



XXIX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas  
XIII Reunião Brasileira sobre Micorrizas  
XI Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo  
VIII Reunião Brasileira de Biologia do Solo  
Guarapari – ES, Brasil, 13 a 17 de setembro de 2010.  
Centro de Convenções do SESC

## Relação do Índice de Satisfação das Necessidades de Água com a Produtividade da Soja em Diferentes Sistemas de Manejo e de Culturas.

**Brenda Cristye Tonon<sup>(1)</sup>; Henrique Debiasi<sup>(2)</sup> Júlio César Franchini<sup>(2)</sup> José Renato Bouças Farias<sup>(3)</sup> & Bárbara Catussi Pinheiro<sup>(4)</sup>**

(1) Eng.-Agr., Msc., Bolsista CNPq-DTI-3, Embrapa Soja, Londrina, PR, CEP: 86001-970, [brenda@cnpso.embrapa.br](mailto:brenda@cnpso.embrapa.br); (2) Pesquisador, Manejo do solo, Embrapa Soja, [debiassi@cnpso.embrapa.br](mailto:debiassi@cnpso.embrapa.br); [franchin@cnpso.embrapa.br](mailto:franchin@cnpso.embrapa.br); (3) Pesquisador, Ecofisiologia, Embrapa Soja, [jrenato@cnpso.embrapa.br](mailto:jrenato@cnpso.embrapa.br); (4) Graduada em Agronomia - Bolsista PIBIC/CNPq - Universidade Filadélfia/Embrapa soja, [barbara@cnpso.embrapa.br](mailto:barbara@cnpso.embrapa.br);

**RESUMO** – A água é o principal fator limitante ao alcance do potencial produtivo da soja. O objetivo do trabalho foi relacionar os efeitos dos sistemas de manejo e de culturas sobre a produtividade da soja à disponibilidade hídrica de cada safra. Foram utilizados dados de produtividade da soja obtidos em três sistemas de manejo do solo (sistema plantio direto - SPD; plantio direto escarificado a cada três anos; e sistema preparo convencional) e dois sistemas de culturas (rotação trevo/milho-aveia/soja- trigo/soja-trigo/soja e sucessão trigo/soja) nas safras de 1995/96 a 2008/09. Esses tratamentos compõem um experimento conduzido desde 1988 sobre um Latossolo Vermelho distroférrico em Londrina/PR. A produtividade da soja foi relacionada a um indicador da condição hídrica da cultura, o índice de satisfação das necessidades de água (ISNA). Para cada safra, estimou-se o valor médio do ISNA na fase de floração/enchimento de grãos da soja, por meio do modelo BIPZON de simulação do balanço hídrico. Foi possível definir modelos que relacionam a produtividade da soja à disponibilidade hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo e de culturas e, assim, indicar práticas que aumentem a eficiência de uso da água pelas plantas. O SPD diminuiu a suscetibilidade da soja a perdas de produtividade pela seca. A escarificação esporádica no SPD e a rotação de culturas não modificaram a eficiência de uso da água pela soja.

**Palavras-chave:** disponibilidade hídrica, sistema plantio direto, rotação de culturas.

**INTRODUÇÃO** – O sistema de plantio direto (SPD), em uso há vários anos no Brasil, vem sendo implementado em grande escala. Na safra de

2007/2008, foram semeados aproximadamente 26 milhões de hectares em SPD (FEBRAPDP, 2010). Este crescimento acentuado se deve a vários aspectos: importância econômica para os produtores e os efeitos benéficos sobre as propriedades físicas do solo (Freitas et al., 2006). Com a manutenção da cobertura do solo, no SPD, ocorre uma redução da temperatura do solo, diminuição das perdas de água por evaporação, e por escoamento superficial em virtude do aumento da capacidade de infiltração de água no solo. Além disso, as melhorias na estrutura do solo, proporcionadas pelo SPD, aumentam a disponibilidade hídrica para as culturas (Franchini et al., 2009). A produtividade das culturas agrícolas, principalmente a soja, é altamente dependente da quantidade de chuvas, bem como da frequência e intensidade dos períodos secos durante a estação de crescimento (Assad et al., 1998). Segundo Cunha & Assad (2001), desde 1996, o Mapa recomenda épocas de semeadura, para as culturas de soja, feijão e de milho, com base em um método de balanço hídrico, do qual obtem-se o valor de um Índice de Satisfação das Necessidades de Água (ISNA), correspondente à relação entre a evapotranspiração real (ET<sub>r</sub>) e a evapotranspiração máxima da cultura (ET<sub>m</sub>) (Farias et al., 2001). O período de enchimento de grãos é considerado o período crítico para as culturas, em termos de necessidade hídrica. A água constitui-se no principal fator limitante à obtenção de rendimentos mais próximos ao potencial produtivo da soja e constitui-se na maior causa da variabilidade dos rendimentos de grãos de soja observados de um ano para outro nas diversas regiões produtoras brasileiras (Farias, et al., 2005).

