

## ANÁLISE DO RENDIMENTO DE SOJA E POSSÍVEIS IMPLICAÇÕES CLIMÁTICAS

### ANALYSIS OF SOYBEAN YIELD AND POSSIBLE CLIMATE IMPLICATIONS

Carmello, V.<sup>1</sup>; Neumaier, N.<sup>2</sup>; Farias J. R. B.<sup>2</sup>; Sant'anna Neto, J. L.<sup>3</sup>; Nepomuceno, A. L.<sup>2</sup>

**Resumo:** As tecnologias usadas na produção somada à variabilidade climática podem explicar grande parte das flutuações nos rendimentos de grãos de soja em diferentes safras agrícolas. Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar o rendimento de grãos de soja, em diferentes condições de disponibilidade hídrica no solo. Para tanto, os experimentos foram conduzidos no campo experimental da Embrapa Soja – Londrina (PR), durante as safras 2005/2006 e 2006/2007. A diferença entre as médias das duas safras foi de 7,2 %. Na safra 2006/2007 as chuvas foram bem distribuídas, resultando em melhor desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, favorecendo rendimentos ligeiramente maiores do que na safra anterior.

**Palavras-chave:** Soja; déficit hídrico; precipitação pluvial

**Abstract:** The technologies used in the production coupled with the climate variability can explain most of the fluctuations in the yield of soybean in different years. So, the objective of this research was to analyze the yield of soybean under different soil water availability. For this, experiments were conducted at Embrapa Soja - Londrina (PR) during the 2005/2006 and 2006/2007 seasons. The difference between the means of two seasons was 7.2%. In 2006/2007 season the rains were well distributed, resulting in better plant growth, thus slightly favoring higher yields than the in the previous season.

**Keywords:** Soybean; water deficit; rainfall

### Introdução

Sabe-se que o Brasil é o 4º produtor mundial de grãos, 2º maior exportador de alimentos e que o agronegócio no Brasil representou, em 2009, de 24% a 30% do PIB. Além disso, representou entre 38% a 43% das exportações do país e gerou aproximadamente 40% dos empregos do Brasil (EMBRAPA, 2011). Assim, a soja tem contribuído para um superávit considerável na balança comercial brasileira, podendo ser considerada vital para o desenvolvimento do país.

Nesse contexto, a ocorrência de adversidades climáticas e sua inerente imprevisibilidade são os principais fatores de risco e de insucesso no cultivo de soja. Nesse 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 as pesquisas têm alcançado com a geração de cultivares de maior possibilidade de rendimento, estresses causados pelo déficit hídrico durante estádios críticos têm limitado o rendimento de grãos (MAEHLER et al., 2003). A sensibilidade da soja às deficiências hídricas, considerando o rendimento em grãos, tende a aumentar na medida em que a cultura avança no seu ciclo (ASHLEY; ETHRIDGE, 1978; KRON et al., 2008), apresentando máxima sensibilidade durante o período reprodutivo, em especial, na fase de formação dos legumes e do enchimento de grãos (KORTE et al., 1983).

Face ao exposto, justifica-se a necessidade de pesquisas relacionadas à área, já que, a agricultura, dentre as formas de transformar o território, é a que apresenta maior vulnerabilidade às ações do tempo atmosférico.

Nesta perspectiva, o objetivo deste trabalho foi analisar o rendimento de grãos de cultivares convencionais, em diferentes condições de disponibilidade hídrica no solo, nas safras 2005/2006 e 2006/2007.

## Revisão bibliográfica

Originária da Ásia e introduzida no Brasil por japoneses no início do século XX, a soja adquiriu grande importância para o agronegócio brasileiro. Nos últimos anos, contribuiu para um “superávit” na balança comercial brasileira, alavancando o desenvolvimento do país, no que tange a geração de empregos e de renda (FARIAS et al., 2001; CONFALONE; DUJIMOVICH, 1999b).

O aumento da produção estimulou a pesquisa e aprimorou tecnologias, mas, por outro lado, os agricultores foram levados à prática da monocultura em grandes áreas e ao uso de mecanização pesada. Tais fatos tiveram como consequência os processos de compactação e erosão do solo, prejudicando o armazenamento e a infiltração da água em seu perfil (OLIVEIRA et al., 1980).

