cada safra, o maior rendimento de grãos foi da cultivar BRS 184 para as duas safras, não diferindo estatisticamente somente da BRS 133 e da BRS 247 RR. Ao contrário, a cultivar BR 16 foi a que apresentou as menores médias, também nas duas safras. Entre essas duas cultivares, na safra 2005/2006 a diferença foi de 765 kg ha<sup>-1</sup> enquanto que na safra 2006/2007 foi de 630 kg ha<sup>-1</sup>, se compararmos BRS 184 na safra 2006/2007 com a maior média (2279 kg ha<sup>-1</sup>) e a BR 16 na safra 2005/2006 com a menor média (1066 kg ha<sup>-1</sup>), a BRS 184 produziu mais que o dobro, em kg ha<sup>-1</sup> de grãos, que a BR 16, indicando assim

a variação na resposta entre as cultivares e a relativa estabilidade da cultivar BRS 184. Ávila et al., (2007), avaliando os componentes de produção e a qualidade fisiológica das sementes de soja produzidas em dois locais, constataram que a BRS 184 produzida em Maringá apresentou rendimento de grãos 40,71% superior à produzida em Umuarama. Os autores explicam a diferença no rendimento pelo fato que os meses de dezembro e janeiro da safra avaliada foram os que apresentaram menor precipitação e que a temperatura média do ar oscilou entre 15,8 e 25,4°C em Maringá e entre 20,3°C e 31,0 em Umuarama.

**Tabela 2** – Médias da interação entre as cultivares e as safras 2005/06 e 2006/07, para o rendimento<sup>1</sup> de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) em disponibilidades hídricas (DHER<sup>2</sup>, CNC e IRR).

Cultivares	Safras		Médias
	2005/06	2006/07	
BR 16	1066 c <sup>3</sup> B	1649 de A	1358
Embrapa 48	1357 b B	1711 de A	1534
BRS 133	1501 b B	2063 ab A	1782
BRS 134	1534 b B	1863 bcd A	1698
BRS 183	1361 b B	1751 cde A	1556
BRS 184	1831 a B	2279 a A	2055
BRS 214	1313 b A	1509 e A	1411
BRS 232	1311 b B	2026 bcd A	1631
BRS 245 RR	1482 b B	1982 bcd A	1732
BRS 247 RR	1466 b B	2077 ab A	1771
Médias	1422	1891	

CV Parcela (%) = 12,20

CV Subparcela (%) = 16,98

<sup>1</sup> Rendimento de grãos corrigido para 13 % de umidade.

<sup>2</sup> = Déficit hídrico nos estádios reprodutivos (DHER), condições normais de campo (CNC) e irrigado (IRR).

<sup>3</sup> = Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si a 7% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Na variável massa de grãos houve interação entre as disponibilidades hídricas e as cultivares (Tabela 3) e, na comparação das disponibilidades hídricas para cada cultivar, os valores mais elevados da massa de 100 grãos foram obtidos na disponibilidade hídrica DHER, na safra 2005/06, porém, mesmo apresentando as maiores médias, apenas as cultivares BR 16, Embrapa 48, BRS 183 e BRS 232 apresentaram diferenças significativas em CNC e IRR. Na safra seguinte, houve a inversão, e as diferenças estatísticas apresentadas foram para as

menores médias para a disponibilidade hídrica DHER nas cultivares BR 16, BRS 184 e a BRS 232.

Entre as cultivares, as médias da massa de 100 grãos apresentaram uma grande variação e a cultivar BRS 232 foi a que apresentou a maior média na disponibilidade hídrica DHER da safra 2005/06 diferindo das demais. Na descrição das cultivares (Tabela 2 do apêndice), a média da massa de 100 grãos é de 18,5g, no entanto, as médias que se aproximaram mais deste valor foram as da safra 2005/06. Na disponibilidade hídrica CNC, desta mesma safra, a BRS 232 diferiu somente da Embrapa 48, BRS 183 e BRS 247 RR enquanto que na IRR a diferença estatística apresentada foi somente para a Embrapa 48, BRS 183, BRS 245 RR e BRS 247 RR. Na safra 2006/2007, apesar de apresentar a maior média com pequena variação, a cultivar BRS 232 em DHER apresentou diferença significativa somente em relação às cultivares Embrapa 48, BRS 183, BRS 245 RR e BRS 247 RR. Nas disponibilidades hídricas CNC e IRR, a BRS 232 também apresentou superioridade e no CNC não diferiu somente da BR 16 e da BRS 184, enquanto que no IRR a diferença estatística não ocorreu somente em relação à BRS 184, de acordo com a descrição das cultivares (Tabela 2 do apêndice), para esta cultivar as médias na massa de 10 grãos é de 17,3g com grande diferença com a média apresentada por ela de 12,1g.

**Tabela 3** – Médias da interação entre as disponibilidades hídricas e as cultivares de soja, na massa de 100 grãos (g), nas safras 2005/06 e 2006/07.

Cultivares	Safras					
	2005/06			2006/07		
	DHER <sup>1</sup>	CNC	IRR	DHER	CNC	IRR
BR 16	15,8 b <sup>2</sup> A	12,5 ab B	13,0 abc B	10,4 abc B	13,0 a A	11,9 b A
Embrapa 48	15,4 bc A	11,9 b B	11,0 c B	9,9 bc A	10,1 d A	9,9 d A
BRS 133	13,5 cd A	12,8 ab A	13,0 ab A	11,3 a A	11,6 b A	11,3 bc A
BRS 134	12,0 d A	12,9 ab A	12,0 abc A	10,4 abc A	11,3 bc A	10,6 cd A
BRS 183	16,1 b A	11,9 b B	12,0 bc B	10,0 bc A	11,3 bc A	11,1 bc A
BRS 184	15,4 bc A	13,1 a A	14,0 a A	10,9 abc B	13,5 a A	12,1 ab AB
BRS 214	13,5 cd A	12,9 ab A	11,0 ab A	11,4 a A	10,2 cd A	10,6 cd A
BRS 232	18,7 a A	13,0 a B	15,5 a B	11,4 a B	13,0 a A	13,1 a A
BRS 245 RR	13,4 cd A	12,0 ab A	12,0 bc A	10,5 bc A	11,3 bc A	11,3 bc A
BRS 247 RR	12,2 cd A	11,3 b A	11,0 b A	9,7 c A	9,8 d A	9,5 d A
Média Geral	14,6	12,4	12,4	10,6	11,5	11,1
CV Parcela (%) = 6,61						
CV Subparcela (%) = 11,15						

<sup>1</sup> = Déficit hídrico nos estádios reprodutivos (DHER), condições normais de campo (CNC) e irrigado (IRR).

<sup>2</sup> = Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Na variável massa de grãos houve interação entre as disponibilidades hídricas e as duas safras (Tabela 4). Na comparação das disponibilidades hídricas para cada safra, os valores mais elevados da massa de 100 grãos foram obtidos em DHER, na safra 2005/06, diferindo estatisticamente de CNC e IRR, e na safra seguinte não houve diferença significativa entre as disponibilidades hídricas. Porém, na análise das safras em cada disponibilidade hídrica, as médias da safra 2005/06 foram sempre maiores, com diferenças significativas em relação à safra 2006/07. Esta diferença entre as safras, quanto à massa de 100 grãos, possivelmente foi determinada pela distribuição da precipitação pluviométrica, pois na safra 2005/06, o solo já estava com baixa disponibilidade hídrica pela baixa precipitação nos meses de dezembro de 2005 e janeiro de 2006, e desta forma dispunha menos água para as plantas, que ao atingirem o período reprodutivo foram então submetidas a disponibilidade hídrica DHER. Enquanto que na safra 2006/07, estes mesmos meses tiveram maiores precipitações. Kokubun et al. (2001), reportam que, o aborto de flores causado pelo déficit hídrico pode ocasionar aumento da massa de grãos, com maior intensidade quando o déficit é mais prolongado. Neste trabalho, em consequência do aborto de flores ou legumes, foi a menor quantidade de legumes quando houve limitação hídrica ocasionada pela disponibilidade hídrica DHER, conforme a Tabela 8.

**Tabela 4** – Médias da interação entre disponibilidades hídricas e as safras 2005/06 e 2006/07, para a massa de 100 grãos (g) em dez cultivares de soja.

Safrá	Disponibilidades hídricas					
	DHER <sup>1</sup>		CNC		IRR	
2005/06	14,5	a <sup>2</sup> A	12,8	a B	12,0	a B
2006/07	10,6	b A	11,5	b A	11,1	b A

CV Parcela(%) = 6,61  
CV Subparcela (%) = 11,15

<sup>1</sup> = Déficit hídrico nos estádios reprodutivos (DHER), condições normais de campo (CNC) e irrigado (IRR).

<sup>2</sup> = Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Houve interação significativa entre as disponibilidades hídricas e as safras, no índice de área foliar (IAF) para todos os estádios de desenvolvimento das plantas (Tabela 5). Porém, no estádio V<sub>7</sub>, na disponibilidade hídrica DHER, o IAF médio não diferiu significativamente entre as safras. No entanto, nas disponibilidades hídricas CNC e IRR, a safra 2005/06 apresentou IAF significativamente maior do que a 2006/07 e, nessa safra, a disponibilidade hídrica DHER, mostrou IAF significativamente maior do que o CNC e o IRR. Já, no estádio R<sub>2</sub>, o IAF foi significativamente maior em 2006/07, no DHER, porém, não diferiu entre as safras, no CNC e foi menor no IRR. Ainda, nesse estádio (R<sub>2</sub>), o IAF apresentou valores significativamente diferentes entre as disponibilidades hídricas, em 2005/06, na ordem IRR<CNC<DHER, e em 2006/07, na ordem DHER>CNC=IRR (Tabela 5). No estádio R<sub>4</sub>, os efeitos da disponibilidade hídrica sobre o IAF foram semelhantes aos observados em R<sub>2</sub>, exceto que, em 2006/07, a única diferença significativa ocorreu entre DHER e IRR e, nessa safra, o IAF foi maior no CNC e semelhante no IRR. Em R<sub>6</sub>, na comparação das safras, apenas nas disponibilidades hídricas CNC e IRR, o IAF foi significativamente maior em 2005/06. Na comparação das disponibilidades hídricas, em 2005/06, o IAF aumentou significativamente à medida que houve maior disponibilidade hídrica (DHER<CNC<IRR) e, em 2006/07, a disponibilidade hídrica DHER apresentou IAF significativamente menor do que CNC e IRR, sendo que estes não diferiram significativamente (DHER<CNC=IRR).

As maiores médias do IAF ocorreram nos estádios R<sub>2</sub> e R<sub>4</sub>, com variação entre as safras. Board e Harville (1996) verificaram aumento no índice de área foliar entre as fases fenológicas reprodutivas R<sub>1</sub> e R<sub>5</sub>, e que isso acarretou em uma maior taxa de crescimento da cultura. No entanto, as médias do IAF apresentam-se baixas, pois segundo Gassen (2001), o IAF da soja necessário para

garantir rendimento elevado varia entre 3,5 e 4,5. Desta forma, o IAF também expressa os baixos rendimentos da cultura.

As diferenças apresentadas entre as duas safras, principalmente nos estádios R<sub>2</sub> para a disponibilidade hídrica DHER e R<sub>4</sub> na DHER e CNC, podem estar relacionadas à maior precipitação ocorrida na safra 2006/2007, desta forma indicando que, em caso de déficit hídrico mais severo, há uma maior redução na expansão foliar e aceleração da senescência das folhas fisiologicamente mais velhas (THOMAS; COSTA, 1994).

**Tabela 5** – Médias da interação entre disponibilidades hídricas e as safras, para o índice de área foliar (IAF) nos estádios V<sub>7</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>4</sub> e R<sub>6</sub> em cultivares de soja.

Estádios	Safras	Disponibilidades hídricas		
		DHER <sup>1</sup>	CNC	IRR
V <sub>7</sub>	2005/06	1,65 a <sup>2</sup> A	1,86 a A	1,80 a A
	2006/07	1,82 a A	1,49 b B	1,43 b B
	CV Parcela (%) = 19,79 CV Subparcela (%) = 29,14			
R <sub>2</sub>	2005/06	2,08 b C	2,66 a B	3,52 a A
	2006/07	3,50 a A	2,64 a B	2,43 b B
	CV Parcela (%) = 17,66 CV Subparcela (%) = 28,76			
R <sub>4</sub>	2005/06	1,15 b C	2,94 b B	3,75 a A
	2006/07	4,29 a A	3,87 a AB	3,57 a B
	CV Parcela (%) = 18,18 CV Subparcela (%) = 28,13			
R <sub>6</sub>	2005/06	1,00 a C	2,69 a B	3,82 a A
	2006/07	1,27 a B	2,07 b A	2,00 b A
	CV Parcela (%) = 28,74 CV Subparcela (%) = 45,24			

<sup>1</sup> = Déficit hídrico nos estádios reprodutivos (DHER), condições normais de campo (CNC) e irrigado (IRR).

<sup>2</sup> = Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna para cada estágio e maiúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Na taxa fotossintética do estágio V<sub>7</sub>, houve resposta significativa da interação entre as disponibilidades hídricas e cultivares de soja (Tabela 6). Vale ressaltar que neste estágio as plantas permaneciam nas mesmas condições hídricas, e que as diferenças apresentadas são oriundas de outros fatores que não a disponibilidade hídrica induzida.

Quando analisado cada cultivar, algumas não apresentaram diferenças significativas entre as disponibilidades hídricas na safra 2005/06, entre

elas a BR 16, BRS 214, BRS 232 e BRS 247 RR. Nesta mesma safra, entre as cultivares para cada disponibilidade hídrica, houve grande variação, formando vários grupos. Na safra 2006/07, a dinâmica da variação entre as cultivares se manteve, no entanto, os valores foram sempre superiores em relação a safra anterior, quando comparados a mesma cultivar e a mesma disponibilidade hídrica.

Como houve variações entre as safras, e a 2006/07 foi mais privilegiada com uma maior e melhor distribuição da precipitação, inclusive nos estádios vegetativos da cultura, isso determinou que no estágio V<sub>7</sub> já houvesse diferença no desenvolvimento das plantas, o que acarretou em uma menor taxa fotossintética.

**Tabela 6** – Médias da interação entre disponibilidades hídricas e cultivares de soja, na taxa fotossintética ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) do estágio V<sub>7</sub>, nas safras 2005/06 e 2006/07.

Cultivares	Safras											
	2005/06						2006/07					
	DHER <sup>1</sup>		CNC		IRR		DHER		CNC	IRR		
BR 16	16,6	bcd <sup>2</sup> A	16,7	cd A	18,0	cd A	20,7	bc A	22,4	d A	21,8	bcd A
Embrapa 48	20,5	a A	18,1	bcd AB	16,9	d B	23,7	a A	25,1	abc A	22,9	abc A
BRS 133	17,8	b AB	16,8	cd B	19,8	bc A	20,4	bc B	22,6	d AB	24,1	ab A
BRS 134	14,8	d B	19,3	ab A	17,8	cd A	20,4	bc B	26,4	abc A	21,5	cd B
BRS 183	16,8	bcd AB	15,9	d B	19,0	bcd A	22,0	ab A	23,7	bcd A	22,4	abc A
BRS 184	15,2	cd B	21,3	a A	22,9	a A	20,0	bc B	26,9	a A	21,1	cd B
BRS 214	17,3	bc A	18,6	bc A	17,1	d A	21,4	bc AB	23,1	cd A	19,9	d B
BRS 232	18,5	ab A	18,4	bc A	21,0	ab A	21,7	ab B	25,7	abc A	23,9	ab AB
BRS 245 RR	17,7	b A	13,3	e B	17,3	d A	19,3	c B	23,3	cd A	19,6	d B
BRS 247 RR	17,8	b A	17,7	bcd A	17,7	cd A	22,0	ab A	23,3	cd A	24,2	a A
Média Geral	17,3		17,6		18,8		21,1		24,2		22,1	

CV Parcela (%) = 8,46

CV Subparcela (%) = 13,18

<sup>1</sup> = Déficit hídrico nos estádios reprodutivos (DHER), condições normais de campo (CNC) e irrigado (IRR).

<sup>2</sup> = Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

As respostas da taxa fotossintética do estágio R<sub>4</sub> (Tabela 7) quando verificado as cultivares para cada disponibilidade hídrica na safra 2005/06, sempre as menores médias foram para a DHER em todas as cultivares, com diferenças significativas em relação ao CNC e ao IRR e, nestes, as diferenças apresentadas foram para as cultivares BR 16, Embrapa 48, BRS 134, BRS 184, BRS 214 e BRS 245 RR com maiores médias para o CNC, exceto na Embrapa 48. Entre as cultivares nesta safra, a BRS 214 na disponibilidade hídrica DHER foi a que apresentou a maior média, e não apresentou diferença significativa em relação às cultivares BR 16, BRS 183 e BRS 184. No entanto, nas disponibilidades hídricas

CNC a BRS 184 e no IRR Embrapa 48, foram as que apresentaram maiores médias e diferiram significativamente das demais.

Na safra 2006/2007, a taxa fotossintética ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) quando analisado as cultivares em cada disponibilidade hídrica, também foi menor para todas as cultivares no DHER, diferindo estatisticamente do CNC e do IRR, com exceção da cultivar BRS 247 RR, portanto, esta cultivar foi a única que apresentou diferença entre as disponibilidades hídricas CNC e IRR. As médias, quando analisadas em cada cultivar nas disponibilidades hídricas, foram bastante variadas e no teste estatístico formaram grupos distintos, no entanto, na disponibilidade hídrica DHER, a cultivar com maior média, que foi a BRS 184, diferiu estatisticamente somente da BR 16, BRS 134 e BRS 232. Em CNC, foi a da cultivar BRS 133, que somente diferiu da BR 16, BRS 214 e BRS 247 RR, enquanto que no IRR não houve diferença estatística entre as cultivares (Tabela 7).

Como o crescimento é avaliado por meio de variações em tamanho, Benicasa (1988) sugere que a análise de crescimento está baseada no fato que aproximadamente 90% da matéria seca acumulada pelas plantas ao longo do seu crescimento, resulta da atividade fotossintética. Isso pode explicar o fato de cultivares apresentarem maiores taxas fotossintéticas e conseqüentemente um maior IAF, no entanto, isso não ocorreu para todas as disponibilidades hídricas.

**Tabela 7** – Médias da interação entre disponibilidades hídricas e cultivares de soja, na taxa fotossintética ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) do estádio R<sub>4</sub>, nas safras 2005/06 e 2006/07.

Cultivares	Safras					
	2005/06			2006/07		
	DHER <sup>1</sup>	CNC	IRR	DHER	CNC	IRR
BR 16	9,4 abc <sup>2</sup>	C 23,5 bcd	A 19,2 d	B 10,9 bc	B 21,0 bc	A 21,8 a
Embrapa 48	7,1 c	C 21,1 de	B 25,2 a	A 11,4 abc	B 22,8 ab	A 22,2 a
BRS 133	7,4 bc	B 23,8 bcd	A 22,3 b	A 12,0 abc	B 23,9 a	A 21,8 a
BRS 134	7,2 c	B 21,2 cde	A 20,9 bcd	B 10,5 bc	B 23,1 ab	A 23,6 a
BRS 183	10,0 ab	B 18,5 f	A 21,2 bcd	A 13,8 a	B 21,7 abc	A 21,3 a
BRS 184	9,3 abc	C 28,1 a	A 20,8 bcd	B 13,9 a	B 22,3 ab	A 23,5 a
BRS 214	11,6 a	C 24,3 b	A 20,3 bcd	B 11,3 abc	B 20,9 bc	A 22,5 a
BRS 232	8,0 bc	B 21,4 cde	A 22,1 bc	A 9,6 c	B 23,8 a	A 23,1 a
BRS 245 RR	6,7 c	B 22,2 bcde	A 19,0 d	B 12,4 ab	B 22,0 abc	A 21,8 a
BRS 247 RR	7,0 c	B 19,7 ef	A 19,5 cd	A 12,3 abc	B 19,4 c	B 23,0 a
Média Geral	8,4	22,4	21,1	11,8	22,1	22,5

CV Parcela (%) = 10,56

CV Subparcela (%) = 17,84

<sup>1</sup> = Déficit hídrico nos estádios reprodutivos (DHER), condições normais de campo (CNC) e irrigado (IRR).