O objetivo do trabalho foi relacionar os efeitos dos sistemas de manejo do solo e de culturas sobre a produtividade da soja à disponibilidade hídrica

durante cada safra avaliada.

**MATERIAL E MÉTODOS** – Foram utilizados dados de campo de experimentos conduzidos nas safras de 1995/1996 a 2008/2009. As cultivares de soja utilizadas foram BRS 232 (125 dias), BR37 (130 d.), BRS 133, BRS 156, BRS 184 e Embrapa 48 (135 d.). Os experimentos foram conduzidos na área experimental da Embrapa Soja desde a safra 1988/89 sobre um Latossolo Vermelho distroférrico (710 g kg<sup>-1</sup> de argila) em Londrina, PR. Os tratamentos, organizados sob o delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições, foram constituídos por três sistemas de preparo (SPD contínuo; SPD escarificado a cada três anos - PDE; e SPC, com o emprego de arado de discos + grade niveladora no verão e grade pesada + grade niveladora no inverno) e dois sistemas de culturas (rotação tremoço azul/milho-aveia/soja-trigo/ soja-trigo/soja e sucessão trigo/soja). O clima é classificado como Cfa, que é um clima mesotérmico, sem estação seca, com verões quentes e com média do mês mais quente superior a 22°C. Em certos anos verifica-se um período mais seco no inverno, caracterizando o tipo climático Cwa, que se diferencia do Cfa pelo fato de apresentar seca no inverno. Os valores das principais variáveis meteorológicas (temperatura e umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica) foram coletados na estação meteorológica da Embrapa Soja.

Os índices de satisfação das necessidades de água (ISNA) da cultura foram estimados pelo modelo BIPZON de simulação do balanço hídrico da cultura (Forest, 1984). Para tanto, foram utilizados dados de precipitação pluviométrica diária e de evapotranspiração potencial decendial média. Foram empregados os coeficientes de cultura (Kc) ajustados por Farias et al.(2001). O ciclo da planta foi dividido em quatro fases fenológicas: germinação-emergência, fase vegetativa, floração-granação e maturação. A capacidade de água disponível (CAD) no solo utilizada foi de 75mm. Os valores de produtividade foram corrigidos para a umidade de 13%.

Os dados de produtividade da soja foram relacionados ao ISNA médio calculado para a fase reprodutiva da cultura (R1-R6), por meio de análise de regressão, utilizando o programa SigmaPlot® (SigmaStat, Inc.).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO** – Nas Figuras 1-A e 1-B, é apresentada a relação entre a produtividade de grãos de soja e a condição hídrica da cultura, expressa pelos valores de ISNA na fase mais crítica à falta de água (R1-R6), em diferentes sistemas de manejo do solo e de culturas. Observa-se maior produtividade em função do aumento dos

valores de ISNA, independente do sistema de manejo e de culturas utilizado. Porém, a resposta não foi linear para o SPD e PDE, havendo um ponto a partir do qual a diminuição dos valores de ISNA reduz a produtividade da soja. Tanto do SPD, quanto no PDE, e para ambos os sistemas de culturas, esse ponto corresponde a um ISNA de aproximadamente 0,70. Verifica-se ainda que a produtividade da soja no SPD foi similar à obtida no PDE, independente do sistema de culturas e da condição hídrica durante a fase reprodutiva da cultura.