Fisiologicamente, a água interna das plantas influencia em muitos processos. A água é um dos principais elementos para a manutenção e preservação das funções vitais das plantas. Age na manutenção da turgescência das células dos tecidos, na posição da planta e de suas folhas em relação à radiação solar (principal fonte de energia), no condicionamento dos mecanismos metabólicos para os processos de fotossíntese, no controle da temperatura, na evapotranspiração e na determinação do número de flores e frutos (AWAD; CASTRO, 1989). Por outro lado, plantas sob déficit hídrico são afetadas na absorção da água, na germinação de sementes, no fechamento estomático, na transpiração, na fotossíntese, na atividade enzimática e no metabolismo do nitrogênio, dentre outros processos (AWAD; CASTRO, 1989).

A maneira exata na qual o déficit hídrico afeta o crescimento e o desenvolvimento tem sido alvo de debates. Há evidências de que o estresse hídrico afeta o crescimento através de mecanismos diretos e indiretos, alterando relações hormonais, nutricionais e de formação de carboidratos (KOZLOWSKI, 1968; NEPOMUCENO et al., 1993b).

Estresses abióticos podem diminuir os rendimentos médios da maioria das culturas em mais de 50% (BOYER, 1982; BRAY et al., 2000). O clima, por sua vez é o principal responsável pelas oscilações anuais de produção, sendo a primeira causa na diminuição da produção mundial de soja. As grandes quebras nas safras de 1977/78, 1978/79 e 1985/86 (MIYASAKA; MEDINA, 1981) são exemplos das consequências das adversidades climáticas e da deficiência hídrica.

Neste sentido, muitos trabalhos científicos vêm demonstrando as reduções na produtividade da soja em consequência da deficiência hídrica. Pode-se afirmar que a soja está sujeita ao déficit hídrico, principalmente porque, nas lavouras, predomina o

cultivo sem irrigação (SALINAS et al, 1989; NEUMAIER, et al, 1995; CONFALONE; DUJIMOVICH, 1999b; FARIAS et al, 2001).

Dentre as adversidades climáticas, a seca é o principal fator de perdas de produção, de prejuízos financeiros e de aumento dos custos na produção de grãos (FARIAS et al., 2001; CONFALONE; DUJIMOVICH, 1999a, 1999b, CASAGRANDE, et al., 2001).

Em relação ao déficit hídrico, a cultura de soja apresenta duas fases críticas bem definidas: 1) fase da semeadura à emergência e 2) fase do enchimento dos grãos. Na germinação, tanto o excesso como a falta de água é prejudicial ao estabelecimento da cultura. Neste período, os exageros hídricos são mais limitantes que déficits (SALINAS et al., 1989). No período de enchimento dos grãos a ocorrência de déficit hídrico é mais prejudicial do que na floração (DOSS et al., 1974; SIONIT; KRAMER, 1977). Nesta perspectiva, a suscetibilidade da soja às deficiências hídricas, considerando o rendimento de grãos, tende a aumentar na medida em que a cultura avança no seu ciclo (ASHLEY; ETHRIDGE, 1978; KRON et al. 2008), apresentando uma máxima sensibilidade durante o período reprodutivo, principalmente durante a formação de legumes e o enchimento de grãos (KORTE et al., 1983).

Além disso, a ocorrência de déficit hídrico provoca também o fechamento dos estômatos para reduzir a perda de água para a atmosfera. Como é por meio dos estômatos que a planta realiza as trocas gasosas, tal fechamento reduz a fotossíntese, afetando, portanto, a produção de fotoassimilados (AWAD; CASTRO 1989). Com isto, há menor crescimento da parte aérea da planta e, conseqüentemente, menor translocação de nutrientes e fotossintatos para os grãos. Muitas vezes, pode ocorrer abortamento de flores e de frutos, levando à diminuição da produção (AWAD; CASTRO 1989).

Segundo Klar et al. (1985), as plantas desenvolvem mecanismos com os quais se tornam resistentes aos estresses hídricos. Tais mecanismos variam entre espécies e dizem respeito a tolerar, escapar e evitar o déficit hídrico. No primeiro caso, a planta sobrevive sob elevados estresses hídricos internos; no segundo, a planta completa o ciclo antes do período da seca, e no terceiro caso, a planta mantém um potencial elevado de água nos tecidos.

Neste contexto, e dado à importância deste fator, muitos trabalhos são realizados por inúmeras instituições de pesquisa visando à obtenção de cultivares tolerantes ao déficit hídrico (FARIAS et al., 2007; CONFALONE; DUJIMOVICH, 1999b; CASAGRANDE et al., 2007; NEPOMUCENO et al, 2008).