<sup>2</sup> = Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

No número de legumes por planta do estádio R<sub>8</sub> houve resposta significativa para a interação entre as disponibilidades hídricas e cultivares de soja

para as safras 2005/06 e 2006/07 (Tabela 8). Quando analisado as cultivares para cada disponibilidade hídrica na safra 2005/06, sempre as menores médias foram para a disponibilidade hídrica DHER em todas as cultivares, com diferenças significativas em relação as outras disponibilidades. Ainda nesta safra, a disponibilidade hídrica IRR foi o que apresentou as maiores médias, com exceção da cultivar BRS 232 e, neste caso, as diferenças significativas entre o CNC e IRR foram apresentadas pelas cultivares Embrapa 48, BRS 133, BRS 184 e BRS 214.

Na safra 2006/07, quando analisado as cultivares para cada disponibilidade hídrica, sempre as menores médias também foram as da DHER em todas as cultivares, com diferenças significativas em relação as outras disponibilidades hídricas. No entanto, entre as disponibilidades hídricas CNC e IRR, as diferenças estatísticas foram entre as cultivares Embrapa 48 e BRS 184, com maiores médias para o CNC, e BRS 134 com a maior média no IRR. Entre as cultivares na disponibilidade hídrica DHER, a maior média foi a da cultivar BRS 184, com diferença estatística somente para a BRS 214 e BR 16. Para o CNC e IRR, o destaque é para a cultivar BRS 247 RR, que diferiu de todas as cultivares com maior média (Tabela 8).

Comparando a análise conjunta do rendimento de grãos, da massa de 100 grãos e do número de legumes por planta, observa-se que a menor média no rendimento de grãos foi obtida na disponibilidade hídrica DHER na safra 2005/06 (Tabela 1). Ao inverso, apresentou a maior média na massa de 100 grãos (Tabela 3) e a menor quantidade de legumes por planta (Tabela 8). Na safra 2006/07, também há estas variações, porém com efeitos menos pronunciados. Para Maehler (2003), a disponibilidade adequada de água no florescimento reduz o aborto de flores e abscisão de legumes e proporciona um incremento no potencial de rendimento de grãos. Quando houve uma maior massa de 100 grãos, também houve um menor número de legumes por planta. Estes resultados podem ser explicados pela compensação que a soja promove, aumentando ou diminuindo o tamanho das sementes em função do número de vagens em desenvolvimento (TAWARE et al., 1997). Oscilação na influência do tamanho da semente no aumento da produtividade foi também encontrada por Board et al. (1997) ao avaliar cultivares de soja em diferentes espaçamentos de fileiras e tratamentos de desfolha parcial. Para Confalone e Dujmovich (1999), para um maior rendimento de grãos, maior é a competição pelos carboidratos produzidos, o que reduziu a massa de 100 grãos

quando houve uma maior quantidade de legumes por planta, principalmente quando não houve a limitação hídrica.

Os resultados, também, são reflexos da dinâmica das condições atmosféricas entre as safras 2005/06 e 2006/07. Enquanto as maiores precipitações ocorridas na safra 2005/06 se concentraram no mês de fevereiro (período de fechamento dos abrigos), na safra 2006/07 as chuvas foram melhor distribuídas e as temperaturas só aumentaram no final do ciclo, desta forma, causando menos prejuízos para as plantas.

**Tabela 8** – Médias da interação entre as disponibilidades hídricas e as cultivares de soja, no número de legumes por planta no estágio R<sub>8</sub>, nas safras 2005/06 e 2006/07.

Cultivares	Safras					
	2005/06			2006/07		
	DHER <sup>1</sup>	CNC	IRR	DHER	CNC	IRR
BR 16	4,0 d <sup>2</sup>	B 19,0 e A	20,0 g A	17,5 c B	29,2 f A	30,5 d A
Embrapa 48	11,7 a	C 35,0 ab B	60,2 a A	24,0 ab C	43,0 b A	36,3 c B
BRS 133	8,2 abcd	C 26,7 d B	38,5 de A	25,7 ab B	39,0 bcd A	42,7 b A
BRS 134	9,2 abc	B 38,0 a A	41,5 cd A	26,0 ab C	35,2 de B	42,5 b A
BRS 183	6,7 bcd	B 26,7 d A	30,5 f A	23,7 ab B	33,2 ef A	35,0 c A
BRS 184	8,5 abcd	C 27,7 d B	46,5 b A	28,5 a B	38,0 cd A	30,2 d B
BRS 214	10,0 ab	C 36,2 ab B	43,0 bc A	23,2 b B	39,7 bcd A	42,0 b A
BRS 232	4,5 cd	B 29,5 cd A	29,0 f A	24,2 ab B	36,2 cde A	35,5 c A
BRS 245 RR	8,0 abcd	B 32,5 bc A	35,3 e A	28,0 ab B	40,7 bc A	43,2 b A
BRS 247 RR	12,0 a	B 35,5 ab A	36,5 e A	27,7 ab B	48,5 a A	51,2 a A
Média Geral	8,3	30,7	38,1	24,9	38,3	38,9
CV Parcela (%) = 4,69						
CV Subparcela (%) = 12,27						

<sup>1</sup> = Déficit hídrico nos estádios reprodutivos (DHER), condições normais de campo (CNC) e irrigado (IRR).

<sup>2</sup> = Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Entre as safras 2005/06 e 2006/07 houve diferença significativa entre as médias de altura de planta (Tabela 9), tanto no estágio V<sub>7</sub> quanto no R<sub>8</sub>, sendo as menores médias observadas na safra 2005/06. As diferenças entre as duas safras estão relacionadas com a disponibilidade hídrica. Como déficit hídrico é determinado também pela demanda atmosférica para que ocorra a evapotranspiração (JONES, 1992) e, na safra 2006/07, as chuvas foram bem distribuídas, as temperaturas mais amenas e houve uma maior umidade relativa do ar, isso levou a planta perder menos água para o ambiente. Desta forma, mesmo na disponibilidade hídrica DHER houve uma maior disponibilidade hídrica, se comparado com a safra 2005/06.

Quando houve a limitação hídrica nos estádios reprodutivos, ainda assim pode-se verificar que as médias de altura das plantas de soja praticamente dobraram entre o estágio V<sub>7</sub> e R<sub>8</sub> (Tabela 9). Esse aumento na altura da planta pode ser resultante da continuidade no crescimento, até ocorrer efetivamente as limitações pelo déficit hídrico. Porém era de se esperar que, após o período vegetativo, a planta fosse encerrar seu crescimento, sendo o período vegetativo um dos determinantes do porte das plantas e, conseqüentemente, do desempenho final das cultivares de crescimento determinado (NOGUEIRA et al., 1984). As cultivares de hábito determinado, tendem a diminuir ou paralisar o crescimento do caule, dos ramos e a produção de folhas, a partir do florescimento (EGLI; LEGGETT, 1973). Entretanto, essa afirmação não foi verificada na média da altura das cultivares utilizada neste estudo, uma vez que pelos resultados apresentados na Tabela 10 verifica-se que após o florescimento ocorreu aumento na altura das plantas, de hábito determinado. Egli e Leggett, (1973) também verificaram no estágio de florescimento que a cultivar D66-5566, de hábito de crescimento determinado, apresentava 84% da máxima acumulação de massa no estágio de florescimento, continuando, portanto, a se desenvolver durante o período reprodutivo.

**Tabela 9** – Médias de altura de planta (cm) nas safras 2005/06 e 2006/07 nos estádio V<sub>7</sub> e R<sub>8</sub>, em dez cultivares de soja submetidas a três disponibilidades hídricas (DHER<sup>1</sup>, CNC e IRR).

Safras	Médias	
	Estádio V <sub>7</sub>	Estádio R <sub>8</sub>
2005/06	20,59 b <sup>2</sup>	48,32 b
2006/07	23,75 a	57,76 a
CV (%)	13,20	9,29

<sup>1</sup> = Déficit hídrico nos estádios reprodutivos (DHER), condições normais de campo (CNC) e irrigado (IRR).

<sup>2</sup> = Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

#### 3.4.2. Análise conjunta das safras 2005/06 e 2006/07

No rendimento de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) houve também interação entre as disponibilidades hídricas e as cultivares na análise conjunta das safras 2005/06 e 2006/07 (Tabela 10). Na análise entre a disponibilidade hídrica para cada cultivar, as maiores médias apresentadas foram para IRR, que diferiu estatisticamente do DHER em todas as cultivares, enquanto que, entre o IRR e o CNC, as diferenças foram

observadas somente nas cultivares BR 16, Embrapa 48, BRS 133, BRS 232 e BRS 247 RR. Quando analisado as cultivares nas disponibilidades hídricas, houve variações entre as mesmas, com destaque para a cultivar BRS 184, que apresentou a maior média entre as cultivares em todas as disponibilidades hídricas, diferindo estatisticamente em DHER e CNC. Para IRR, embora a cultivar BRS 184 tenha apresentado a maior média, não diferiu da BRS 133. Entre as cultivares, sempre a menor média foi para a BR 16, conforme alguns autores esta cultivar mostra-se bastante sensível à deficiência hídrica (FARIAS et al., 1995; NEUMAIER et al., 1995; NEUMAIER et al., 1997).

Portanto, vale destacar que a cultivar BRS 184 foi estável, pois, independente das condições do ambiente, destacou-se com maior rendimento de grãos em relação às outras cultivares e que a BRS 133 foi responsiva à melhoria do ambiente, pois, quando houve uma maior disponibilidade hídrica, apresentou altos rendimentos.

**Tabela 10** – Médias da interação entre as disponibilidades hídricas e as cultivares de soja, para o rendimento<sup>1</sup> de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) na análise conjunta das safras 2005/06 e 2006/07.

Cultivares	Disponibilidades hídricas						Médias
	DHER <sup>2</sup>		CNC		IRR		
BR 16	628	d <sup>3</sup> C	1554	e B	1891	c A	1358
Embrapa 48	931	bc B	1711	de B	1961	c A	1534
BRS 133	771	cd C	2096	b B	2479	a A	1782
BRS 134	837	bc B	2096	b A	2163	b A	1698
BRS 183	835	bc B	1866	cd A	1966	c A	1556
BRS 184	1176	a B	2374	a A	2614	a A	2055
BRS 214	851	bc B	1693	de A	1690	d A	1411
BRS 232	891	bc C	1846	cd B	2269	b A	1631
BRS 245 RR	792	cd B	2140	b A	2263	b A	1732
BRS 247 RR	1001	b C	2000	bc B	2313	b A	1771
Médias	871		1938		2161		

CV Parcela (%) = 12, 20

CV Subparcela (%) = 16, 98

<sup>1</sup> Rendimento de grãos corrigido para 13 % de umidade.

<sup>2</sup> = Déficit hídrico nos estádios reprodutivos (DHER), condições normais de campo (CNC) e irrigado (IRR).

<sup>3</sup> = Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Entre as cultivares, na análise conjunta das safras 2005/06 e 2006/07, o valor médio da massa de 100 grãos apresentou variação (Tabela 11), com

diferenças significativas entre as cultivares. A cultivar BRS 232 foi a que apresentou a maior média geral (14,17g) diferindo estatisticamente das demais cultivares. No entanto, a BRS 247 RR, foi a que apresentou a menor média, com uma diferença de mais de 25% em relação à BRS 232. Entre as disponibilidades hídricas, apesar da média do DHER ser maior que a do CNC e este maior que IRR, não houve diferença significativa.

Analisando o rendimento de grãos (Tabela 10) e a massa de 100 grãos (Tabela 11), verifica-se que, na média, a IRR foi o que apresentou o maior rendimento, no entanto, foi também o de menor massa de grãos. Resultados semelhantes são relatados por Motta et al. (2000) que, avaliando a influência da época de semeadura nas características agronômicas, no rendimento e seus componentes em cinco cultivares de soja de interesse para o Estado do Paraná, encontraram valores inversos em relação a massa de grãos e o rendimento da cultura, ou seja, apesar de determinada cultivar ter apresentado maior valor para a massa de grãos, não foi a mais produtiva.

A massa de 100 grãos e o IAF no R<sub>4</sub> foi inversamente proporcional com coeficiente de correlação significativo ( $P > 0,05$ ) negativo ( $r = -0,71^*$ ). Resultados semelhantes foram obtidos por Confalone e Dujmovich (1999). Para Casagrande et al. (2001) este comportamento pode ser um mecanismo de tolerância à falta de água, objetivando direcionar o fluxo de compostos para os legumes que se apresentam mais adiantados no processo de desenvolvimento e que, em teoria, teriam maiores chances de produzir sementes viáveis.

**Tabela 11** – Médias da interação entre as disponibilidades hídricas e as cultivares de soja, para a massa de 100 grãos (g) na análise conjunta das safras 2005/06 e 2006/07.

Cultivares	Disponibilidades hídricas			Médias
	DHER <sup>1</sup>	CNC	IRR	
BR 16	13,14	12,82	12,28	12,75 bc <sup>2</sup>
Embrapa 48	11,93	11,03	10,25	11,07 fg
BRS 133	12,46	12,25	12,25	12,32 cd
BRS 134	11,25	12,14	11,38	11,59 ef
BRS 183	13,10	11,62	11,33	12,02 fde
BRS 184	13,18	13,37	13,08	13,21 bc
BRS 214	12,48	11,60	10,96	11,68 def
BRS 232	15,09	14,27	13,15	14,17 a
BRS 245 RR	11,99	12,11	11,50	11,87 def
BRS 247 RR	10,95	10,57	10,14	10,55 g
Média Geral	12,56 A	12,18 A	11,63 A	

CV Subparcela (%) = 6, 61

CV Subparcela (%) = 11, 15

<sup>1</sup> = Déficit hídrico nos estádios reprodutivos (DHER), condições normais de campo (CNC) e irrigado (IRR).

<sup>2</sup> = Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Na análise conjunta das duas safras (2005/06 e 2006/07) no número de legumes por planta no estágio R<sub>8</sub>, houve interação entre as disponibilidades hídricas e as cultivares de soja (Tabela 12). O número de legumes por planta apresentou redução com a menor disponibilidade hídrica, pois quando analisado cada cultivar nas disponibilidades hídricas, as médias foram sempre maiores em IRR e os menores números de legumes por planta foram para DHER. Entre as cultivares em cada disponibilidade, a cultivar BRS 247 RR foi a de maior média no DHER, diferindo estatisticamente das cultivares BR 16, BRS 183 e BRS 232. A cultivar BRS 247 RR também foi a que apresentou maior quantidade de legumes por planta em CNC e, neste caso, diferiu estatisticamente das outras cultivares. Na disponibilidade hídrica IRR, a cultivar Embrapa 48 foi a de maior número de legumes por planta, com diferenças significativas sobre as demais.

O fato de ocorrerem maiores médias na massa de 100 grãos em DHER (Tabela 11), pode ser atribuído a uma certa tolerância de alguns genótipos ao déficit hídrico, pois a restrição hídrica causou maior abortamento de flores e legumes, que pode ser verificado pelo menor número de legumes por planta (Tabela 12). Desta forma, fazendo com que aqueles legumes que permaneceram na planta acumulassem mais massa seca em seus grãos do que, comparativamente, com

plantas com maior número de legumes e grãos, onde é maior a demanda por fotoassimilados (KUSS et al., 2008).

**Tabela 12** – Médias da interação entre as disponibilidades hídricas e as cultivares de soja, no número de legumes por planta no estágio R<sub>8</sub>, na análise conjunta das safras 2005/06 e 2006/07.

Cultivar	Regime Hídrico			Médias
	DHER <sup>1</sup>	CNC	IRR	
BR 16	10,7 d B	21,1 d A	25,2 f A	20,0
Embrapa 48	17,8 ab C	39,0 b B	48,3 a A	35,0
BRS 133	17,0 abc C	32,8 c B	40,6 cd A	30,1
BRS 134	17,6 abc C	36,6 b B	42,0 bc A	32,0
BRS 183	15,2 bc B	30,0 c A	32,7 e A	26,0
BRS 184	18,5 ab C	32,8 b B	38,4 d A	29,9
BRS 214	16,6 abc B	38,0 b A	42,5 bc A	32,3
BRS 232	14,3 C B	32,8 c A	32,3 e A	26,5
BRS 245 RR	18,0 ab B	36,6 b A	39,3 cd A	31,3
BRS 247 RR	19,8 a B	42,0 a A	43,8 bc A	35,2
Média Geral	16,6	34,2	38,5	

CV Parcela (%) = 4,69

CV Subparcela (%) = 12,27

<sup>1</sup> = Déficit hídrico nos estádios reprodutivos (DHER), condições normais de campo (CNC) e irrigado (IRR).

<sup>2</sup> = Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Para o índice de área foliar (IAF) houve interação entre as disponibilidades hídricas e as cultivares de soja, no estágio R<sub>6</sub> (Tabela 13). Quando comparados as disponibilidades hídricas em cada cultivar, as menores médias foram sempre no DHER e somente as cultivares BR 16, Embrapa 48 e BRS 232 RR não apresentaram diferenças estatísticas entre o DHER e o CNC. Entre as cultivares em cada disponibilidade hídrica, a BRS 247 RR foi a de maior média para DHER e não apresentou diferença estatística somente para as cultivares Embrapa 48, BRS 133, BRS 134 e BRS 214. Para CNC e IRR a maior média de IAF foi da cultivar BRS 134, que não diferiu estatisticamente somente da BRS 133, BRS 245 RR e BRS 247 RR. No entanto, verifica-se que a disponibilidade hídrica apresentou maior IAF, resultante da absorção e acumulação de N, aumentando assim o período de enchimento de grãos e manteve a área foliar verde por mais tempo para realizar fotossíntese e remobilizar as reservas, propiciando maior suprimento de assimilados aos grãos (MAEHLER et al., 2003). O período de enchimento de grãos é importante para definir o potencial de rendimento da soja (COSTA et al., 1991), mas a duração e a taxa de acúmulo de nitrogênio e carbono, durante este período, determina quanto do

potencial vai ser alcançado, sendo o rendimento de grãos positivamente associado com a produção de massa seca e enchimento de grãos (VASILAS et al., 1995).

Entre o IAF do estágio R<sub>6</sub> e o rendimento de grãos, também houve correlação significativa ( $P > 0,05$ ) com coeficiente de correlação positiva ( $r = 0,61^*$ ). Portanto, a redução no IAF nos estádios finais da cultura, quando houve limitação hídrica, limitou o rendimento de grãos, pela diminuição da atividade fotossintética e, conseqüentemente, pela menor remobilização de C e N para o grão (RAMBO et al., 2003).

**Tabela 13** – Médias da interação entre as disponibilidades hídricas e as cultivares de soja, para o índice de área foliar (IAF) no estágio R<sub>6</sub>, na análise conjunta das safras 2005/06 e 2006/07.

Cultivar	Regime Hídrico						Média
	DHER <sup>1</sup>		CNC		IRR		
BR 16	0,60 c	B	1,20 d	AB	1,76 d	A	1,18
Embrapa 48	1,32 ab	B	1,96 c	AB	2,59 c	A	1,96
BRS 133	1,38 ab	B	2,78 ab	A	3,48 ab	A	2,54
BRS 134	1,24 ab	B	3,23 a	A	3,71 a	A	2,73
BRS 183	0,54 c	B	1,83 c	A	2,53 c	A	1,63
BRS 184	1,08 bc	B	2,25 bc	A	2,58 c	A	1,97
BRS 214	1,34 ab	B	2,49 bc	A	2,58 c	A	2,13
BRS 232	0,92 bc	B	1,78 c	B	3,06 bc	A	1,92
BRS 245 RR	1,15 bc	B	3,07 a	A	3,61 ab	A	2,61
BRS 247 RR	1,75 A	B	3,19 a	A	3,22 ab	A	2,72
Média Geral	1,13	B	2,38	A	2,91	A	

CV Parcela (%) = 28,74

CV Subparcela (%) = 45,24

<sup>1</sup> = Déficit hídrico nos estádios reprodutivos (DHER), condições normais de campo (CNC) e irrigado (IRR).