Tais pesquisas tornam-se relevantes visto que a soja necessita da água em todas as fases de seu crescimento e desenvolvimento. A disponibilidade deste recurso determina se a lavoura terá um bom rendimento ou uma quebra expressiva de produção. Neste sentido, um melhor entendimento das respostas da cultura da soja à disponibilidade hídrica poderá constituir ferramenta fundamental para a obtenção de informações mais precisas, úteis ao melhoramento genético da soja. (FARIAS et al., 1993, FARIAS, 2004).

Por outro lado, apesar do progresso científico, os estresses causados pelo déficit hídrico durante estádios críticos, têm limitado o rendimento de grãos (MAEHLER et al., 2003). A caracterização de genótipos tolerantes ou sensíveis à seca é um pré-requisito para a seleção e a manipulação genética (TURNER, 1997). A partir desta seleção será possível identificar e compreender os mecanismos de tolerância à seca em plantas, sendo esse entendimento crucial no desenvolvimento de novas cultivares de soja mais tolerantes à seca (CASAGRANDE et al., 2007).

## Material e métodos

### *Delineamento Experimental*

Os experimentos foram conduzidos no campo experimental da Embrapa Soja, durante as safras 2005/2006 e 2006/2007. O delineamento experimental foi em blocos completos ao acaso com quatro repetições, e os tratamentos dispostos em parcelas subdivididas. A disponibilidade de água do solo foi monitorada por conjuntos de tensiômetros de mercúrio, instalados a 15 cm e 30 cm de profundidade, em cada repetição. O plantio na safra 2005/2006 ocorreu no dia 04 de dezembro de 2005 e a colheita nos dias 11 e 13 de abril de 2006, as parcelas do tratamento Irrigado receberam oito irrigações.

A semeadura da safra 2006/2007 ocorreu no dia 06 de dezembro de 2006 e a colheita no dia 06 de abril de 2007. As parcelas do tratamento irrigado receberam cinco irrigações. Os tratos culturais foram realizados conforme as recomendações técnicas para a cultura da soja.

### *Modelo matemático*

Para análise dos dados foi utilizado o modelo matemático abaixo:

$$Y_{ijkl} = m + \text{Cond Hídricas } i + \text{Bloco } j + \text{Blocos} * \text{Cond Hídricas } ij + \text{Cultivares } k + \text{CH} * \text{Culti } k + \epsilon_{ijkl}$$
 com  $i = 1, \dots, I$ ;  $j = 1, \dots, J$ ;  $k = 1, \dots, K$ , em que,  $Y_{ijkl}$  é o efeito da

variável resposta sob o efeito das condições hídricas  $i$  e do cultivar  $k$ , no bloco  $j$ ;  $m$  é o efeito da média geral do experimento; Cond Hídricas  $i$  é o efeito das condições hídricas  $i$  tratamentos nas parcelas; Bloco  $j$  é o efeito do bloco  $j$ ; Condições Hídricas  $ij$  \* Blocos  $j$  é o efeito do erro experimental referente às parcelas  $ij$ ; Cultivares  $k$  é o efeito cultivar  $k$  tratamentos das subparcelas; CH \* Culti  $k$  é o efeito da interação entre as condições hídricas e os cultivares  $ik$ ;  $\epsilon_{ijkl}$  é o efeito do resíduo aleatório  $N = (0, \sigma^2)$

### *Métodos estatísticos utilizados*

Para todas as variáveis resposta estudadas, as pressuposições de normalidade, aditividade do modelo, independência dos erros e homogeneidade de variâncias dos tratamentos foram testadas e atendidas. Posteriormente, procedeu-se a análise de variância (Anova) e nos casos em que o teste F foi significativo para tratamento, aplicou-se teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ) para comparações múltiplas de médias de cultivares.

### *Descrição do experimento*

As cultivares de soja foram submetidas às condições que propiciaram diferentes disponibilidades hídricas no solo, sendo elas: 1- Condições Naturais de Campo (Não Irrigado) e; 2- Condições Ótimas de Umidade (Irrigado).

As sub parcelas dos tratamentos Irrigado e Não Irrigado foram estabelecidas por oito linhas de seis metros, com 0,5m nas entrelinhas, totalizando uma área de 24m<sup>2</sup>. No tratamento Irrigado, a suplementação hídrica foi efetivada manualmente, mantendo o potencial matricial da água no solo entre -0,03 e -0,05 MPa, sendo a umidade monitorada por tensiômetros de mercúrio.