<sup>2</sup> = Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Na interação da análise conjunta das safras entre cultivares e disponibilidades hídricas na variável taxa fotossintética no estágio R<sub>4</sub> (Tabela 14), quando comparados as disponibilidades hídricas para cada cultivar, a BRS 184 foi a única que apresentou diferença significativa entre CNC e IRR, e, a disponibilidade hídrica DHER apresentou taxa fotossintética significativamente inferior em relação a CNC e IRR, em todas as cultivares. Comparando as cultivares dentro de disponibilidade hídrica, houve um grande número de grupos de comparações de médias, destacando-se DHER, com maior valor de taxa fotossintética, a BRS 183 e no CNC, a BRS 184 e a BRS 133. No IRR houve similaridade entre Embrapa 48, BRS 232, BRS 134, BRS 133 e BRS 184 (Tabela 14). Os valores médios da taxa fotossintética em DHER foram sempre maiores no estágio V<sub>7</sub> do que no estágio R<sub>4</sub>.

A inibição da expansão foliar é uma das primeiras respostas ao estresse hídrico, com consequente redução da eficiência do processo fotossintético (TAIZ; ZEIGER, 2008). Os mesmos autores comentam ainda os efeitos da associação entre estresse por calor e déficit hídrico, onde a restrição da transpiração superaquece a folha e o estresse pelo calor inibe a fotossíntese e prejudica a função de membranas e a estabilidade protéica.

O rendimento de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e a taxa fotossintética no estágio  $R_4$  apresentaram coeficiente de correlação significativo ( $P > 0,05$ ) e positivo ( $r = 0,84$ ), justificando, portanto, que a limitação no rendimento de grãos é influenciada pela taxa fotossintética e que o déficit hídrico nos estádios reprodutivos pode influenciá-la negativamente. A fotossíntese desempenha importante papel na produção de uma cultura, pois o rendimento de grãos é potencialmente influenciado pela duração da taxa de acumulação de carboidratos (SANTOS; CARLESSO, 1998). Como neste caso o déficit hídrico ocorreu após a expansão foliar, houve diminuição da competição entre folhas e frutos pelos fotossintatos, sendo a demanda prejudicada somente pela menor disponibilidade destes, ou seja, pela diminuição na taxa fotossintética (CONFALONE et al., 1998).

**Tabela 14** – Médias da interação entre as disponibilidades hídricas e as cultivares de soja, na taxa fotossintética ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) do estágio  $R_4$ , na análise conjunta das safras 2005/06 e 2006/07.

Cultivares	Disponibilidades hídricas						Médias
	DHER <sup>1</sup>		CNC		IRR		
BR 16	10,15	bc <sup>2</sup> B	22,29	bc A	20,52	c A	17,65
Embrapa 48	9,31	C B	22,00	c A	23,77	a A	18,36
BRS 133	9,77	C B	23,87	ab A	22,13	abc A	18,59
BRS 134	8,86	C B	22,20	bc A	22,30	ab A	17,79
BRS 183	11,97	A B	20,13	d A	21,34	bc A	17,81
BRS 184	11,62	ab C	25,23	a A	22,17	abc B	19,67
BRS 214	11,46	ab B	22,63	bc A	21,47	bc A	18,52
BRS 232	8,83	C B	22,61	bc A	22,62	ab A	18,02
BRS 245 RR	9,61	C B	22,15	bc A	20,45	c A	17,40
BRS 247 RR	9,70	C B	19,61	d A	21,32	bc A	16,87
Médias	10,13		22,27		21,81		

CV Parcela (%) = 10,56

CV Subparcela (%) = 17,84

<sup>1</sup> = Déficit hídrico nos estádios reprodutivos (DHER), condições normais de campo (CNC) e irrigado (IRR).

<sup>2</sup> = Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

No estágio  $R_8$  (na colheita), a média de altura de planta (Tabela 15) na análise conjunta das safras 2005/06 e 2006/07, também apresentaram diferenças entre as cultivares e, apesar de não apresentar diferenças estatísticas entre as

disponibilidades hídricas, a maior média de altura foi obtida com irrigação nos períodos críticos. Resultados encontrados por Thomas e Costa (1994) e Petry (2000) mostram também a redução da estatura das plantas com o aumento do estresse hídrico. No entanto, era de se esperar que não houvesse diferença estatística, pois as plantas foram submetidas ao déficit hídrico na fase reprodutiva, e, nesta fase devido ao crescimento determinado destas cultivares, já deveriam ter atingido quase a totalidade de sua altura final.

A altura média das cultivares foi sempre inferior aos valores médios, pois conforme a descrição das cultivares (Tabela 2 do apêndice), a média de altura de planta, na altitude de 500 a 800m, da BRS 133 é de 88 cm, enquanto que esta mesma cultivar apresentou a média de 48,36 cm na disponibilidade hídrica DHER, 53,85 cm na CNC e 56,55 cm na IRR. As cultivares estudadas, apresentam tipo de crescimento determinado, que têm sua taxa de crescimento acentuadamente reduzida assim que inicia o período de florescimento (Hartwig, 1973). Como a disponibilidade hídrica foi limitada após o  $R_1$  (início do florescimento), o crescimento das plantas pode estar relacionado às temperaturas superiores a 30°C, apresentadas nas duas safras (Tabelas 7 e 8 do apêndice), pois o florescimento e o ciclo total da soja são dependentes principalmente de fotoperíodo e temperatura (Wilkerson et al., 1989). Em experimentos realizados em ambiente controlado, em câmaras de crescimento, BROWN (1960) constatou ser 10°C a temperatura inicial para o crescimento da soja, ou o chamado zero vital, que a temperatura ótima estaria entre 25 a 30°C, e que acima de 31°C o crescimento declinava.

De acordo com CÂMARA (1998), a melhor época teórica de semeadura da soja em qualquer região apta ao seu cultivo situa-se entre 30 (21 de novembro) e 45 dias (6 de novembro) antes do solstício de verão (21 de dezembro), pois possibilita tempo suficiente para a planta desenvolver-se com altura e porte compatíveis com elevada produtividade e colheita mecânica.

Desta forma, tanto a época de semeadura (safra 2005/06 semeadura no dia 04 de dezembro de 2005 e safra 2006/07 em 03 de dezembro de 2006), como a variação na temperatura que induziu o florescimento, acarretaram na diminuição da altura das plantas, e a limitação no crescimento também pode ter influenciado os rendimentos abaixo da média, conforme a Tabela 1.

**Tabela 15** – Médias da altura de planta (cm) no estágio R<sub>8</sub>, em cultivares de soja submetidas a três disponibilidades hídricas, na análise conjunta das safras 2005/06 e 2006/07.

Cultivares	Disponibilidades hídricas			Médias
	DHER <sup>1</sup>	CNC	IRR	
BR 16	49,48	51,02	51,81	50,77 d
Embrapa 48	54,06	51,75	51,80	52,54 cd
BRS 133	48,36	53,85	56,55	52,92 cd
BRS 134	48,93	50,67	51,61	50,40 d
BRS 183	48,21	48,22	46,43	47,62 e
BRS 184	58,90	58,38	60,75	59,34 a
BRS 214	56,30	57,14	54,78	56,07 b
BRS 232	51,17	54,85	56,58	54,20 bc
BRS 245 RR	50,52	56,23	58,50	55,08 bc
BRS 247 RR	52,68	50,07	51,53	51,43 d
Médias	51,86 A	53,22 A	54,03 A	

CV (%) = 9,29

<sup>1</sup> = Déficit hídrico nos estádios reprodutivos (DHER), condições normais de campo (CNC) e irrigado (IRR).

<sup>2</sup> = Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

### 3.5. Conclusões

1. Em condições de déficit hídrico, houve o comprometimento do crescimento das cultivares de soja, redução do IAF e da taxa fotossintética, prejudicando o rendimento de grãos da cultura;
2. Entre as cultivares houve respostas diferenciadas, sendo a BRS 184 com maior rendimento a mais tolerante, e, a BR 16 com menor rendimento, a mais sensível ao déficit hídrico;
3. O IAF se correlacionou com a taxa fotossintética, massa e rendimento de grãos, mostrando ser uma resposta das plantas ao déficit hídrico e um indicativo de rendimento.

### 3.6. Referências

- ÁVILA, M.R.; BRACCINI, A.L.; SCAPIM, C.A. MANDARINO, J.M.; ALBRECHT, L.P. VIDIGAL FILHO, P.S. Componentes do rendimento, teores de isoflavonas, proteínas, óleo e qualidade de sementes de soja. **Revista brasileira de sementes**. v. 29, n.3, p. 111-127, 2007.
- BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: Funep, 1988. 42 p.
- BLACK, R.J. Complexo soja: fundamentos, situação atual e perspectiva. In: CÂMARA, G. M. E. de S. (Ed.). **Soja: tecnologia da produção II**. Piracicaba: ESALQ, 2000. 450 p.
- BOARD, J.E.; HARVILLE, B.G. Growth dynamics the vegetative period affects yield of narrow-row, late-planted soybean. **Crop Science**, Madison, v.88, n.4, p.567-572, 1996.
- BOARD, J. E.; KANG, M. S.; HARVILLE, B. G. Path analysis identify indirect selection criteria for yield of late planted soybean. **Crop Science**, Madison, v. 37, n. 3, p. 879-884, May/June 1997.
- BROWN, O.M. **Soybean ecology: I. Development** temperature relationships from controlled studies. **Agronomy Journal**, Madison, v. 59, n. 9, p. 493-496, 1960
- BURR, I.W. & FOSTER, L.A. **A test for equality of variances**. Mimeo series nº 282. University of Purdue, West Lafayette, 26p. 1972.
- CÂMARA, G.M.S. Ecofisiologia da soja e rendimento. In: CÂMARA, G.M.S. **Soja: tecnologias da produção**. Piracicaba: ESALQ, 1998. p.256-77.
- CASAGRANDE, E.C.; FARIAS, J.R.B.; NEUMAIER, N.; OYA, T.; PEDROSO, J.; MARTINS, P.K. BRETON, M.C.: NEPOMUCENO, A.L. Expressão gênica diferencial durante déficit hídrico em soja. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**. Lavras, v. 13, n. 2, p. 168-184, 2001.
- COCHRAN, W.G.; COX, G. **Experimental Designs**. Second. Edition. John Wiley. 611p. New York, 1957.
- CONFALONE, A., COSTA, L., PEREIRA, C.R. Crescimento e captura de luz em soja sob estresse hídrico. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 165-169, 1998.
- CONFALONE, A.; DUJMOVICH, M. N. Influência do déficit hídrico sobre o desenvolvimento e rendimento da soja. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 7, n. 2, p. 183-187, 1999.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Disponível em: [www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/12graos\\_08.09.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/12graos_08.09.pdf). Acesso em 14 out. 2009.
- CORRÊA, A.R.; GODOY, H.; BERNARDES, R.L.M. **Características climáticas de Londrina**. 2.ed. Londrina: IAPAR, 1982. 16 p. (Circular, 5).

- COSTA, J.A.; TEIXEIRA, M.C.C.; MARCHEZAN, E. Taxa e duração do acúmulo de matéria seca nos grãos de soja e sua relação com o rendimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.26, n.9, p.1577-1582, 1991.
- COSTA, L.C.; CONFALONE, A.; PEREIRA, C.R. Effect of water stress on the efficiency of capture of water and radiation by soybean. **Tropical Science**, London, v. 39, p. 91-97, 1999.
- CUNHA, G.R.; BERGAMASCHI, H. Efeitos da disponibilidade hídrica sobre o rendimento das culturas. In: BERGAMASCHI et al. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 1992. cap.6, p.85-97.
- EGLI, D. B.; LEGGETT, J. E. Dry matter accumulation patterns in determinate and indeterminate soybeans. **Crop Science**, Madison, v. 13, p. 220-222, 1973.
- EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de Produção de soja - Região Central do Brasil 2009 e 2010**. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 13). Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/download/Tecnol2009.pdf>. Acesso em: 7 out. 2009.
- EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa - Solos, 2006. 306 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA - EMBRAPA. **Tecnologia de produção de soja: região central do Brasil - 2006**. Londrina, 2005. p.220. (Sistema de produção, 9).
- FARIAS, J.R.B. Environmental limitations to maximum soybean yield. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 7, 2004, Foz do Iguassu. **Proceedings**. Londrina: Embrapa Soja, 2004. p. 1287-1295.
- FARIAS, J.R.B.; ASSAD, E.D.; ALMEIDA, I.R.; EVANGELISTA, B.A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. Caracterização de risco climático nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.2, 2001.
- FARIAS, J.R.B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. Efeito da variação diária da umidade do solo sobre a fotossíntese e resistência estomática da soja. In Sociedade Brasileira Agrometeorologia, 9, ed, **Anais. Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, 9. Campina Grande, PB, p.68-70, 1995.
- FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development**, Iowa: Agric. Exp. Station, 1977. 80 p. (Spec. Rep.).
- GARDNER, W.H. Water content In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: Wi ASA, CSSA, and SSSA: 1986, p. 493-594.
- GASSEN, D.N. O desfolhamento e a planta de soja. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, p. 26, jan/fev, 2001.
- GOMES, A.C.S. **Efeito de diferentes estratégias de irrigação sob a cultura da soja (*Glycine max* (L.) merrill) na região de Santiago, RS**. 2007. 133 P. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

HARTWIG, E.E. Varietal Development. In: CALDWELL, B.E. Soybeans: improvement, production, and uses. Agronomy Journal. n.16. Madison:ASA, 1973. p.187-210.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I. C.; **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja**: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 80 p. (Embrapa Soja. Documentos, 283).

JONES Jr., J.B. **A guide for the hydroponic and soilless culture grower**. Portland: Oregon, USA, Timber Press, 1983. 124p.

JONES, H. G. **Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology**. 2.ed. New York: Cambridge, 1992. 428p.

KOKUBUN, M.; SHIMADA, S.; TAKAHASHI, M. Flower abortion caused by preanthesis water deficit is not attributed to impairment of pollen in soybean. **Crop Science**, Madison, v.41, p.1517–1521, 2001.

KÖPPEN, W. **Grundriss der klimakunde**, Walter de Gruyter: Berlin, 1931, 338 p.

KORTE, L. L.; WILLIAMS, J. H.; SPECHT, J. E.; SORENSEN, R. C. Irrigation of soybean genotypes during reproductive ontogeny I: agronomic responses. **Crop Science**, Madison, v. 23, n. 3, p. 521-527, 1983.

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

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.

LUCCHESI, A.A. Fatores da produção vegetal. In: CASTRO, P.R.C. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba : Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p.1-10.

LUCCHESI, A.A. Fatores da produção vegetal. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987, p. 1-12.

MAEHLER, A.R.; PIRES, J.L.F.; COSTA, J.A.; FERREIRA, F.G. Potencial de rendimento da soja durante a ontogenia em razão da irrigação e arranjo de plantas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.225-231, 2003.

McCREE, K.J.; FERNÁNDEZ, C.J. Simulation model for studying physiological water stress responses of whole plants. **Crop Science**, Madison, v.29, p.353-360, 1989.

MOTTA, I.S.; BRACCINI, A.L.; SCAPIM, C.A.; GONÇALVES, A.C.A.; BRACCINI, M.C.L. Características agronômicas e componentes da produção de sementes de soja em diferentes épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v.22, n.2, p.257-267, 2000.

MÜLLER, L. Fisiologia. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. **A soja no Brasil**. 1.ed. São Paulo: ITAL, 1981. cap.4, p.109-174.

NEUMAIER, N.; FARIAS, J.R.B.; NEPOMUCENO, A.L. Diferenças no índice de tolerância à seca entre cultivares de soja. *In* UFU/DEAGO, ed, Ata e Resumos. **Reunião de Pesquisa de Soja da Região Central do Brasil, 18**. Uberlândia, MG, p 274, 1997.

NEUMAIER, N.; FARIAS, J.R.B.; NEPOMUCENO A. L. Índice de tolerância à seca em quatro cultivares de soja. *In* Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, ed, Anais. **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 9**, Campina Grande, PB, pp 80-82, 1995.

NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L.; FARIAS, J.R.B. Estresses de ordem ecofisiológica. *In*: BONATO, E.R. **Estresses em soja**. Passo Fundo: EMBRAPA Trigo, 2000. 254p.

NOGUEIRA, S. S. S.; MIRANDA, M. A. C.; HAAG, H. P.; NAGAI, V. Efeito da época de semeadura na duração dos períodos vegetativo e reprodutivo e na produção das cultivares de soja UFV-1 e IAC-7. *In*: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 3., 1984, Campinas. **Anais...** Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1984. p. 33-44.

PARENTE, R.C.P. **Aspectos da análise de resíduos**. 1984. 118 f. Dissertação (Mestrado em matemática) - ESALQ/USP, Piracicaba - SP.

PEREIRA, A.R.; MACHADO, E.C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidade de vegetais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1987. 33p. (Boletim técnico, 114).

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

PETRY, M.T. **Interação solo-planta e disponibilidade de água no solo às plantas de sorgo e soja**. 2000. 127f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

QUEIROZ, E. F.; MOLION, L. C. B.; MINOR, H. C.; NEUMAIER, N. Um modelo matemático de quantificação do efeito da disponibilidade hídrica em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 10, p. 683-690, 1996.

RAMBO, L. COSTA, J.A.; PIRES, J.L.F.; PARCIANELLO, G.; FERREIRA, F.G. Rendimento de grãos da soja em função do arranjo de plantas. **Ciência Rural**, v. 33, n. 3, p. 405-411, 2003.

SALINAS, A.P.R.; ZELENER, N.; CRAVIOTTO, R.M.; BISARO, Z. Respuestas fisiologicas que caracterizam el comportamiento de diferentes cultivares de soja a la diferencia hídrica en el suelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.5, p.331-338, 1996.

SANTOS, M.A. dos; NICOLAS, M.F.; HUNGRIA, M. Identificação de QTL associados à simbiose entre *Bradyrhizobium japonicum*, *B. elkanii* e soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. vol.41, n.1, pp. 67-75, 2006.

SANTOS, R.F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n. 3, p.287-294, 1998.

SAS INSTITUTE. **SAS users guide: statistics: version 8.2**. 6. ed. Cary, 2001.

- SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. "An analysis of variance test for normality". *Biometrika*, v.52, p. 591-611, 1965.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. (Ed.) **Fisiologia vegetal**. 4a. ed. Porto Alegre: Artmed, 2008. 820p.
- TAWARE, S. P.; HALVANKAR, G. B.; RAUT, V. M.; PATIL, V. P. Variability, correlation and path analysis in soybean hybrids. **Soybean Genetics Newsletter**, Ames, v. 24, p. 96-98, May 1997.
- THOMAS, A.L.; COSTA, J.A. Influência do déficit hídrico sobre o desenvolvimento e rendimento da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.9, p.1389-1396, 1994.
- TUKEY, J.W. **One degree of freedom for non-additively**. *Biometrics* 5:232-242. 1949.
- TURNER, N.C. Further progress in crop water relations. **Advances in Agronomy**, v.58, p.293-338, 1997.
- VASILAS, B. L.; NELSON, R. L.; FUHRMANN, J. J.; EVANS, T. A. Relationship of nitrogen utilization patterns with soybean yield and seed-fill period. **Crop Science**, Madison, v.35, n.3, p.809-813, 1995.
- WILKERSON, G. G.; JONES, J. W.; BOOTE, K. J.; BUOL, G. S. Photoperiodically sensitive interval in time to flower of soybean. **Crop Science**, Madison, v. 29, p. 721-726, 1989.
- ZONTA, E.P.; MACHADO, A. A., SILVEIRA JÚNIOR, P., 1982. **Sistema de Análise Estatística SANEST**, Registro na SEI No. 066060, UFPEL, Pelotas, 63pp.

## 4. ARTIGO 2: FIXAÇÃO BIOLÓGICA DO NITROGÊNIO EM CULTIVARES DE SOJA SOB DÉFICIT HÍDRICO

### 4.1. Resumo

A soja, rica em proteína e óleo, está entre as cinco principais fontes protéicas e, devido ao elevado teor de proteína dos grãos, o nitrogênio é o nutriente requerido em maior quantidade pela cultura. A necessidade de nitrogênio (N) pelas plantas de soja, em condições de campo, é suprida em parte pela fixação biológica do nitrogênio (FBN) e pelo elemento disponível no solo, em diferentes formas. No entanto, tem sido largamente documentado que a FBN em soja é extremamente sensível ao déficit hídrico, sendo o primeiro processo a ser prejudicado. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a fixação biológica do nitrogênio em cultivares de soja sob déficit hídrico. O experimento foi conduzido na safra 2006/2007 no campo experimental da Embrapa Soja, em Londrina-PR. A semeadura foi realizada manualmente com revolvimento do solo somente nas linhas, no dia 03 de dezembro de 2006, com delineamento em blocos ao acaso com parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas principais foram aplicadas três disponibilidades hídricas (1 – Déficit hídrico nos estádios reprodutivos - DHER, 2 – condições normais de campo - CNC e 3 – irrigado - IRR), enquanto as subparcelas receberam as 10 cultivares de soja (BR 16, Embrapa 48, BRS 133, BRS 134, BRS 245 RR, BRS 247 RR, BRS 183, BRS 184, BRS 214, and BRS 232). No estádio R<sub>8</sub>, foram coletadas cinco plantas de cada subparcela, foram separadas parte aérea e raiz, e desta retirado os nódulos. As variáveis analisadas foram as características relacionadas com a nodulação (número de nódulos – NN; massa de nódulos secos - MNS) e o crescimento da planta (massa da parte aérea seca – MPAS; massa de raiz seca - MRS), após a secagem em estufa de circulação forçada de ar, à 65° C até atingir peso constante. Houve variação entre as cultivares quanto a nodulação, sendo esta menor quando houve a limitação hídrica causada pelo DHER. O estresse causado pelo déficit hídrico nos estádios reprodutivos (DHER) foi limitante para a nodulação, restringindo a FBN. Os menores rendimentos de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) apresentados na disponibilidade hídrica DHER, podem ser reflexos do comprometimento da FBN.

**Palavras-chave:** *Glycine max* (L.) Merrill. Estresse hídrico. Seca. Nodulação e *Bradyrhizobium*.

## BIOLOGICAL NITROGEN FIXATION IN SOYBEAN CULTIVARS UNDER WATER DEFICIT

### 4.1. Abstract

Soybean, a crop rich in protein and oil, is among the top five protein sources. Because of its high protein content, nitrogen is the nutrient required in the largest amount for production. The need for nitrogen (N) by soybean plants in field conditions is supplied by biological nitrogen fixation (BNF) and by the availability of the element in the soil. However, it has been widely documented that the BNF in soybean is extremely sensitive to water deficit, being the first process to be impaired. Thus, the objective of this study was to evaluate the biological nitrogen fixation in soybean cultivars under water deficit. The experiment was conducted in the 2006/07 season at the experimental field of the National Soybean Research Center of Embrapa, in Londrina-PR, Brazil. The sowing was done manually with soil disturbance only in the rows, on December 03, 2006, in a randomized blocks design with split-plot model and four replicates. The main plots received three water availability: 1 – water stress on reproductive stages (DHER), 2 – natural rainfall (CNC), and 3 – irrigation (IRR); while the subplots received 10 soybean cultivars (BR 16, Embrapa 48, BRS 133, BRS 134, BRS 245 RR, BRS 247 RR, BRS 183, BRS 184, BRS 214, and BRS 232). At the R<sub>8</sub> stage, five plants of each subplot were separated shoot and root, and this removed the nodules. The characteristics examined were related to nodulation (number of nodules – NN; nodule dry mass - MNS) and plant growth (shoot mass dry – MPAS; root dry mass - MRS) after drying in an oven forced circulation of air at 65° C until weight constant. There was variation among cultivars in the nodulation, which is lower when there was water limitation caused by DHER. There was variation among cultivars in the nodulation, which is lower when there was water limitation caused by DHER. The stress caused by water stress during reproductive stages (DHER) was limiting for nodulation, restricting the FBN. The lowest grain yield (kg ha<sup>-1</sup>) presented in available water DHER, may reflect the involvement of the FBN.

**Keywords:** *Glycine max* (L.) Merrill. Water stress. Drought. Nodulation and *Bradyrhizobium*.

## 4.2. Introdução

A soja, rica em proteína e óleo, está incluída entre as cinco principais fontes protéicas (MAEHLER et al., 2003). Devido ao elevado teor de proteína dos grãos, o nitrogênio é o nutriente requerido em maior quantidade pela cultura, apresentando um teor médio de 6,5% de nitrogênio. Desse modo, para produzir 1000 kg de grãos de soja são necessários 65 kg de N, adicionando-se mais 15 kg de N para as folhas, caule e raízes tem-se 80 kg de N. Conseqüentemente, para obtenção de produtividades de grãos de 3000 kg ha<sup>-1</sup> são necessários 240 kg de N, dos quais 195 kg são retirados da lavoura pelos grãos (HUNGRIA et al., 2001).

A soja pode se beneficiar pela associação simbiótica com rizóbios pertencentes, principalmente, às espécies *Bradyrhizobium japonicum* e *B. elkanii*, devido a esforços da pesquisa, empreendidos no melhoramento das cultivares e na seleção de estirpes de rizóbios, com o objetivo de elevar a taxa de fixação biológica de Nitrogênio, o que viabilizou a atividade (HUNGRIA et al., 2006).

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) representa um dos principais fatores de competitividade da cultura da soja. Com a exploração desta tecnologia, estima-se que a economia com fertilizantes nitrogenados seja da ordem de seis bilhões de dólares anuais no Brasil, além de garantir alta produtividade de grãos (ZILLI et al., 2006). No Brasil, as taxas de FBN, para a cultura da soja, podem atingir 300 kg ha<sup>-1</sup> de N, o que representa até 90% do N total acumulado pelas plantas (BODDEY et al., 1990; HUNGRIA et al., 2006; HUNGRIA et al., 2007). Contudo, uma análise de vários experimentos conduzidos principalmente nos Estados Unidos e Austrália, mostrou que o N derivado da FBN na soja, nesses países, tem decrescido de 65% para 54%, provavelmente em razão do aumento da utilização de fertilizantes nitrogenados (VAN KESSEL; HARTLEY, 2000).

A necessidade de nitrogênio pelas plantas de soja, em condições de campo, é suprida pela simbiose e pelo elemento disponível no solo. No entanto, tem sido largamente documentado que a FBN em soja é extremamente sensível ao déficit hídrico sendo o primeiro processo a ser prejudicado, antes mesmo de afetar a fotossíntese, portanto, diminui a síntese protéica antes da produção de massa seca (SINCLAIR et al., 1987; SERRAJ; SINCLAIR, 1997). O comprometimento da FBN pode ocorrer quando o fornecimento ou a falta de umidade superficial do solo aliada

a temperaturas elevadas, forem fatores limitantes (CATTELAN; HUNGRIA, 1994). A fase mais crítica para o estabelecimento da fixação é logo após a semeadura, pois o solo permanece descoberto e desta forma, nos períodos mais quentes do dia, pode atingir altas temperaturas nos primeiros cinco cm de profundidade, o que poderá prejudicar a sobrevivência e a associação simbiótica (HUNGRIA et al., 2007), principalmente em áreas submetidas ao preparo convencional do solo.

De forma direta, o déficit hídrico compromete a sobrevivência do *Bradyrhizobium*, a formação e a longevidade dos nódulos, a síntese de leghemoglobina, responsável pela coloração interna rósea típica de nódulos ativos e cuja função é transportar o oxigênio. Além disso, o estresse mais severo pode levar à paralisação irreversível da fixação (SERRAJ et al., 1999; HUNGRIA; VARGAS, 2000). A deficiência hídrica provoca ainda, a redução da permeabilidade dos nódulos aos gases limitando o acesso de oxigênio para a respiração e conseqüentemente a energia para a FBN (CASTILLO; LAYZELL, 1995). A disponibilidade hídrica adequada também é essencial para a importação de fotoassimilados e exportação dos compostos nitrogenados, que podem causar a desnaturação da nitrogenase quando se acumulam nos nódulos (HUNGRIA; VARGAS, 2000; SANTOS, 2006).

Como a cultura da soja é semeada em todas as regiões do Brasil, e, portanto, sob condições ambientais muito diversas, está sujeita às variações climáticas sendo estas o principal fator de risco e de insucesso no cultivo de soja. Neste aspecto, a seca é o principal fenômeno gerador de prejuízos e de riscos para a cultura (FARIAS et al., 2001). Os estresses causados pelo déficit hídrico durante estádios críticos têm limitado a obtenção de rendimentos mais próximos ao potencial produtivo da espécie (FARIAS, 2004).

Sistemas de manejo do solo, como a rotação de culturas e a manutenção da resteva na superfície, que resultam em maior infiltração e conservação da água e diminuição da temperatura no solo, e também o uso adequado da irrigação, podem constituir-se em práticas complementares para garantir melhores condições de nodulação e de FBN (MAEHLER et al., 2003).

A expansão do cultivo da soja RR no Brasil trouxe à tona discussões quanto à eficiência do processo de FBN. A incorporação de genes de tolerância a herbicidas ou inseticidas não afeta diretamente a simbiose, contudo, a regulação de outros genes pode ser alterada pela introdução do gene transgênico (SOUZA et al.,

2008). Isso, juntamente com a aplicação do herbicida específico, pode afetar a FBN, diretamente, pelos efeitos sobre a bactéria ou sobre a simbiose, ou, indiretamente, pelos efeitos sobre a leguminosa hospedeira (HUNGRIA et al., 2007). Há preocupação com os possíveis efeitos da transgenia na microbiota do solo, que podem ocorrer pela liberação de novas proteínas na rizosfera, pela persistência de DNA transgênico em material senescente no solo que interage com a microbiota, e pela transferência de genes para microrganismos indígenas (O'DONNELL; GORRES, 1999; SOUZA et al., 2008).

Apesar de todo o esforço da pesquisa brasileira, que proporcionou ao país destaque no processo biológico para a cultura, e conseqüentemente cultivares com maior potencial de rendimento, ainda assim, é necessário desenvolver pesquisas sobre a dinâmica das populações de rizóbios nos solos, seleção de cultivares e estirpes com maior capacidade simbiótica (HUNGRIA et al., 2007) e entender as relações do déficit hídrico durante estádios críticos e a FBN e as limitações ocasionadas às cultivares na obtenção de rendimentos mais próximos ao potencial produtivo da espécie.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a fixação biológica do nitrogênio em cultivares de soja sob déficit hídrico.

#### 4.3. Material e métodos

O experimento foi conduzido no campo experimental da Embrapa Soja, em Londrina-PR, (Figuras 1 e 2 do apêndice), localizado na latitude 23° 11 S, longitude 51° 11W e altitude 566m. O clima predominante, segundo Köppen (1931), é do tipo subtropical, sendo a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e a do mês mais frio inferior a 18°C (CORRÊA et al., 1982).

Na classificação da Embrapa (2006), o tipo de solo do local do experimento, é Latossolo Vermelho Eutroférico argiloso. As características químicas do solo estão apresentadas na Tabela 1 do apêndice, sendo as correções necessárias realizadas conforme recomendação para a cultura da soja. O experimento foi semeado manualmente na safra 2006/07, com revolvimento do solo somente nas linhas, no dia 03 de dezembro de 2006, com espaçamento de 45cm, deixando após o desbaste 12 plantas/m. A inoculação das sementes de soja foi

realizada conforme Hungria et al., (2007), com inoculante turfoso contendo as estirpes Semia 587 + Semia 5019 e o tratamento das sementes com o fungicida Vitavax + Thiram (Figura 3 do apêndice). Os tratos culturais foram realizados de acordo com as recomendações das Tecnologias de Produção de Soja para a Região Central do Brasil 2006 (EMBRAPA, 2005).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas principais, três disponibilidades hídricas (1 – Déficit hídrico nos estádios reprodutivos - DHER, 2 – condições normais de campo - CNC e 3 – irrigado - IRR) e em subparcelas, as 10 cultivares de soja (BR 16, Embrapa 48, BRS 133, BRS 134, BRS 245 RR, BRS 247 RR, BRS 183, BRS 184, BRS 214 e BRS 232), a descrição com as características das cultivares estão apresentadas na Tabela 2 do apêndice.

A disponibilidade hídrica DHER foi obtido utilizando-se abrigos móveis contra a chuva, com fechamento automático, evitando-se, assim, a precipitação pluviométrica sobre as parcelas, durante o período desejado (Figura 4 do apêndice). As cultivares foram submetidas às condições normais de campo até o estádio R<sub>1</sub> (início do florescimento), quando foi iniciado o fechamento automático dos abrigos, ao chover. O solo das parcelas sob DHER foi isolado por uma barreira de placas verticais de concreto, enterradas até a profundidade de 80 cm, visando evitar a troca de umidade com o solo externo aos abrigos. Ainda, ao redor dos abrigos, o solo foi gramado para impedir o escoamento superficial de água.

Na disponibilidade hídrica IRR, a suplementação hídrica foi efetivada em cada parcela, manualmente com mangueira (Figura 5 do apêndice), mantendo o potencial matricial da água no solo entre -0,03 e -0,05 MPa, sendo a umidade monitorada por tensiômetros de mercúrio (Figura 6 do apêndice), enterrados no solo à profundidade de 30cm, e quando o mercúrio atingia 20cm de altura capilar era realizado a irrigação. Também, semanalmente, a umidade do solo foi monitorada pelo método gravimétrico (GARDNER, 1986).

Na disponibilidade hídrica DHER, cada subparcela foi constituída por três linhas de três metros, com 0,5m nas entrelinhas, totalizando uma área de 4,5m<sup>2</sup>. As subparcelas do CNC e IRR foram constituídas por oito linhas de seis metros, com 0,5m nas entrelinhas, totalizando uma área de 24m<sup>2</sup>.

Os abrigos foram acionados, a partir de do dia 19 de janeiro de 2007. Na disponibilidade hídrica IRR, a suplementação de água foi realizada nos dias 16 e 17 de fevereiro; 08, 09 e 10 de março de 2007, ou seja, cinco irrigações no decorrer da safra. No entanto, os abrigos fecharam (ao chover) por um período de 47 dias.

A pluviosidade acumulada diariamente, temperaturas máxima, mínima e média diárias, observadas no período da safra (dezembro de 2006 a abril de 2007), estão expressas na Figura 8 do apêndice. A configuração das condições climáticas no período da safra, foi de distribuição regular das chuvas com temperaturas mais altas no final do ciclo da cultura.

No estágio R<sub>8</sub>, foram coletadas cinco plantas de cada subparcela e, com auxílio de peneira com malha de 3 mm e água, foi realizada a limpeza do solo aderido às raízes. Após drenagem do excesso de água das plantas, foram separadas parte aérea e raiz (Figura 1), e os nódulos. Em seguida, foram acondicionados em sacos de papel identificados com suas respectivas partições (nódulos, raízes e parte aérea). As variáveis foram quantificadas após a secagem das plantas em estufa de circulação forçada de ar, à 65° C até atingir peso constante.



**Figura 1** – Separação das partes da planta, neste caso raízes sem e com nódulos.

As variáveis apresentadas e analisadas foram as características relacionadas com a nodulação (massa de nódulos secos - MNS; número de nódulos - NN) e o crescimento da planta (massa da parte aérea seca - MPAS; massa de raiz seca - MRS). O N total, acumulado nos tecidos, não foi analisado porque, em estudos prévios com 152 cultivares de soja, Bohrer e Hungria (1998) e Hungria e Bohrer (2000) constataram alta correlação entre os parâmetros de MPAS e N total acumulado pelas plantas ( $r = 0,87^{**}$  e  $r = 0,92^{**}$ ), dispensando a necessidade de análise do teor de N nos tecidos.

O método estatístico utilizados para todas as variáveis resposta constituiu-se de um diagnóstico exploratório, seguido da análise de variância (ANOVA). Neste diagnóstico exploratório avaliaram-se os seguintes pré-requisitos: a distribuição normal dos erros experimentais pelo método de Shapiro e Wilk (1965), a homogeneidade de variâncias dos tratamentos pelo método de Burr e Foster (1972), a aditividade do modelo do delineamento experimental pelo método de Tukey (1949) e a análise dos resíduos pelo método apresentado em Parente (1984). Além da análise de variância aplicou-se também o teste de comparações múltiplas de médias pelo método de Duncan ao nível de significância de  $\alpha = 0,05$  (COCHRAN; COX, 1957). Os programas estatísticos utilizados foram o SANEST (ZONTA et al., 1982) e o SAS e (SAS INSTITUTE, 2001).

#### 4.4. Resultados e discussão

Conforme a Figura 8 do apêndice, entre os meses de dezembro de 2006 e abril de 2007, período do desenvolvimento do experimento, as chuvas foram bem distribuídas com alguns picos de temperaturas altas no início da safra com aumento de temperaturas mais acentuado no final do ciclo.

De acordo com os dados analisados, a disponibilidade hídrica foi limitante para número de nódulos (Tabela 1), pois para o DHER foi o que apresentou o menor número de nódulos (NN) em todas as cultivares estudadas. No entanto, somente a cultivar BRS 183, não apresentou diferença significativa entre as disponibilidades hídricas DHER e CNC e, para DHER e IRR, as cultivares Embrapa 48 e BRS 184. Entre CNC e IRR, mesmo havendo uma grande variação nas médias, não houve diferença significativa. O menor NN apresentado em DHER, foi

decorrente das baixas disponibilidades hídricas impostas às cultivares, pois Serraj e Sinclair (1997) destacam a sensibilidade da FBN ao déficit hídrico no estabelecimento da associação biológica, na sobrevivência e na atividade do rizóbio.

O déficit hídrico foi limitante na fixação do nitrogênio na soja, pois o comprometimento da nodulação pelo menor NN na disponibilidade hídrica DHER, refletiu no rendimento de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) ocorrida também no DHER, isso pode ser observado na Tabela 1 do artigo 1. Lugg e Sinclair (1981) constataram alta correlação positiva ( $> 0,75$ ) entre o conteúdo de N nas folhas, o aparelho fotossintético e as taxas de assimilação de  $\text{CO}_2$ , evidenciando a associação dessas características com o rendimento de grãos. Estes resultados demonstram a sensibilidade da soja ao déficit hídrico (SINCLAIR et al., 1987; SERRAJ; SINCLAIR, 1997).

Quando foram comparadas as cultivares em cada disponibilidade, a maior nodulação em DHER foi na cultivar Embrapa 48, porém, devido ao alto CV apresentado, porém se comparamos a Embrapa 48 com 220 nódulos e a BRS 232 com 79 nódulos, ou seja 2,7 vezes a mais de nódulos. Na disponibilidade hídrica CNC a maior média foi da cultivar BRS 134, diferindo somente da BRS 232, enquanto que em IRR a BRS 134 também apresentou a maior média de nodulação e, neste, apenas não diferiu das cultivares BRS 245 RR e BRS 247 RR. A variação observada no número de nódulos entre as cultivares está relacionada a caracteres intrínsecos (genéticos) das cultivares avaliadas, conforme resultados encontrados por Bohrer e Hungria (1998), porém quando houve a limitação hídrica, a variação foi bem mais acentuada, indicando respostas diferenciadas entre as cultivares.