## Resultados e discussão

Na produção de grãos, destacaram-se as cultivares BRS 134 na safra 2005/2006 e BRS 133 na Safra 2006/2007 nos dois tratamentos.

Na safra 2005/2006, no tratamento Não Irrigado, a cultivar BRS 247 RR foi a que apresentou o menor rendimento. Os maiores valores de rendimento apresentados foram da BRS 134 no tratamento Irrigado. Em média, o tratamento Não Irrigado produziu cerca de 15% a menos que o Irrigado. Nessa safra, a única diferença significativa ocorreu entre as condições hídricas, dentro da cultivar BRS 134, onde o rendimento de grãos do tratamento Irrigado foi significativamente maior do que o

do Não Irrigado (Tabela 1), podendo-se inferir que essa cultivar é mais responsiva à condição ideal de água no solo, do que as demais cultivares.

Para a safra 2006/2007 (Tabela 2), a cultivar BRS 247 RR foi a que apresentou os menores valores de rendimento no tratamento Irrigado. Já, no tratamento Não Irrigado, a cultivar BRS 245 RR foi a que apresentou o menor valor. O maior rendimento no tratamento Irrigado foi apresentado pela cultivar BRS 133 e, no tratamento Não Irrigado, pela cultivar BRS 245 RR. Em nenhuma comparação os tratamentos apresentaram diferenças significativas.

Tabela 1: Rendimento de grãos (kg/ha) de seis cultivares de soja, observado na safra 2005/2006, sob duas condições de disponibilidade hídrica no solo.

Rendimento de grãos - Safra 2005/2006						
Cultivares	Irrigado		Não-Irrigado		Média (cultivar)	
	BRS 133	2337	a A	2033	a A	2185
BRS 134	2613	a A	2104	a B	2358	a
BRS 245 RR	2386	a A	1949	a A	2167	a
BRS 247 RR	2306	a A	1947	a A	2126	a
Média (Disponibilidade hídrica)	2410	a	2008	a	2209	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal não diferem entre si ( $p \leq 0,05$ ).

Tabela 2: Rendimento de grãos (kg/ha) de seis cultivares de soja, observado na safra 2006/2007, sob duas condições de disponibilidade hídrica no solo.

Rendimento de grãos - Safra 2006/2007						
Cultivares	Irrigado		Não-Irrigado		Média (cultivar)	
	BRS 133	2649	a A	2508	a A	2578
BRS 134	2584	a A	2408	a A	2496	a
BRS 245 RR	2608	a A	2147	a A	2378	a
BRS 247 RR	2387	a A	2307	a A	2347	a
Média (Disponibilidade hídrica)	2557	a	2343	a	2450	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na vertical e maiúscula na horizontal não diferem entre si ( $p \leq 0,05$ ).

O maior rendimento no tratamento Irrigado foi apresentado pela cultivar BRS 133 e, no tratamento Não Irrigado, pela cultivar BRS 245 RR. Em nenhuma comparação os tratamentos apresentaram diferenças significativas. A diferença entre as médias das duas safras foi de 7,2 %. Na safra 2006/2007 as chuvas foram bem distribuídas, resultando em melhor desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, favorecendo rendimentos ligeiramente maiores do que na safra anterior.

## Considerações

Houve diferença, entre as condições hídricas no solo (Irrigado e Não Irrigado), dentro da cultivar BRS 134. Dessa forma, a cultivar BRS 134 mostrou-se mais responsiva à condição ótima de umidade do solo, do que as demais cultivares.

Assim, ainda há a necessidade de estudar melhor e caracterizar os mecanismos envolvidos nessas diferenças, remetendo à variabilidade genética. Novos experimentos e análises devem ser desenvolvidos buscando a caracterização de cultivares tolerantes à seca, por meio de parâmetros agrônômicos e fisiológicos e, desta maneira, apoiar o melhoramento genético e a produção de tecnologias capazes de mitigar as adversidades climáticas.

## NOTAS

1. Mestrando do programa de pós-graduação em Geografia da FCT/UNESP – Presidente Prudente. E-mail: viniciuscarmello@gmail.com
2. Pesquisador Embrapa Soja – Londrina - PR
3. Professor titular do departamento de Geografia da FCT/UNESP – Presidente Prudente (orientador).

## REFERÊNCIAS

- ASHLEY, D. A.; ETHRIDGE, W. J. Irrigation effects on vegetative and reproductive development of three soybean cultivars. **Agronomy Journal, Madison**, v. 70, n. 1, p. 467-471, 1978.
- AWAD, M.; CASTRO, P. R. C. Introdução à fisiologia vegetal. São Paulo: Nobel, 1989.
- BOYER J. S. Plant productivity and environment. **Science** 218: 443-448, 1982.
- BRAY EA, BAILEY-SERRES J, WERETILNYK E. Responses to abiotic stresses. In W GRUISSEM, B BUCHANNAN, R JONES, eds, **Biochemistry and Molecular Biology of Plants**. American Society of Plant Physiologists, Rockville, MD, p 1158-1249, 2000.
- CONFALONE, A. DUJIMOVICH, M. N. Influência do déficit hídrico sobre o desenvolvimento e rendimento da soja. In: **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 2, p. 183-187, 1999b.
- 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, 2001.
- DOSS, B. D.; PEARSON, R. W.; ROGGERS, H. T. Effect of soil water stress of various growth stages on soybeans yield. **Agronomy Journal Madison**, v.66, p.297-9. 1974.

EMBRAPA. **Soja em números**. Disponível em: [www.cnpso.embrapa.br/index.php?op\\_page=294&cod\\_pai=16](http://www.cnpso.embrapa.br/index.php?op_page=294&cod_pai=16) Acesso em 15 de março de 2001.

FARIAS, J. R. B. **Estratégias para redução dos riscos de estresses climáticos à cultura da soja**. Projeto Macroprograma 2. Embrapa Soja. Jun/2004.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. Rendimento de genótipos semi-precoces de soja submetidos ou não à irrigação, In: **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, São Carlos. V. 5, n. 1, p. 57 jan/jun, 1993.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. Ecofisiologia da Soja. In: **Circular Técnica**, 48. 1ª ed. Embrapa Soja. Londrina, set, 2007.

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

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.

KLAR, A. E.; CATANEO, A.; DENADAI, I. A. M.; SAAD, J. C. C.; PICARELLI, M. Medidas de adaptação de plantas de trigo e déficits hídricos. **Científica**, São Paulo, v.3, n.113, p.117-127, 1985.

KOZLOWSKI, T. T. Introduction. In: KOZLOWSKI, T. T. **Water deficits and plant growth**. New York: Academic Press, 1968. p.1-20.

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.

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.

MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. **A soja no Brasil**. 1ª ed. São Paulo: ITAL, 1981.

NEPOMUCENO, A. L.; BENEVENTI M. A.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K.; YAMANAKA N.; NAKASHIMA, K.; BINNECK, E.; FARIAS, J. R. B.; MARIN, S. R. R.; SILVEIRA, C. A.; LUGLE, S. M.; ABDELNOOR, R.; PAIVA, A. A. R.; POLIZEL, A. M. **Transformação genética em soja visando tolerância à seca**. Disponível em: <[http://www.acsoja.org.ar/mercosoja2006/trabajos\\_pdf/T61.pdf](http://www.acsoja.org.ar/mercosoja2006/trabajos_pdf/T61.pdf)>. Acesso em: 20 jan, 2008.

NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N. Respostas fisiológicas de cultivares de soja a disponibilidade hídrica no solo. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, São Carlos, v.5, n.1, p.57, jan/jun, 1993b.

NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L. Índice de tolerância à seca de quatro cultivares de soja. **Anais do IX Congresso de agrometeorologia**, Campina Grande - PB, 1995.

OLIVEIRA, F. T. G.; SILVA, J. B.; GAZZONI, D. L.; ROESSING, A. C. **Manejo de pragas na cultura da soja**; um caso de sucesso da pesquisa. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, Documentos DDT, 1980.

SALINAS, A. R.; SANTOS, D. S. B.; SANTOS, F. B. G.; GOMES, A. S.; MELLO, V. D. C.; ZONTA, E. P. Comportamiento de genotipos de soja, hasta el estadio de plantulas, en diferentes niveles de humedad. IN: **CONFERENCIA MUNDIAL DE INVESTIGACION EN SOJA**, 4. 1989, Buenos Aires. Actas... Buenos Aires: AASOJA, 1989. p.376-382.

SIONIT, N.; KRAMER, J. P. Effect of water stress during different stages of growth of soybeans. **Agron. J. Madison**, v.69, p.274-8, 1977.

TURNER, N. C. Further progress in crop water relations. **Advances in Agronomy**, v.58, p.293-338, 1997.