Segundo Salisbury e Ross, (1992) a FBN promove a produção de aminoácidos, ureídios e amidas, que são descarregadas no xilema e levadas até as folhas para utilização. Para Casagrande et al., (2001), a variação entre cultivares com maior ou menor capacidade de absorver e utilizar esses compostos na folha podem estar relacionadas com a presença, ou com os níveis de expressão de proteínas transportadoras de aminoácidos. Segundo o autor, a redução na metabolização de compostos nitrogenados vindos do processo simbiótico certamente seria limitante no processo de enchimento de grãos em soja e, conseqüentemente, expressaria a maior ou menor capacidade de suportar períodos de déficit hídrico.

**Tabela 1** – Médias da interação entre disponibilidades hídricas e cultivares de soja, na variável número de nódulos (NN), na safra 2006/07.

Cultivares	Disponibilidades hídricas			Médias
	DHER <sup>1</sup>	CNC	IRR	
BR 16	126 a <sup>2</sup> B	334 ab A	303 b A	254
Embrapa 48	220 a B	443 ab A	380 b AB	348
BRS 133	105 a B	401 ab A	293 b A	266
BRS 134	142 a B	461 a A	617 a A	407
BRS 183	97 a A	261 ab A	259 b A	205
BRS 184	168 a B	336 ab A	266 b AB	256
BRS 214	90 a B	415 ab A	320 b A	275
BRS 232	79 a B	256 b A	319 b A	218
BRS 245 RR	91 a B	376 ab A	440 ab A	302
BRS 247 RR	105 a B	448 ab A	460 ab A	338
Médias	122	373	366	

CV Parcela (%) = 17.16

CV Subparcela (%) = 30.78

<sup>1</sup> = Déficit hídrico nos estádios reprodutivos (DHER), condições normais de campo (CNC) e irrigado (IRR).

<sup>2</sup> = Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Na interação entre as disponibilidades hídricas e cultivares na variável massa de nódulos secos (MNS), quando comparados as disponibilidades hídricas em cada cultivar, as menores médias foram sempre no DHER (Tabela 2), porém, as cultivares BR 16, BRS 183 e BRS 184 não apresentaram diferenças significativas entre as disponibilidades hídricas, e as cultivares Embrapa 48 e BRS 214 não apresentaram diferenças entre DHER e IRR.

Entre as cultivares em cada disponibilidade hídrica, a Embrapa 48 foi a de maior média em DHER, no entanto, diferiu somente da BRS 214 que apresentou a menor massa de nódulos nessa condição. A Embrapa 48, apresentou a maior massa de nódulos no CNC e, neste caso, diferiu das cultivares BR 16, BRS 183, BRS 184 e BRS 214. Na IRR, a cultivar BRS 134 foi a de maior média na massa de nódulos e não diferiu somente das cultivares Embrapa 48, BRS 133, BRS 232 e BRS 245 RR.

Na variável número de nódulos (Tabela 1) e na massa de nódulos (Tabela 2), houve grande variação entre as cultivares, tanto dentro das disponibilidades hídricas quanto nas repostas as disponibilidades. Segundo Serraj et al., (2001), há uma grande variação genética entre as espécies de leguminosas e entre cultivares à sensibilidade da FBN ao déficit hídrico.

**Tabela 2** – Médias da interação entre disponibilidades hídricas e cultivares de soja, na massa de nódulos secos (g), na safra 2006/07.

Cultivares	Disponibilidades hídricas						Médias
	DHER <sup>1</sup>		CNC		IRR		
BR 16	0,57	ab <sup>2</sup> A	1,14	bc A	1,21	bc A	0,97
Embrapa 48	1,25	a B	2,18	a A	1,55	abc AB	1,66
BRS 133	0,70	ab B	1,79	abc A	1,69	abc A	1,39
BRS 134	0,69	ab B	1,93	ab A	2,33	A A	1,65
BRS 183	0,39	ab A	0,94	c A	1,01	C A	0,78
BRS 184	0,67	ab A	1,21	bc A	1,14	C A	1,01
BRS 214	0,29	b B	1,04	bc A	0,87	C AB	0,73
BRS 232	0,39	ab B	1,39	abc A	1,74	abc A	1,17
BRS 245 RR	0,38	ab B	1,35	abc A	1,64	abc A	1,12
BRS 247 RR	0,50	ab B	1,81	abc A	2,07	ab A	1,46
Médias	0,58		1,48		1,53		

CV Parcela (%) = 17.83

CV Subparcela (%) = 32.41

<sup>1</sup> = Déficit hídrico nos estádios reprodutivos (DHER), condições normais de campo (CNC) e irrigado (IRR).

<sup>2</sup> = Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Para a variável massa da parte aérea seca, houve interação entre as disponibilidades hídricas e as cultivares (Tabela 3). No entanto, não houve diferença estatística entre as cultivares quando analisadas em cada nível de disponibilidade hídrica. Quando analisada cada cultivar entre as disponibilidades hídricas, somente as cultivares BRS 184 e BRS 232 apresentaram diferenças significativas entre DHER e CNC, com maior média no CNC. A cultivar BRS 232 também foi estatisticamente diferente entre o CNC e o IRR, sendo este último o de menor média. Bohrer e Hungria (1998) e Hungria e Bohrer (2000), avaliando 152 cultivares de soja, constataram que a MNS estava correlacionada tanto com a MPAS (valores entre  $r = 0,68^{**}$  e  $r = 0,80^{**}$ ), e com o N total acumulado pela planta nos tecidos (valores entre  $r = 0,65^{**}$  e  $r = 0,74^{**}$ ).

Mesmo que a maioria das cultivares não tenha apresentado diferenças significativas entre as disponibilidades hídricas, ainda assim, houve variação entre a disponibilidade hídrica DHER (87,23 g), CNC (108,57 g) e IRR (106,69 g), com uma diferença média de 20% entre o maior e o menor valor expresso quando houve déficit hídrico (Tabela 3). Kuss et al., (2008) também obtiveram respostas favoráveis na massa da parte aérea seca, estudando a disponibilidade hídrica e a população de plantas. Quando disponibilizaram a irrigação durante todo o ciclo, os valores foram estatisticamente superiores, seguido pelo manejo com irrigação nos períodos críticos.

**Tabela 3** – Médias da interação entre disponibilidades hídricas e cultivares de soja, na massa da parte aérea seca (g), de cultivares de soja, na safra 2006/07.

Cultivares	Disponibilidades hídricas						Médias
	DHER <sup>1</sup>		CNC		IRR		
BR 16	89,58	a <sup>2</sup> A	74,89	a A	93,74	a A	86,07
Embrapa 48	94,59	a A	78,29	a A	63,52	a A	78,80
BRS 133	85,53	a A	84,22	a A	110,69	a A	93,48
BRS 134	82,97	a A	128,81	a A	144,15	a A	118,64
BRS 183	71,41	a A	114,11	a A	99,69	a A	95,07
BRS 184	63,37	a B	147,21	a A	107,16	a AB	105,91
BRS 214	133,47	a A	123,57	a A	124,48	a A	127,17
BRS 232	84,03	a B	143,40	a A	74,17	a B	100,53
BRS 245 RR	80,18	a A	97,75	a A	127,44	a A	101,79
BRS 247 RR	87,12	a A	93,47	a A	121,90	a A	100,83
Médias	87,23		108,57		106,69		

CV Parcela (%) = 11.77 CV Subparcela (%) = 34.50

<sup>1</sup> = Déficit hídrico nos estádios reprodutivos (DHER), condições normais de campo (CNC) e irrigado (IRR).

<sup>2</sup> = Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si a 6% de probabilidade pelo teste de Tukey.

<sup>3</sup> = Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Na variável massa de raiz seca (MRS), houve diferença significativa entre as cultivares somente na média geral (Tabela 4). Neste caso, a cultivar BRS 214 foi a de maior média, diferindo estatisticamente, somente da BRS 133, a cultivar com a menor média. Da mesma forma que na MPAS a MRS apesar de não apresentar diferenças significativas entre as disponibilidades hídricas, ainda assim, houve variação entre as disponibilidades hídricas, sendo a DHER (9,30 g), CNC (10,59 g) e IRR (9,52 g), com uma diferença média de 20% entre o maior e o menor valor expresso quando submetido ao déficit hídrico (Tabela 4).

Alguns coeficientes de variação (CV) para MPAS, MNS e NN foram próximos a 30%, porém valores superiores a este, são comumente relatados para os parâmetros de nodulação (HUNGRIA; BOHRER, 2000; NICOLÁS et al., 2002).

**Tabela 4** – Médias da variável massa de raiz seca (g), em cultivares de soja, submetidas a três disponibilidades hídricas, na safra 2006/07.

Cultivares	Disponibilidades hídricas			Médias
	DHER <sup>1</sup>	CNC	IRR	
BR 16	9,21	8,18	8,92	8,77 ab <sup>2</sup>
Embrapa 48	9,27	9,66	8,45	9,13 ab
BRS 133	8,36	7,83	6,37	7,52 b
BRS 134	8,04	11,77	10,34	10,05 ab
BRS 183	8,69	10,23	9,76	9,56 ab
BRS 184	9,62	11,68	7,26	9,52 ab
BRS 214	12,71	12,23	11,03	11,99 a
BRS 232	9,42	14,92	10,49	11,58 ab
BRS 245 RR	8,34	12,41	12,28	11,01 ab
BRS 247 RR	9,42	7,04	10,28	8,91 ab
Médias	9,30 A	10,59 A	9,52 A	

CV Parcela (%) = 11.04 CV Subparcela (%) = 32.64

<sup>1</sup> = Déficit hídrico nos estádios reprodutivos (DHER), condições normais de campo (CNC) e irrigado (IRR).

<sup>2</sup> = Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si a 6% de probabilidade pelo teste de Tukey.

#### 4.5. Conclusões

1. Houve variação entre as cultivares quanto a nodulação, sendo esta menor quando houve a limitação hídrica causada pelo DHER.
2. O estresse causado pelo déficit hídrico nos estádios reprodutivos (DHER) foi limitante para a nodulação, restringindo a FBN.
3. Os menores rendimentos de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) apresentados na disponibilidade hídrica DHER, podem ser reflexos do comprometimento da FBN.

## 4.6. Referências

- BODDEY, R.M.; URQUIAGA, S.; PERES, J.R.; SUHET, A.R.; NEVES, M.C.P. Quantification of the contribution of N<sub>2</sub> fixation to field-grown legumes: a strategy for the practical application of the <sup>15</sup>N isotope dilution technique. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 22, p. 649-655, 1990.
- BOHRER, T.R.J.; HUNGRIA, M. Avaliação de cultivares de soja quanto à fixação biológica do nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, p.937-953, 1998.
- BURR, I.W. & FOSTER, L.A. **A test for equality of variances**. Mimeo series n<sup>o</sup>. 282. University of Purdue, West Lafayette, 26p. 1972.
- CASTILLO, L.D.; LAYZELL, D.B. Drought stress, permeability to O<sub>2</sub> diffusion, and the respiratory kinetics of soybean root nodules. **Plant Physiology**, Rockville, v.107, n.4, p.1187-1194, 1995.
- CATTELAN, A. J.; HUNGRIA, M. Nitrogen nutrition and inoculation. In: FAO (ed.) **Tropical soybean improvement and production**. FAO, Rome, 1994. p. 201-215.
- COCHRAN, W.G.; COX, G. **Experimental Designs**. Second. Edition. John Wiley. 611p. New York, 1957.
- CORRÊA, A.R.; GODOY, H.; BERNARDES, R.L.M. **Características climáticas de Londrina**. 2.ed. Londrina: IAPAR, 1982. 16 p. (Circular, 5).
- EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa - Solos, 2006. 306 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA - EMBRAPA. **Tecnologia de produção de soja: região central do Brasil - 2006**. Londrina, 2005. p.220. (Sistema de produção, 9).
- FARIAS, J.R.B. Environmental limitations to maximum soybean yield. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 7, 2004, Foz do Iguassu. **Proceedings**. Londrina: Embrapa Soja, 2004. p. 1287-1295.
- FARIAS, J.R.B.; ASSAD, E.D.; ALMEIDA, I.R.; EVANGELISTA, B.A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. Caracterização de risco climático nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.2, 2001.
- GARDNER, W.H. Water content In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: Wi ASA, CSSA, and SSSA: 1986, p. 493-594.
- HUNGRIA, M.; BOHER, T.R.J. Variability of nodulation and dinitrogen fixation capacity among soybean cultivars. **Biology and Fertility of Soils**, v.31, p.45-52, 2000.
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I. C.; **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja**: componente essencial para a competitividades do produto brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 80 p. (Embrapa Soja. Documentos, 283).
- HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I.C. **Fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja**. Londrina, PR: Embrapa, CNPSo, 2001. 48p. (EMBRAPA CNPSo. Circular Técnica, 35).

- HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I.C.; GRAHAM, P.H. Contribution of biological nitrogen fixation to the N nutrition of grain crops in the tropics: the success of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) in South America. In: SINGH, R.P.; SHANKAR, N.; JAIWAL, P.K. (Ed.). **Nitrogen nutrition and sustainable plant productivity**. Houston: Studium Press, LLC, 2006. p.43-93.
- HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T. Environmental factors affecting N<sub>2</sub> fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. **Field Crops Research**, v. 65, p. 151-164, 2000.
- KÖPPEN, W. **Grundriss der klimakunde**, Walter de Gruyter: Berlin, 1931, 338 p.
- 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.
- LUGG, D.G.; SINCLAIR, T.R. Seasonal changes in photosynthesis of field-grown soybean leaflets: 2. Relation to nitrogen content. **Photosynthetica**, Prague, v.15, p.138-144, 1981.
- MAEHLER, A.R.; PIRES, J.L.F.; COSTA, J.A.; FERREIRA, F.G. Potencial de rendimento da soja durante a ontogenia em razão da irrigação e arranjo de plantas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.225-231, 2003.
- NICOLÁS, M.F.; ARIAS, C.A.A.; HUNGRIA, M. Genetics of nodulation and nitrogen fixation in Brazilian soybean cultivars. **Biology and Fertility of Soils**, v.36, p.109-117, 2002.
- O'DONNELL, A.G.; GORRES, H. 16S rDNA methods in soil microbiology. **Current Opinion in Biotechnology**, v.10, p.225-229, 1999.
- PARENTE, R.C.P. **Aspectos da análise de resíduos**. 1984. 118 f. Dissertação (Mestrado em matemática) - ESALQ/USP, Piracicaba - SP.
- SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Plant Physiology**. California, Wadsworth Publishing Company, 1992. 682p.
- SANTOS, E. L. **Influência do genótipo sobre as concentrações de proteína e óleo em sementes de soja [*Glycine max* (L.) Merrill]**. 2006. 53 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR.
- SAS INSTITUTE. **SAS user's guide: statistics: version 8.2**. 6. ed. Cary, 2001.
- SERRAJ, R.; SINCLAIR, T.R. Variation among soybean cultivars in dinitrogen fixation response to drought. **Agronomy Journal**, Madison, v.89, n.6, p.963-969, 1997.
- SERRAJ, R.; SINCLAIR, T.R.; PURCELL, L.C. Symbiotic N<sub>2</sub> fixation response to drought. **Journal of Experimental Botany**, v. 50, p. 143-155, 1999.
- SERRAJ, R.; VADEZ, V.; SINCLAIR, T.R. Feedback regulation of symbiotic N<sub>2</sub> fixation under drought stress. **Agronomie**, v. 21, p. 621-626, 2001.
- SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. "An analysis of variance test for normality". *Biometrika* 52:591-611. 1965.
- SINCLAIR, T.R.; MUCHOW, R.C.; BENNETT, J.M.; HAMMOND, L.C. Relative Sensitivity of Nitrogen and Biomass Accumulation to Drought in Field-Grown Soybean. **Agronomy Journal**, v 79, p. 986-981, 1987.

SOUZA, R.A. DE; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J.C.; CHUEIRE, L.M.O.; BARCELLOS, F.G.; CAMPO, R.J. Avaliação qualitativa e quantitativa da microbiota do solo e da fixação biológica do nitrogênio pela soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, n.1, p. 71-82, 2008.

TUKEY, J.W. **One degree of freedom for non-additively**. *Biometrics* 5:232-242. 1949.

VAN KESSEL, C.; HARTLEY, C. Agricultural management of grain legumes: has it led to an increase in nitrogen fixation? **Field Crops Research**, v. 65, p. 165-181, 2000.

ZILLI, J.E.; MARSON, L.C.; CAMPO, R.J.; GIANLUPPI, V.; HUNGRIA, M.; SMIDERLE, O.J. **Avaliação da fixação biológica de nitrogênio na soja em áreas de primeiro cultivo no cerrado de Roraima**. Embrapa Roraima, 2006. 9p. (Embrapa Roraima. Comunicado Técnico, 20).

ZONTA, E.P.; MACHADO, A. A., SILVEIRA JÚNIOR, P., 1982. **Sistema de Análise Estatística SANEST**, Registro na SEI No. 066060, UFPEL, Pelotas, 63pp.

## 5. ARTIGO 3: ACÚMULO E RENDIMENTO DE PROTEÍNA E ÓLEO EM CULTIVARES DE SOJA SOB DÉFICIT HÍDRICO

### 5.1 Resumo

A soja atende em grande parte a demanda mundial humana e animal de proteína e óleo; sendo assim, é desejável que altos rendimentos de grãos sejam também acompanhados de altas concentrações destes componentes. A concentração de óleo e proteína em soja é herdada como uma característica quantitativa que sofre grande influência do meio ambiente. Como a cultura da soja é cultivada em todas as regiões do Brasil, sob condições edafoclimáticas muito diversas, está sujeita a variações climáticas, sendo estas o principal fator de risco e de insucesso no seu cultivo. Portanto, é de se esperar que ocorram variações nas concentrações de proteína e óleo no grão. O objetivo deste trabalho foi verificar acúmulo e rendimento de proteína e óleo em cultivares de soja sob déficit hídrico. O experimento foi conduzido na safra 2006/2007 no campo experimental da Embrapa Soja, em Londrina-PR. A semeadura foi realizada manualmente com revolvimento do solo somente nas linhas, no dia 03 de dezembro de 2006, com delineamento em blocos ao acaso com parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas principais foram aplicadas três disponibilidades hídricas (1 – Déficit hídrico nos estádios reprodutivos - DHER, 2 – condições normais de campo - CNC e 3 – irrigado - IRR), enquanto as subparcelas receberam as 10 cultivares de soja (BR 16, Embrapa 48, BRS 133, BRS 134, BRS 245 RR, BRS 247 RR, BRS 183, BRS 184, BRS 214, and BRS 232). As variáveis analisadas foram: acúmulo de proteína e óleo nos grãos e rendimento de proteína e óleo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). O acúmulo de óleo foi determinado através de amostras retiradas de cada subparcela, pelo método de Soxlet, com hexano como solvente e o acúmulo de proteína pelo método de Kjeldahl. O rendimento de óleo e de proteína foi obtido com base no rendimento de grãos e no acúmulo de óleo e proteína nos grãos, pela multiplicação do rendimento pelos percentuais de óleo e proteína para cada disponibilidade hídrica. O acúmulo de proteína foi favorecido pelo déficit hídrico. Entre as cultivares, de maior média foram BRS 183 e BRS 214. O DHER, resultou menor rendimento de proteína e óleo. A cultivar BRS 184, se destacou com os maiores rendimentos de proteína, e se mantendo entre as de maiores rendimentos de óleo, em CNC e IRR.

**Palavras-chave:** *Glycine max* (L.) Merrill. Estresse hídrico. Acúmulo de proteína e óleo. Seca.

## ACCUMULATION AND YIELD OF PROTEIN AND OIL IN SOYBEAN CULTIVARS UNDER WATER DEFICIT

### 5.1 Abstract

Soybeans are produced to meet demands for human consumption and for animal feeding regarding protein and oil; therefore are desirable that high grain yield be also accompanied by high concentrations of those components. The concentration of oil and protein in soybean seed is inherited as a quantitative trait that is influenced by environmental conditions. Since soybean crop is grown in all regions of Brazil, under very diverse soil and climate conditions, it is subject to climatic variations and this is the main risk and failure factor to soybeans production. These variations also reflect on the protein and oil seed contents. The objective of this study was to assess the accumulation and yield of protein and oil in soybean cultivars under water deficit. The experiment was conducted in the 2006/07 season at the experimental field of the National Soybean Research Center of Embrapa, in Londrina-PR, Brazil. The sowing was done manually with soil disturbance only in the rows, on December 03, 2006, in a randomized blocks design with split-plot model and four replicates. The main plots received three water availability: 1 – water stress on reproductive stages (DHER), 2 – natural rainfall (CNC), and 3 – irrigation (IRR); while the subplots received 10 soybean cultivars (BR 16, Embrapa 48, BRS 133, BRS 134, BRS 245 RR, BRS 247 RR, BRS 183, BRS 184, BRS 214, and BRS 232). The variables analyzed were: accumulation of protein and oil in grain yield and protein and oil ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). The accumulation of oil was determined by samples taken from each subplot, by the method of soxlet with hexane as solvent and the accumulation of protein by the kjeldahl method. The oil yield and protein was obtained based on grain yield and accumulation of oil and protein in grains, by multiplying the yield by the percentage of oil and protein for each water availability. The accumulation of protein in grains was favored by drought, and water availability DHER, that expressed the greatest accumulation, and, between cultivars in this water availability, BRS 183 and BRS 214 were of the highest averages. The DHER showed a lower yield of protein and oil, and BRS 184 was the highest yield of protein, and also remained among the highest oil production, in the water availability CNC and IRR.

**Keywords:** *Glycine max* (L.) Merrill. Water stress. Protein and oil accumulation and drought.

## 5.2. Introdução

Como a soja é produzida para atender à demanda humana e animal de proteína e óleo, sendo desejável que altos rendimentos de grãos sejam também acompanhados de altas concentrações destes componentes (CAIRES et al., 2003), pois isso diminui o custo dos produtos derivados da soja (TANAKA et al., 1995). A cultura está incluída entre as cinco principais fontes protéicas sendo, também, fonte calórica (18 a 22% de óleo) (MAEHLER et al., 2003).

Os programas de melhoramento genético de soja priorizam características relacionadas como o rendimento de grãos e a resistência a doenças (SANTOS et al., 2006); mais recentemente, há também uma preocupação com características de qualidade, tais como teores de proteína e/ou óleo (GONÇALVES et al., 2007), decorrente da valorização do preço internacional da soja.

Segundo Moraes et al., (2006), o farelo de soja destinado à exportação é classificado em três categorias, de acordo com seu conteúdo de proteína: HyPro (>48%), Normal (46%) e LowPro (<43,5%). Para atingir o índice classificado como Normal e HyPro, a soja deve conter acima de 41,5 e 43% de proteína nos grãos, respectivamente, com base na matéria seca. Portanto, os teores de proteína e óleo no grão de soja determinam seu valor comercial.

Existe uma alta correlação negativa entre os teores de proteína e óleo, fato que dificulta o melhoramento simultâneo destes caracteres (BURTON, 1985; WILCOX; CAVINS 1995; WILCOX; SHIBLES, 2001), além de o teor de proteína, geralmente, apresentar correlação negativa com características agrônômicas, entre elas: número de legumes por planta, número de grãos por legume e conseqüentemente influenciando o rendimento de grãos, demonstrando a dificuldade de efetuar a seleção de genótipos com elevados teores de proteína e alto potencial de rendimento (MELLO FILHO et al., 2004; MAHMOUD et al., 2006).

Além dos fatores genéticos quantitativos governarem, a princípio, os teores de óleo e proteínas dos grãos de soja, a variação nestes teores, é também influenciada pelo ambiente no qual o vegetal é cultivado, principalmente durante o período de enchimento dos grãos (BURTON, 1989; WILCOX; CAVINS 1992;

PÍPOLO et al., 2004a e 2004b; ÁVILA et al., 2007). Entre os fatores ambientais, a concentração de proteínas da soja é influenciada pela disponibilidade de N (SERRAJ; SINCLAIR, 1997). Devido ao elevado teor de proteína dos grãos, o nitrogênio é o nutriente requerido em maior quantidade pela cultura, apresentando um teor médio de 6,5% de N. Desse modo, para produzir 1000 kg de grãos de soja são necessários 65 kg de N, adicionando-se mais 15 kg de N para as folhas, caule e raízes tem-se 80 kg de N. Conseqüentemente, para obtenção de produtividades de grãos de 3000 kg ha<sup>-1</sup> são necessários 240 kg de N, dos quais 195 kg são retirados da lavoura pelos grãos (HUNGRIA et al., 2001).

Como o N da fixação simbiótica vai para a formação do grão, a maximização do processo de fixação pode contribuir com uma maior concentração de N e, conseqüentemente, de proteínas nos grãos de soja (SERRAJ; SINCLAIR, 1997; ÁVILA et al., 2007). No entanto, tem sido largamente documentado que a fixação biológica em soja é extremamente sensível ao déficit hídrico sendo o primeiro processo a ser prejudicado, antes mesmo de afetar a fotossíntese, portanto, diminui a síntese protéica antes da produção de massa seca (SINCLAIR et al., 1987), desta forma influenciando diretamente a composição dos grãos.

Como a cultura da soja é cultivada em todas as regiões do Brasil, e, sob condições edafoclimáticas muito diversas, está sujeita às variações climáticas sendo estas o principal fator de risco e de insucesso no cultivo de soja (CONFALONE; DUJMOVICH, 1999). Neste caso, a seca é o principal fenômeno gerador de prejuízos e de riscos para a cultura (FARIAS et al., 2001). Apesar de todo o progresso que a pesquisa tem alcançado com cultivares de maior potencial de rendimento, estresses causados pelo déficit hídrico durante estádios críticos, têm limitado a obtenção de rendimentos mais próximos ao potencial produtivo da espécie (FARIAS, 2004). Para Pípolo (2002), a distribuição de chuvas durante o período de enchimento de grãos e a disponibilidade de nitrogênio para os grãos são peças-chave para o melhor entendimento das variações dos teores de proteína e de óleo nos grãos de soja.

O objetivo deste trabalho foi verificar acúmulo e rendimento de proteína e óleo em cultivares de soja sob déficit hídrico.

### 5.3. Material e métodos

O experimento foi conduzido no campo experimental da Embrapa Soja, em Londrina-PR, (Figuras 1 e 2 do apêndice), localizado na latitude 23° 11 S, longitude 51° 11W e altitude 566m. O clima predominante, segundo Köppen (1931), é do tipo subtropical, sendo a temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e a do mês mais frio inferior a 18°C (CORRÊA et al., 1982).

Na classificação da Embrapa (2006), o tipo de solo do local do experimento, é Latossolo Vermelho Eutroférico argiloso. As características químicas do solo estão apresentadas na Tabela 1 do apêndice, sendo as correções necessárias realizadas conforme recomendação para a cultura da soja.

O experimento foi semeado manualmente na safra 2006/07, com revolvimento do solo somente nas linhas, no dia 03 de dezembro de 2006, com espaçamento de 45cm, deixando após o desbaste 12 plantas/m. A inoculação das sementes de soja foi realizada conforme Hungria et al., (2007), com inoculante turfoso contendo as estirpes Semia 587 + Semia 5019 e o tratamento das sementes com o fungicida Vitavax + Thiram (Figura 3 do apêndice). Os tratos culturais foram realizados de acordo com as recomendações das Tecnologias de Produção de Soja para a Região Central do Brasil 2006 (EMBRAPA, 2005).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas principais, três disponibilidades hídricas (1 – Déficit hídrico nos estádios reprodutivos - DHER, 2 – condições normais de campo - CNC e 3 – irrigado - IRR) e em subparcelas, as 10 cultivares de soja (BR 16, Embrapa 48, BRS 133, BRS 134, BRS 245 RR, BRS 247 RR, BRS 183, BRS 184, BRS 214 e BRS 232), a descrição com as características das cultivares estão apresentadas na Tabela 2 do apêndice.

A disponibilidade hídrica DHER foi obtido utilizando-se abrigos móveis contra a chuva, com fechamento automático, evitando-se, assim, a precipitação pluviométrica sobre as parcelas, durante o período desejado (Figura 4 do apêndice). As cultivares foram submetidas às condições normais de campo até o estágio R<sub>1</sub> (início do florescimento), quando foi iniciado o fechamento automático dos

abrigos, ao chover. O solo das parcelas sob DHER foi isolado por uma barreira de placas verticais de concreto, enterradas até a profundidade de 80 cm, visando evitar a troca de umidade com o solo externo aos abrigos. Ainda, ao redor dos abrigos, o solo foi gramado para impedir o escoamento superficial de água.

Na disponibilidade hídrica IRR, a suplementação hídrica foi efetivada em cada parcela, manualmente com mangueira (Figura 5 do apêndice), mantendo o potencial matricial da água no solo entre -0,03 e -0,05 MPa, sendo a umidade monitorada por tensiômetros de mercúrio (Figura 6 do apêndice), enterrados no solo à profundidade de 30cm, e quando o mercúrio atingia 20cm de altura capilar era realizado a irrigação. Também, semanalmente, a umidade do solo foi monitorada pelo método gravimétrico (GARDNER, 1986).

Na disponibilidade hídrica DHER, cada subparcela foi constituída por três linhas de três metros, com 0,5m nas entrelinhas, totalizando uma área de 4,5m<sup>2</sup>. As subparcelas do CNC e IRR foram constituídas por oito linhas de seis metros, com 0,5m nas entrelinhas, totalizando uma área de 24m<sup>2</sup>.

Os abrigos foram acionados, a partir de do dia 19 de janeiro de 2007. Na disponibilidade hídrica IRR, a suplementação de água foi realizada nos dias 16 e 17 de fevereiro; 08, 09 e 10 de março de 2007, ou seja, cinco irrigações no decorrer da safra. No entanto, os abrigos fecharam (ao chover) por um período de 47 dias.

A pluviosidade acumulada diariamente, temperaturas máxima, mínima e média diárias, observadas no período da safra (dezembro de 2006 a abril de 2007), estão expressas na Figura 8 do apêndice. A configuração das condições climáticas no período da safra, foi de distribuição regular das chuvas com temperaturas mais altas no final do ciclo da cultura.

O acúmulo de óleo nos grãos foi determinada através de amostras retiradas de cada subparcela, pelo método soxlet, conforme descrito por Pípolo (2002) e Santos (2006). As sementes foram moídas manualmente e colocadas em tubos de ensaio pré-pesados e pesados novamente para determinar o peso da amostra. As amostras foram cobertas com 5,0 ml de hexano: metil tertibutil ether (1:1). A mistura foi homogeneizada através do vórtex por dois minutos e deixada em

repouso por 24 horas a 25° C. Os tubos foram homogeneizados novamente por dois minutos e então centrifugados por dez minutos a 1500 rpm. A maior parte do solvente foi removida com pipeta de Pasteur, seguida de adição de mais solvente à amostra. Este processo foi repetido três vezes, mas a segunda e a terceira extrações foram incubadas por 4 horas. Após a terceira extração o solvente remanescente após a pipetagem foi evaporado injetando-se gás N<sub>2</sub> sobre a amostra aquecida a 45° C em banho-maria. O conteúdo de óleo foi determinado como a diferença de massa entre a amostra inicial e o farelo remanescente depois das extrações. A concentração de óleo foi expressa com a quantidade de óleo em 100 mg da amostra inicial.

Para análise de nitrogênio, o farelo remanescente em cada frasco, após a extração de óleo, foi analisado usando-se o procedimento de Kjeldahl, conforme descrito por Pregnotatto e Pregnotatto (1985). As amostras foram digeridas por meio da digestão em bloco de alumínio modificado de Gallaher *et al.* (1975). O catalisador foi 1,5 g de 9:1 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:CuSO<sub>4</sub> e a digestão foi conduzida por pelo menos 4 horas a 375°C, usando 6 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e 2 ml de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. O nitrogênio foi determinado por colorímetro semi-automatizado e a concentração de proteína foi calculada multiplicando-se a concentração de N por 6,25.

O rendimento de óleo e de proteína foi obtido com base no rendimento de grãos e no acúmulo de óleo e proteína nos grãos, pela multiplicação do rendimento pelos percentuais de óleo e proteína para cada disponibilidade hídrica.

O método estatístico utilizados para todas as variáveis resposta constituiu-se de um diagnóstico exploratório, seguido da análise de variância (ANOVA). Neste diagnóstico exploratório avaliaram-se os seguintes pré-requisitos: a distribuição normal dos erros experimentais pelo método de Shapiro e Wilk (1965), a homogeneidade de variâncias dos tratamentos pelo método de Burr e Foster (1972), a aditividade do modelo do delineamento experimental pelo método de Tukey (1949) e a análise dos resíduos pelo método apresentado em Parente (1984). Além da análise de variância aplicou-se também o teste de comparações múltiplas de médias pelo método de Duncan ao nível de significância de  $\alpha = 0,05$  (COCHRAN; COX,

1957). Os programas estatísticos utilizados foram o SANEST (ZONTA et al., 1982) e o SAS (SAS INSTITUTE, 2001).

#### 5.4. Resultados e discussão

Os resultados indicaram variação nas respostas das cultivares às disponibilidades hídricas para o acúmulo de proteína dos grãos. Houve no entanto, interação entre a disponibilidade hídrica e as cultivares (Tabela 1), e quando analisado cada cultivar dentro das disponibilidades hídricas, sendo a DHER a que apresentou as maiores médias, e apenas as cultivares BRS 134 e BRS 184 não apresentaram diferenças significativas entre a DHER e as outras disponibilidades hídricas. No entanto, as cultivares Embrapa 48, BRS 184 e BRS 214, apresentaram diferenças estatísticas entre CNC e IRR, sendo este último com as menores médias.

O acúmulo de proteína nos grãos, foi influenciado pela disponibilidade hídrica, pois os maiores teores deste elemento foram encontrados na disponibilidade hídrica DHER, em relação a CNC e IRR. Vários autores têm relatado que sob déficit hídrico, há um aumento na porcentagem de proteína nos grãos (PÍPOLO, 2002; MAEHLER et al., 2003; ALBRECHT et al., 2008). Houve, ainda, respostas distintas entre as cultivares quando analisadas em uma mesma disponibilidade hídrica, e quando analisado a DHER, a maior porcentagem de proteína nos grãos foi a das cultivares BRS 183 e BRS 214, no entanto, diferiram somente da BRS 133, BRS 134 e BRS 184. Para CNC, também houve respostas variadas entre as cultivares, indicando que a BRS 184 foi a de maior média, que diferiu somente das cultivares BR 16, Embrapa 48, BRS 133, BRS 245 RR e BRS 247 RR. Quando houve irrigação (IRR) a Cultivar BRS 183 foi a que apresentou a maior média e neste caso, não diferiu estatisticamente somente da BRS 232. Como os teores de proteína são controlados por fatores genéticos quantitativos (BURTON, 1989; WILCOX; CAVINS 1992; PÍPOLO et al., 2004a e 200b; ÁVILA et al., 2007), é portanto, normal que haja diferenças entre as cultivares de soja avaliadas.

A maior média no acúmulo de proteína foi de 39,23% para as cultivares BRS 183 e BRS 214, na disponibilidade hídrica DHER. Segundo Moraes et al., (2006), os teores de proteína nos grãos de soja determinam seu valor comercial, portanto, para atingir o índice classificado como Normal e HyPro, a soja deve conter acima de 41,5 e 43% de proteína nos grãos, respectivamente, com base na matéria seca. Neste caso, as cultivares seriam classificadas como LowPro, que seria abaixo destes valores. Desta forma, não atingiram os limites necessários para obtenção de farelo rico em proteína; muito valorizado para a fabricação de rações destinadas a nutrição animal e também para exportação (MELLO FILHO et al., 2004).

De acordo com a descrição das cultivares (Tabela 2 do apêndice), o acúmulo de proteína da cultivar BRS 183 é de 40,62% e da BRS 214 é de 39,00% que, apresentou próximo aos valores do experimento, com leve queda para a cultivar BRS 183.

**Tabela 1** – Médias da interação entre disponibilidades hídricas e cultivares de soja, no acúmulo de proteína<sup>1</sup> nos grãos (%), na safra 2006/07.

Cultivares	Disponibilidades hídricas						Médias			
	DHER <sup>2</sup>		CNC		IRR					
BR 16	37,82	abc <sup>3</sup>	A	34,64	c	B	34,16	bc	B	35,54
Embrapa 48	38,62	ab	A	35,17	bc	B	32,91	c	C	35,57
BRS 133	36,93	bcd	A	35,12	bc	B	34,26	bc	B	35,44
BRS 134	35,80	d	A	35,96	abc	A	35,07	b	A	35,61
BRS 183	39,23	a	A	36,49	ab	B	37,07	a	B	37,60
BRS 184	36,32	cd	AB	37,42	a	A	35,17	b	B	36,30
BRS 214	39,23	a	A	36,41	abc	B	34,13	bc	C	36,59
BRS 232	37,76	abc	A	35,78	abc	B	35,62	ab	B	36,39
BRS 245 RR	37,68	abc	A	35,17	bc	B	35,15	b	B	36,00
BRS 247 RR	37,45	abcd	A	35,20	bc	B	34,50	bc	B	35,72
Médias	37,68			35,74			34,80			
CV Parcela (%) = 0,9	CV Subparcela (%) = 2,19									

<sup>1</sup> = Base seca.

<sup>2</sup> = Déficit hídrico nos estádios reprodutivos (DHER), condições normais de campo (CNC) e irrigado (IRR).

<sup>3</sup> = Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Houve também, interação entre as disponibilidades hídricas e cultivares para o rendimento de proteína (kg ha<sup>-1</sup>). Quando analisados as disponibilidades hídricas em cada cultivar (Tabela 2), a BRS 214 foi a única que não apresentou diferença estatística entre os três disponibilidades hídricas, porém a

diferença entre DHER e CNC foi de mais de 16%. Para todas as outras cultivares, entre DHER e CNC, houve diferenças estatísticas e sempre os menores rendimentos de proteína foram para a disponibilidade hídrica DHER. Entre as disponibilidades hídricas CNC e IRR, não houve diferença estatística, e na comparação da DHER e a IRR, somente as cultivares Embrapa 48 e BRS 214 não apresentaram diferenças estatísticas. A cultivar BRS 184 destacou-se com os maiores rendimentos de proteína tanto no CNC quanto no IRR.

Na análise da comparação entre as cultivares em cada disponibilidade hídrica, na DHER as cultivares não apresentaram diferenças estatísticas, e na CNC e IRR a cultivar BRS 184 foi a de maior média, e diferiu somente das cultivares BR 16, Embrapa 48, BRS 183 e BRS 214.

Apesar do acúmulo de proteína nos grãos ser maior na disponibilidade hídrica DHER (Tabela 1), o rendimento de proteína foi mais elevado em CNC e IRR, devido ao maior rendimento de grãos apresentado (Tabela 2). Neste caso, a distribuição de chuvas no ciclo da cultura, durante a safra (Figura 8 do apêndice), favoreceu também o CNC. No entanto, os rendimentos assim como os acúmulos de proteína nos grãos, estão relacionado ao "fator diluição" (MAELHER et al., 2003), uma vez que o rendimento de grãos foi menor, houve um maior acúmulo de proteína nos mesmos, e quando houve uma maior quantidade de grãos a tendência foi a sua distribuição entre eles.

Ressalta-se ainda, que as diferenças entre os acúmulos de proteína, não podem ser explicadas sem levar em consideração a ocorrência e a distribuição de chuvas, durante o período de enchimento de grãos (PÍPOLO, 2002; MAELHER et al., 2003; ALBRECHT et al., 2008), pois além dos fatores genéticos quantitativos governarem, a princípio, o acúmulo de óleo e proteínas dos grãos de soja, a variação nestes teores, é também influenciada pelo ambiente no qual o vegetal é cultivado, principalmente durante o período de enchimento dos grãos (BURTON, 1989; WILCOX; CAVINS 1992; PÍPOLO et al., 2004a e 200b; ÁVILA et al., 2007), e neste caso, esta variação no ambiente foi proporcionada pela disponibilidade hídrica ocasionada pelo DHER, justamente nas fases críticas da cultura.

No entanto, o maior acúmulo de proteína na disponibilidade hídrica DHER, poderia ser melhor explicada pelo "fator diluição", ao fato das plantas apresentarem menores quantidades de grãos, oriundo do abortamento de flores e legumes, conforme verifica-se na Tabela 10 do artigo 1, onde houve variação entre o número de legumes com a menor porcentagem na disponibilidade hídrica DHER.

O déficit hídrico é dependente das condições atmosféricas, e nesta safra devido a maior concentração de chuvas ocorreram na fase de enchimento de grãos (Figura 8 do apêndice), isto ocasionou uma maior umidade no ar, que amenizaria o déficit hídrico as plantas mesmo sob os abrigos. Sendo assim, a planta poderia disponibilizar fotossintatos que seria distribuído entre os grãos, por isso com maior acúmulo de proteína na disponibilidade hídrica DHER.

**Tabela 2** – Médias da interação entre disponibilidades hídricas e cultivares de soja, no rendimento de proteína ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), na safra 2006/07.

Cultivares	Disponibilidades hídricas						Médias
	DHER <sup>1</sup>		CNC		IRR		
BR 16	406 a <sup>2</sup>	B	674 bc	A	660 bcd	A	580
Embrapa 48	476 a	B	684 bc	A	643 cd	AB	601
BRS 133	418 a	B	886 ab	A	868 ab	A	724
BRS 134	455 a	B	827 abc	A	709 abcd	A	664
BRS 183	503 a	B	722 bc	A	735 abcd	A	653
BRS 184	598 a	B	986 a	A	897 a	A	827
BRS 214	513 a	A	614 c	A	529 d	A	552
BRS 232	524 a	B	847 ab	A	829 abc	A	733
BRS 245 RR	421 a	B	852 ab	A	846 abc	A	706
BRS 247 RR	577 a	B	837 ab	A	798 abc	A	737
Médias	489		793		751		
CV Parcela (%) = 6,86		CV Subparcela (%) = 14,8					

<sup>1</sup> = Déficit hídrico nos estádios reprodutivos (DHER), condições normais de campo (CNC) e irrigado (IRR).

<sup>2</sup> = Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Para a variável acúmulo de óleo nos grãos, houve somente efeito de cultivar, desta forma, as diferenças significativas apresentadas foram nas médias gerais das cultivares (Tabela 3). A cultivar BRS 184 com 20,91% de óleo nos grãos, foi a de maior média diferindo significativamente das demais. Em contraste, a BRS 232, foi a de menor média de óleo no grão com 18,08%, e também, diferiu significativamente das demais cultivares. Entre estas duas cultivares a variação foi

de mais de 2% no acúmulo de óleo, que terá representatividade conforme o rendimento de grãos da cultura.

Conforme a descrição destas cultivares (Tabela 2 do apêndice), a BRS 184 apresenta um acúmulo médio de óleo de 24,24% e a BRS 232 cerca de 19,50%. Portanto, as médias apresentadas na Tabela 3, foram sempre menores, ainda assim, a cultivar BRS 184 foi a de maior acúmulo de óleo.

**Tabela 3** – Médias da variável acúmulo de óleo nos grãos (%), obtidos em 10 cultivares de soja, para três disponibilidades hídricas, na safra 2006/07.

Cultivares	Disponibilidades hídricas			Médias
	DHER <sup>1</sup>	CNC	IRR	
BR 16	19,70	18,07	19,14	18,97 bc <sup>2</sup>
Embrapa 48	19,35	19,26	19,77	19,46 bc
BRS 133	19,68	18,96	18,88	19,17 bc
BRS 134	20,36	18,47	19,09	19,31 bc
BRS 183	19,45	18,70	18,54	18,90 c
BRS 184	21,16	20,32	21,24	20,91 a
BRS 214	19,86	18,78	19,20	19,28 bc
BRS 232	18,38	18,20	17,65	18,08 d
BRS 245 RR	20,36	18,98	19,48	19,51 b
BRS 247 RR	19,95	18,79	19,57	19,44 bc
Médias	19,79 A	18,85 A	19,21 A	

CV Parcela (%) = 2,18      CV Subparcela (%) = 3,27

<sup>1</sup> = Déficit hídrico nos estádios reprodutivos (DHER), condições normais de campo (CNC) e irrigado (IRR).

<sup>2</sup> = Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A variável rendimento de óleo por área apresentou interação significativa entre as disponibilidades hídricas e cultivares (Tabela 4). Na comparação das disponibilidades hídricas, nesta variável, os valores mais elevados foram obtidos quando houve em CNC e IRR, e estes não apresentaram diferenças entre si. No DHER a cultivar BRS 184 não diferiu do IRR enquanto que a BRS 214 não diferiu entre os níveis de disponibilidade hídrica. As demais apresentaram sempre valores inferiores e diferiram estatisticamente. Entre as cultivares, em uma mesma disponibilidade hídrica, não houve diferença significativa no DHER, e na CNC a cultivar BRS 184 foi a que apresentou os maiores rendimentos de óleo diferindo de BR 16, Embrapa 48, BRS 183 e BRS 214. Para a IRR a maior média foi a da BRS 133, no entanto diferiu somente da BRS 214.

**Tabela 4** – Médias da interação entre a disponibilidade hídrica e as cultivares de soja no rendimento de óleo ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), na safra 2006/07.

Cultivares	Disponibilidades hídricas						Médias
	DHER <sup>1</sup>		CNC		IRR		
BR 16	211	a B <sup>2</sup>	350	bc A	370	ab A	311
Embrapa 48	238	a B	375	bc A	387	ab A	334
BRS 133	222	a B	478	ab A	477	a A	393
BRS 134	259	a B	423	abc A	386	ab A	356
BRS 183	248	a B	369	bc A	368	ab A	329
BRS 184	349	a B	533	a A	429	ab AB	437
BRS 214	260	a A	313	c A	296	b A	290
BRS 232	253	a B	431	abc A	412	ab A	366
BRS 245 RR	224	a B	460	ab A	469	a A	385
BRS 247 RR	306	a B	447	abc A	452	a A	402
Médias	257		418		405		

CV Parcela (%) = 7,5      CV Subparcela (%) = 16,73

<sup>1</sup> = Déficit hídrico nos estádios reprodutivos (DHER), condições normais de campo (CNC) e irrigado (IRR).

<sup>2</sup> = Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A cultivar BRS 184, foi a que apresentou as maiores médias no rendimento de proteína  $827 \text{ kg ha}^{-1}$  (Tabela 2), no rendimento de óleo  $437 \text{ kg ha}^{-1}$  e no acúmulo de óleo 20,91% (Tabela 3). No entanto, o acúmulo de proteína 36,30% (Tabela 1) foi intermediário entre as cultivares, indicando, portanto, que para um alto rendimento de proteína, maior foi a competição pelos carboidratos produzidos, o que reduziu a porcentagem de proteína. A existência de correlação negativa entre os teores de proteína e óleo (BURTON, 1985; WILCOX; CAVINS 1995), além de o acúmulo de proteína, geralmente, apresentar correlação negativa com o rendimento de grãos, demonstrando a dificuldade de efetuar a seleção de genótipos com elevado acúmulo de proteína e alto potencial de rendimento (MELLO FILHO et al., 2004; MAHMOUD et al., 2006).

### 5.5. Conclusões

1. O acúmulo de proteína foi favorecido pelo déficit hídrico. Entre as cultivares, de maior média foram BRS 183 e BRS 214;
2. O DHER, resultou menor rendimento de proteína e óleo. A cultivar BRS 184, se destacou com os maiores rendimentos de proteína, e se mantendo entre as de maiores rendimentos de óleo, em CNC e IRR.

## 5.6. Referências

- ALBRECHT, L.P.; BRACCINI, A.L.; ÁVILA, M.R.; SUZUKI, L.S.; SCAPIM, C.A.; BARBOSA, M.C. Teores de óleo, proteínas e produtividade de soja em função da antecipação da semeadura na região oeste do Paraná. **Bragantia**, v.67, n.4, p. 865-873, 2008.
- ÁVILA, M.R.; BRACCINI, A.L.; SCAPIM, C.A. MANDARINO, J.M.; ALBRECHT, L.P. VIDIGAL FILHO, P.S. Componentes do rendimento, teores de isoflavonas, proteínas, óleo e qualidade de sementes de soja. **Revista brasileira de sementes**. v. 29, n.3, p. 111-127, 2007.
- BURR, I.W. & FOSTER, L.A. **A test for equality of variances**. Mimeo series nº 282. University of Purdue, West Lafayette, 26p. 1972.
- BURTON, J.W. Breeding soybean cultivars for increase seed protein percentage. In: CONFERENCIA MUNDIAL DE INVESTIGACION EN SOJA, 4., 1989. Buenos Aires. **Proceedings...** Buenos Aires: AASoja, 1989, v.2, p. 1079-1085.
- BURTON, J.W. Breeding soybeans for improved protein quantity and quality. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 3., 1984, Ames. **Proceedings...** Boulder: Westview, 1985. p. 361-367.
- CAIRES, E. F.; FERRARI, R.A.; MORGANO, M.A. Produtividade e qualidade da soja em função da calagem na superfície em semeadura direta. **Bragantia**. vol.62, n.2, pp. 283-290, 2003.
- COCHRAN, W.G.; COX, G. **Experimental Designs**. Second. Edition. John Wiley. 611p. New York, 1957.
- CONFALONE, A.; DUJMOVICH, M. N. Influência do déficit hídrico sobre o desenvolvimento e rendimento da soja. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 7, n. 2, p. 183-187, 1999.
- CORRÊA, A.R.; GODOY, H.; BERNARDES, R.L.M. **Características climáticas de Londrina**. 2.ed. Londrina: IAPAR, 1982. 16 p. (Circular, 5).
- EMBRAPA. Centro Nacional e Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa - Solos, 2006. 306 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA - EMBRAPA. **Tecnologia de produção de soja: região central do Brasil - 2006**. Londrina, 2005. p.220. (Sistema de produção, 9).
- FARIAS, J.R.B. Environmental limitations to maximum soybean yield. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 7, 2004, Foz do Iguassu. **Proceedings**. Londrina: Embrapa Soja, 2004. p. 1287-1295.
- FARIAS, J.R.B.; ASSAD, E.D.; ALMEIDA, I.R.; EVANGELISTA, B.A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. Caracterização de risco climático nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.2, 2001.
- GALLAHER, R.N.; WELDON, C.O.; FUTRAL, J.G. An aluminum block digester for plant and soil analysis. **Soil Science Society of America Proceedings**. v.39, p.803-806, 1975.

GARDNER, W.H. Water content In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: Wi ASA, CSSA, and SSSA: 1986, p. 493-594.

GONÇALVES, C. A.; SOARES, N.S.; BOLINA, C.O.; BARROS, E.G. de. Influência da Temperatura no Acúmulo de Proteínas em Sementes de Soja. **Revista Brasileira de Biociências**. Porto Alegre, v. 5, n.2, p. 1038-1040, 2007.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I. C.; **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja**: componente essencial para a competitividades do produto brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 80 p. (Embrapa Soja. Documentos, 283).

HUNGRIA, M.; CAMPO, R.J.; MENDES, I.C. **Fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja**. Londrina, PR: Embrapa, CNPSo, 2001. 48p. (EMBRAPA CNPSo. Circular Técnica, 35).

KÖPPEN, W. **Grundriss der klimakunde**, Walter de Gruyter: Berlin, 1931, 338 p.

MAEHLER, A.R.; PIRES, J.L.F.; COSTA, J.A.; FERREIRA, F.G. Potencial de rendimento da soja durante a ontogenia em razão da irrigação e arranjo de plantas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.225-231, 2003.

MAHMOUD, A.A.; NATARAJAN, S.S.; BENNETT, J.O.; MAWHINNEY, T.P.; WIEBOLD, W.J.; KRISHNAN, H.B. Effect of six decades of selective breeding on soybean protein composition and quality: a biochemical and molecular analysis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.54, n. 11, p. 3916-3922, 2006.

MELLO FILHO, O. L.; SEDIYAMA, C. S.; MOREIRA, M. A.; REIS, M. S.; ANDRADE, G. A. M.; DIAS, R. R.; PIOVESAN, N. D. Selection of high protein content and high yield soybean families. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 4, n. 2, p. 171-177, 2004.

MORAES, R.M.A.; JOSÉ, I.C., RAMOS, F.G.; BARROS, E.G. MOREIRA, M.A. **Caracterização bioquímica de linhagens de soja com alto teor de proteína**. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.5, p.725-729, 2006.

PARENTE, R.C.P. **Aspectos da análise de resíduos**. 1984. 118 f. Dissertação (Mestrado em matemática) - ESALQ/USP, Piracicaba - SP.

PÍPOLO, A.E. **Influência da temperatura sobre as concentrações de proteína e óleo em sementes de soja (*Glycine Max (L) Merrill*)**. 2002. 128 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

PÍPOLO, A.E.; SINCLAIR, T.R.; CAMARA, G. M. S. Effects of temperature on oil and protein concentration in soybean seeds cultured *in vitro*. **Annals of Applied Biology**, v. 144, p. 71-76, 2004a.

PÍPOLO, A.E.; SINCLAIR, T.R.; CAMARA, G.M.S. Protein and oil concentration of soybean seed cultured *in vitro* using nutrient solutions of differing glutamine concentration. **Annals of Applied Biology**, v. 144, p. 223-227, 2004b.

PREGNOLATTO, W.; PREGNOLATTO, N.P. (Coord.). **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. 3.ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1985. v.1, p.25-26,42-45.

SANTOS, E. L. **Influência do genótipo sobre as concentrações de proteína e óleo em sementes de soja [*Glycine max* (L.) Merrill]**. 2006. 53 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR.

SANTOS, M.A. dos; NICOLAS, M.F.; HUNGRIA, M. Identificação de QTL associados à simbiose entre *Bradyrhizobium japonicum*, *B. elkanii* e soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. vol.41, n.1, pp. 67-75, 2006.

SAS INSTITUTE. **SAS user's guide: statistics: version 8.2**. 6. ed. Cary, 2001.

SERRAJ, R.; SINCLAIR, T.R. Variation among soybean cultivars in dinitrogen fixation response to drought. **Agronomy Journal**, Madison, v.89, n.6, p.963-969, 1997.

SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. "An analysis of variance test for normality". *Biometrika* 52:591-611. 1965.

SINCLAIR, T.R.; MUCHOW, R.C.; BENNETT, J.M.; HAMMOND, L.C. Relative Sensitivity of Nitrogen and Biomass Accumulation to Drought in Field-Grown Soybean. **Agronomy Journal**, v 79, p. 986-981, 1987.

TANAKA, R.T.; MASCARENHAS, H.A.A.; REGITANO-D'ARCE, M.A.B.; GALLO, P.B. Concentração e produtividade de óleo e proteína de soja em função da adubação potássica e da calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.30, n.4, p.463-469, 1995.

TUKEY, J.W. **One degree of freedom for non-additivity**. *Biometrics* 5:232-242. 1949.

WILCOX, J. R., CAVINS, J. F. Backcrossing higher seed protein to a soybean cultivar. **Crop Science**, v. 35, p.1036-1041, 1995.

WILCOX, J.R.; CAVINS, J.F. Normal and low linolenic acid soybean strains. Response to planting date. **Crop Science**, Madison, v.32, p.1248-1251, 1992.

WILCOX, J.R.; SHIBLES, R.M. Interrelationships among seed quality attributes in soybean. **Crop Science**, v.41, p.11-14, 2001.

ZONTA, E.P.; MACHADO, A. A., SILVEIRA JÚNIOR, P., 1982. **Sistema de Análise Estatística SANEST**, Registro na SEI No. 066060, UFPEL, Pelotas, 63pp.

## 6 CONSIDERAÇÕES GERAIS

1. Quando submetidas há déficit hídrico, houve o comprometimento do crescimento das cultivares de soja, devido à redução do IAF, da taxa fotossintética, correlacionando com o rendimento da cultura. No entanto, houveram respostas diferenciadas entre as cultivares, sendo a BRS 184 com maior rendimento a mais tolerante, e, a BR 16 com menor rendimento, a mais sensível ao déficit hídrico;
2. O estresse causado pelo déficit hídrico nos estádios reprodutivos (DHER), foi limitante para a nodulação, restringindo a FBN. Ainda pode ser verificado que a disponibilidade hídrica DHER, apresentou os menores rendimentos de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), em reflexo ao comprometimento da FBN;
3. O acúmulo de proteína nos grãos foi favorecido pelo déficit hídrico, sendo a disponibilidade hídrica DHER a que expressou o maior acúmulo. Entre as cultivares nesta disponibilidade hídrica, a BRS 183 e BRS 214 foram as de maiores médias.
4. O DHER apresentou um menor rendimento de proteína e óleo, e a cultivar BRS 184, foi a de maior rendimento de proteína, e também se manteve entre as de maior rendimento de óleo, nas disponibilidades hídricas CNC e IRR.

## APÊNDICE

## APÊNDICE A

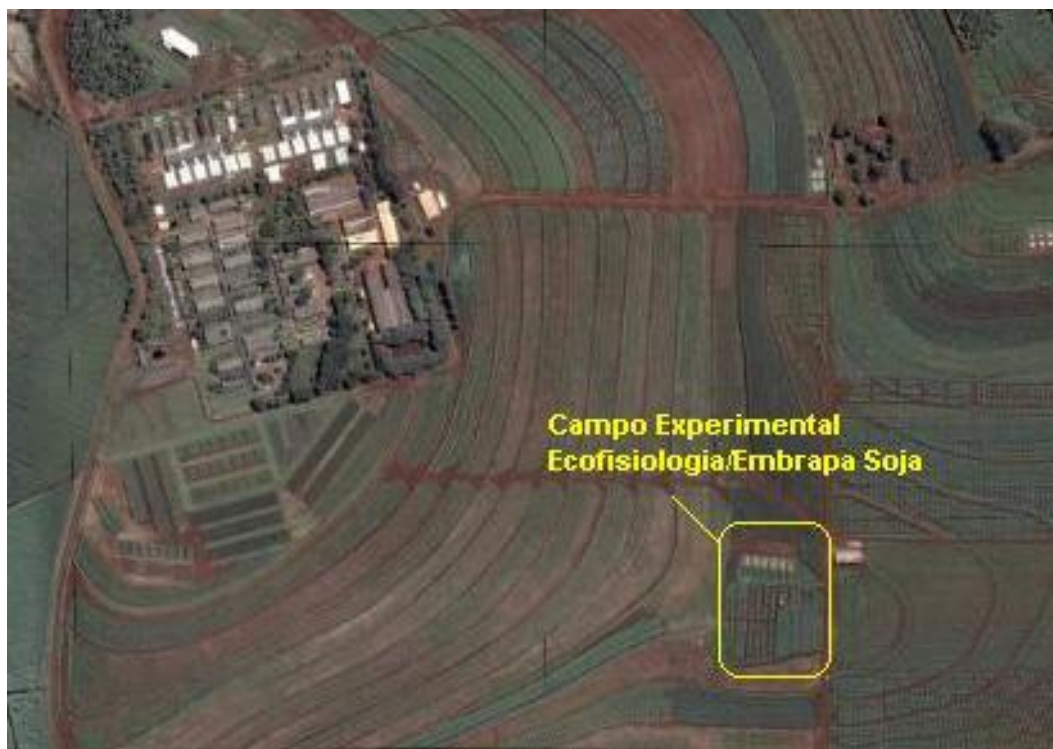
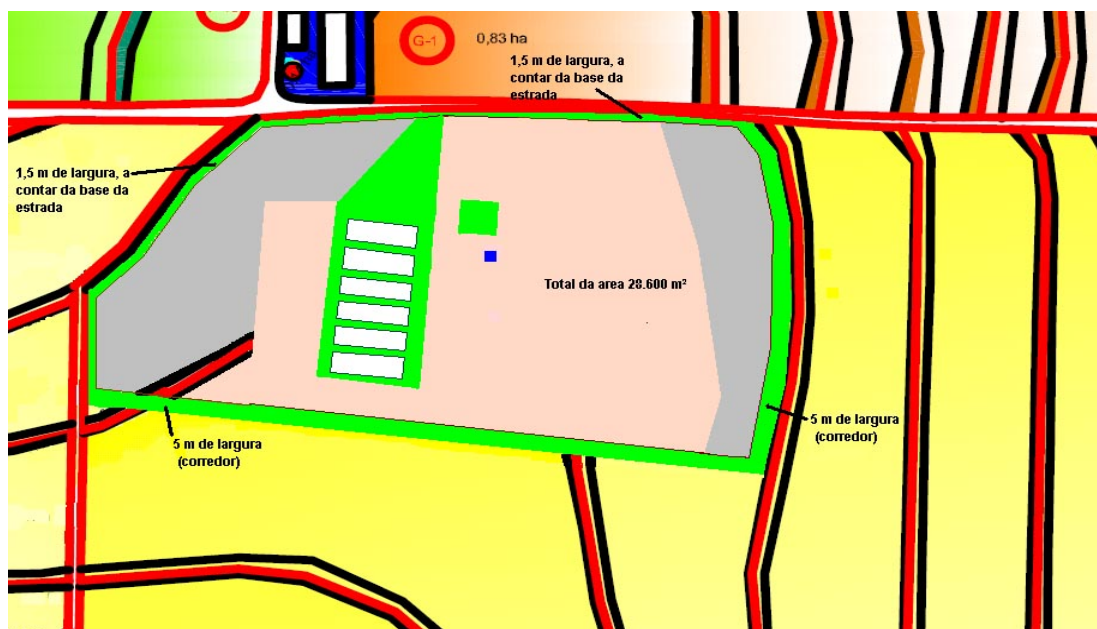


Figura 1 – Vista aérea do campo experimental (GOOGLE EARTH, 2009).



- Área Atual (ecofisiologia)
- Área Cedida (Téc. Laércio, resp. pelo C. Experimental)
- Área com Grama (Mato Grosso)
- Cerca de tela galvanizada
- Abrigos
- Caixa da água

**OBS:** O comprimento da cerca é de 690 m, com 1 m de altura com entrada única de 5,10 m livres. A distância entre um palanque e outro é de 3 m, no início ou final de cada linha reta, devesse ter palanque com esteios, para melhor sustentabilidade. Detalhes com Adair, ramal 6056

Palanque= Postinho de concreto (1,5 m)

Figura 2 – Campo experimental da Embrapa Soja, em Londrina-PR, com o croqui e as delimitações da área onde foram realizados os experimentos.

**Tabela 1** – Características químicas do solo do experimento na profundidade de 0 a 20cm, conforme análise realizada na safra 2005/06.

Tratamentos	pH (CaCl <sub>2</sub> )	C g/dm <sup>3</sup>	P mg/dm <sup>3</sup>	Al	K	Ca	Mg	H+Al	V %
DHER bl 1	5,90	14,88	19,87	0,00	0,41	5,35	3,11	2,72	76,53
DHER bl 2	6,06	15,59	19,20	0,00	0,40	4,56	2,71	2,62	74,54
DHER bl 3	5,59	14,30	20,68	0,00	0,43	4,35	2,37	2,82	71,72
DHER bl 4	4,57	20,40	7,37	0,13	0,15	3,52	2,03	4,25	57,29
CNC bl 1	5,23	16,09	16,66	0,00	0,56	4,63	1,76	2,95	70,20
CNC bl 2	5,27	16,09	19,28	0,00	0,73	4,53	1,81	2,99	70,28
CNC bl 3	5,61	16,09	10,53	0,00	0,49	4,86	2,31	2,88	72,68
CNC bl 4	5,79	16,82	11,98	0,00	0,42	4,82	2,66	2,52	75,82
IRR bl 1	5,19	17,79	11,18	0,00	0,31	4,38	1,92	2,93	69,29
IRR bl 2	5,50	15,32	8,55	0,00	0,31	4,46	2,09	2,86	70,58
IRR bl 3	5,38	15,75	9,75	0,00	0,33	4,71	2,74	2,70	74,24
IRR bl 4	5,66	17,10	11,12	0,00	0,52	4,21	2,13	3,91	63,70

\* DHER =Déficit hídrico nos estádios reprodutivos, CNC = condições normais de campo e IRR = irrigado.



Figura 3 – Tratamento de semente realizado com o fungicida Vitavax + Thiram.

**Tabela 2** – Características das cultivares de soja utilizadas nos experimentos.

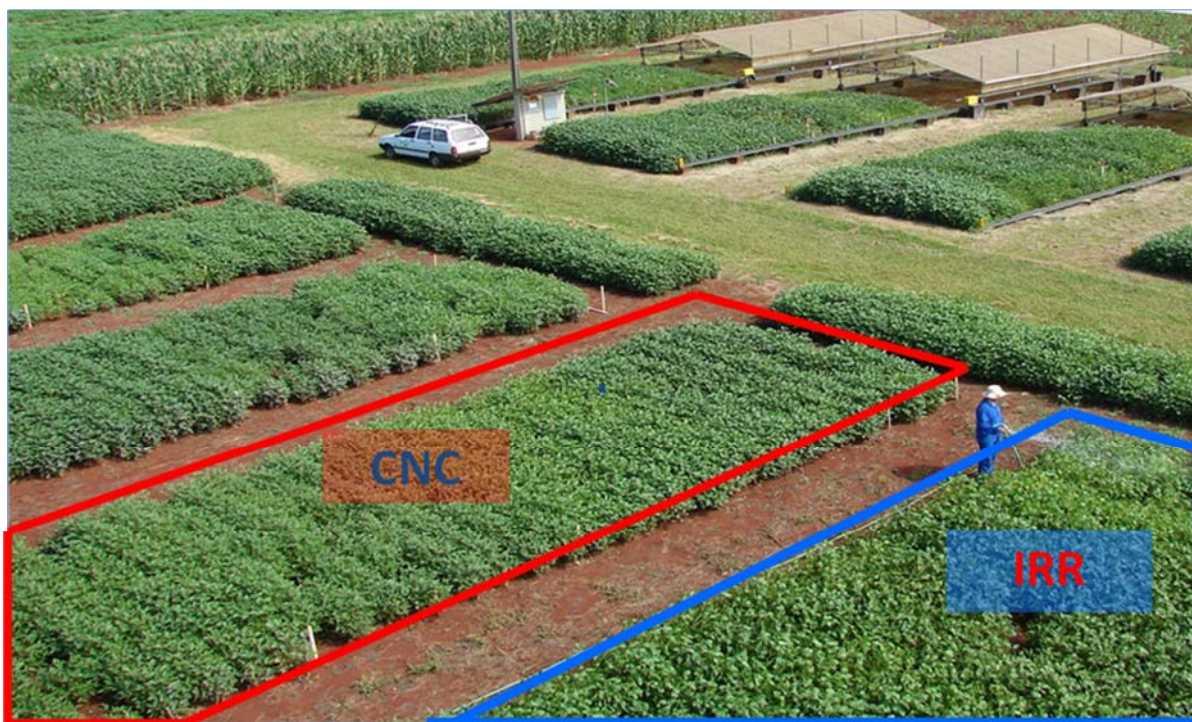
Cultivar	Genealogia	Teor de Proteína	Teor de Óleo	Época de Semeadura	Altura da Planta (cm)		
					Até 500m	500 a 800m	mais de 800m
BR 16	D69-B10-M58 X Davis	39,00%	21,30%	25/10 a 05/12		Média 80	
Embrapa 48	Davis X Paraná X IAS 4 X BR5	39,10%	21,40%	25/10 a 05/12	60	72	95
BRS 133	FT Abyara X BR83-147	38,60%	18,00%	15/10 a 05/12	69	88	95
BRS 134	BR 83-147 X BR 84-8309	37,80%	18,80%	25/10 a 05/12		Média 82	
BRS 183	Embrapa 1*3 X IAC - 12	40,62%	20,62%	25/10 a 05/12		Média 73	
BRS 184	FT Guaíra X IAC 13 C	38,98%	24,24%	15/10 a 05/12	68	75	95
BRS 214	Sharkey X (Hartwig X BR92-31814)	39,00%	20,60%	20/10 a 05/12	65	80	87
BRS 232	BR85-18565*3 X (Embrapa 4*3 X Tracy-M)	40,90%	19,50%	25/10 a 05/12	67	71	93
BRS 245 RR	BRS 133 (6) X E96 - 246	39,60%	22,20%	15/10 a 05/12	77	77	94
BRS 247 RR	BRS 134*4 X (Embrapa 59* x E96-246)	39,40%	21,40%	25/10 a 05/12	68	70	88

\*Cultivares de soja com crescimento determinado

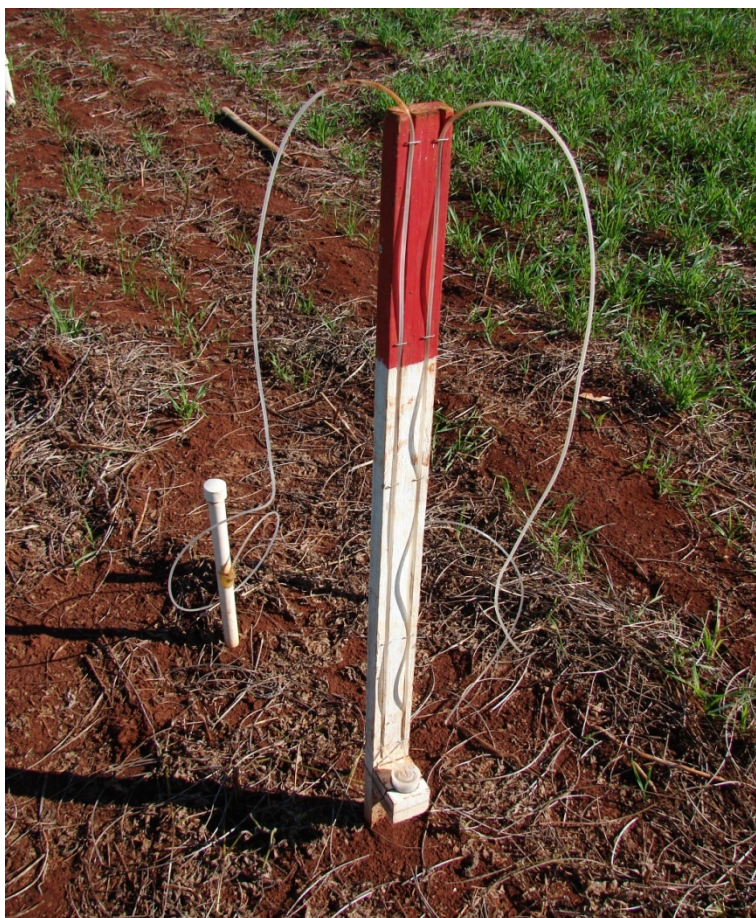
(Fonte: BR 16 (Embrapa, 1999), Embrapa 48 (Embrapa, 2007), BRS 133 (Embrapa 2008), BRS 134 (Embrapa, 1999), BRS 183 (Almeida et al., 2001) BRS 184 (Embrapa 2008), BRS 214 (Embrapa 2008), BRS 232 (Embrapa 2008), BRS 245 RR (Embrapa 2008) e BRS 247 RR (Embrapa 2008).



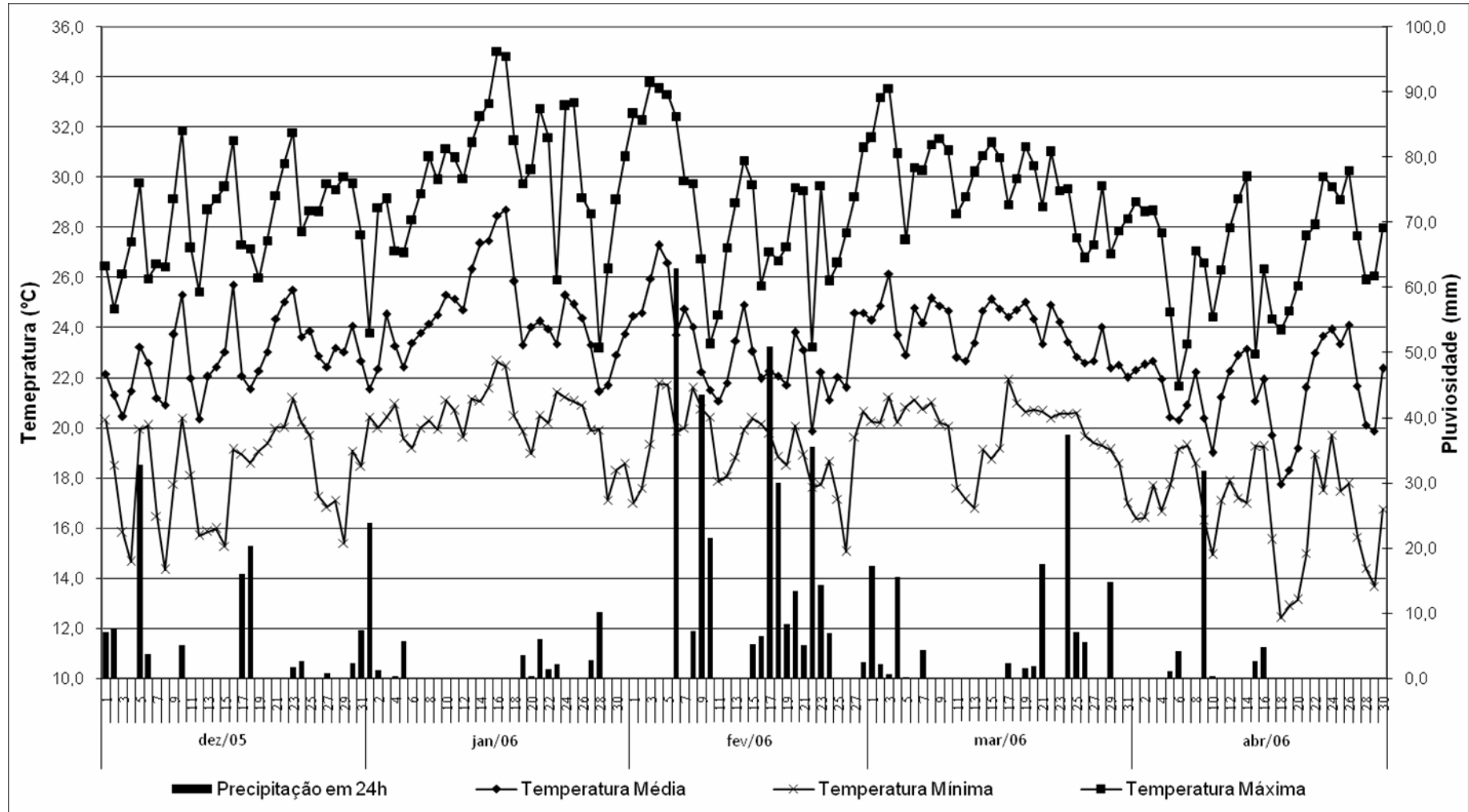
**Figura 4** – Vista parcial do experimento, mostrando os quatro abrigos móveis acionado para ocasionar o déficit hídrico nos estádios reprodutivos (DHER).



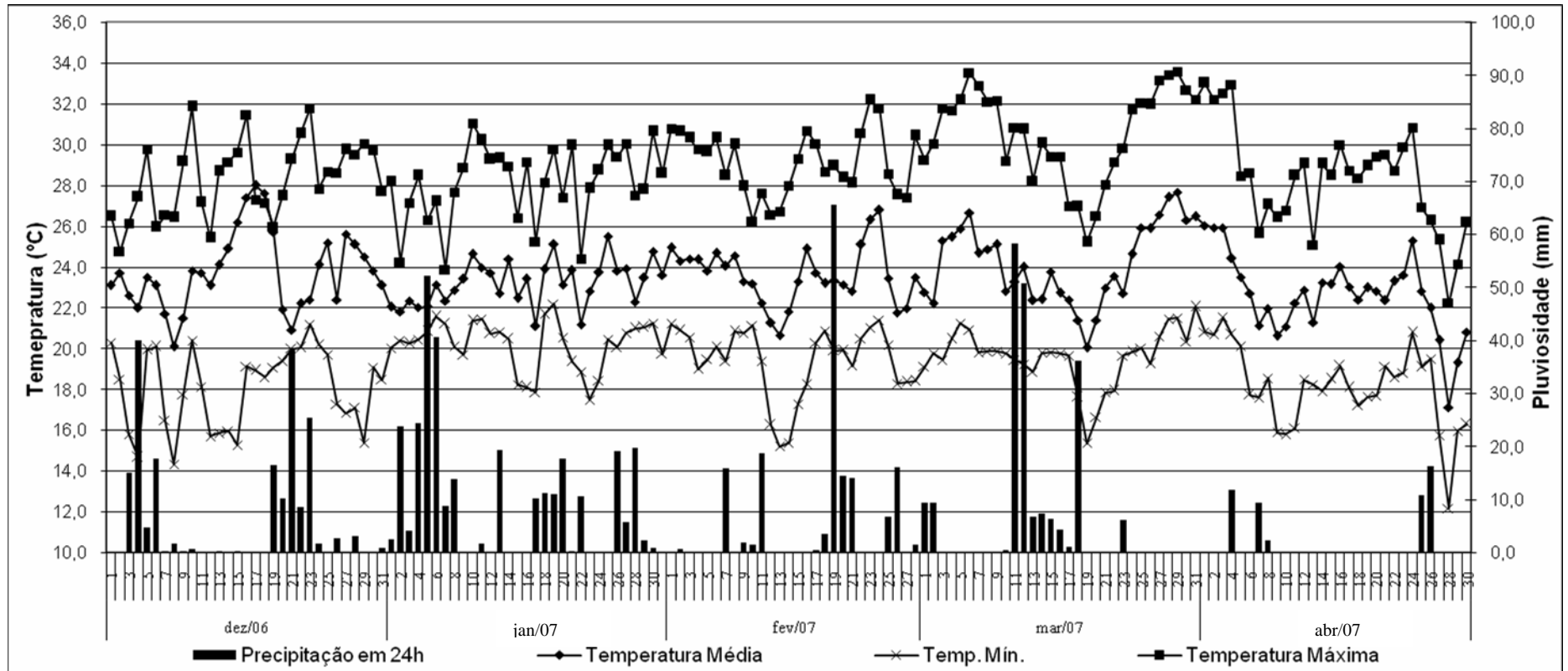
**Figura 5** – Vista parcial do experimento, destacando os blocos das disponibilidades hídricas condições normais de campo (CNC) e irrigado (IRR).



**Figura 6** – Tensiômetros de mercúrio, enterrados no solo à um profundidade de 30cm, quando o mercúrio atingia 20cm de altura capilar era realizado a irrigação.



**Figura 7** – Pluviosidade acumulada diariamente, temperaturas máxima, mínima e média diárias, observadas no período de condução do experimento na safra 2005/06.



**Figura 8** – Pluviosidade acumulada diariamente, temperaturas máxima, mínima e média diárias, observadas no período de condução do experimento na da safra 2006/07.