No caso do SPC, a produtividade da soja aumentou linearmente com o aumento dos valores de ISNA, em ambos os sistemas de culturas (Figuras 1-A e 1-B). Mesmo assim, é possível observar que, na rotação de culturas (Figura 1-A), a produtividade da soja no SPC começou a decrescer a partir do momento em que o ISNA tornou-se menor do que 0,80, valor este superior ao obtido para o SPD e o PDE. Por outro lado, na sucessão de culturas (Figura 1-B), não foi possível detectar um ponto a partir do qual a produtividade da soja começa a diminuir em função da redução dos valores de ISNA, o que pode ser atribuído, ao menos em parte, a elevada dispersão dos dados. Verifica-se ainda que, independente do sistema de culturas e da condição hídrica da planta, a produtividade da soja no SPC foi menor em relação ao SPD e ao PDE (Figuras 1-A e 1-B). No entanto, a diferença de produtividade entre os tratamentos SPD e PDE em relação ao SPC aumentou com a redução dos valores do ISNA, o que foi mais evidente para o sistema de rotação de culturas.

Neste trabalho, os parâmetros utilizados para o cálculo do ISNA na fase reprodutiva da soja, inclusive a CAD, foram os mesmos para todos os tratamentos. Assim, o ISNA constituiu-se em um indicador da condição hídrica durante cada safra, que leva em consideração, além da precipitação, a demanda hídrica da cultura em função das condições climáticas. O estabelecimento de modelos matemáticos relacionando o ISNA à produtividade da soja, utilizando dados obtidos em um experimento de longa duração, permitiu detectar práticas de manejo do solo que diminuam a suscetibilidade da cultura a perdas de produtividade sob condições de deficiência hídrica, de modo a aumentar a estabilidade da produção ao longo do tempo. Nesse sentido, os resultados permitem inferir que a escarificação esporádica no SPD não contribuiu para aumentar a estabilidade da produção de soja face à ocorrência de secas durante a fase reprodutiva da cultura. A hipótese de diminuição da suscetibilidade a perdas de produtividade da soja devido à seca em função da escarificação fundamenta-se no rompimento de camadas compactadas de solo, o que pode, além de aumentar

a capacidade de infiltração de água no solo, diminuir a resistência do solo ao crescimento das raízes (Nicoloso et al., 2008), resultando em um maior volume de solo explorado pelas mesmas em busca de água e nutrientes. A curta duração dos efeitos da escarificação que, em geral, não ultrapassa um ano (Reichert et al., 2009), e/ou a inexistência de camadas com grau de compactação restritivo ao crescimento radicular, são os principais fatores que podem explicar a falta de resposta da produtividade da soja à descompactação mecânica.

Os dados indicam ainda que o SPC aumenta a suscetibilidade da soja a perdas de produtividade por secas. Em solos similares ao utilizado neste estudo, os valores de CAD são pouco influenciados pelos sistemas de manejo do solo (Tormena et al., 1999). A diminuição do volume de água perdido por evaporação, devido à maior cobertura do solo por resíduos vegetais no SPD e no PDE, é outro fator que poderia explicar a maior produtividade da soja nesses sistemas em anos secos. Entretanto, é provável que a maior cobertura não tenha contribuído para uma maior conservação da água do solo no SPD e no PDE, pois, na fase reprodutiva da soja, o dossel vegetativo cobre praticamente toda a superfície do solo. Nesta situação, a redução das perdas de água por evaporação em virtude da cobertura do solo é pouco expressiva (Andrade, 2008).

Diante disso, a maior eficiência de uso da água no SPD e no PDE provavelmente esteja relacionada à melhoria da qualidade física do solo nesses sistemas. Em sistemas de manejo onde a intensidade de revolvimento do solo é pequena, poros produzidos pela atividade biológica são preservados. Esses poros apresentam alta efetividade para a condução de água, pois são longos, contínuos e estáveis (Oades, 1993). Tal condição favorece a ocorrência de fluxos de água ascendentes de água em direção à camada superficial do solo (Andrade, 2008), onde a maior parte do sistema radicular da soja se concentra (Franchini et al., 2009). Prevedello et al. (2007) concluíram que os fluxos ascendentes de água contribuíram com 62% da lâmina de água evapotranspirada pelo trigo. Além disso, a melhor qualidade física do solo, associada à cobertura por resíduos vegetais, reduz a lâmina de água perdida por escoamento superficial (Silva, 2004), o que pode ter contribuído para diminuir as perdas de produtividade pela seca no SPD e PDE.

Os efeitos dos sistemas de culturas (rotação e sucessão) sobre a resposta da produtividade da soja à condição hídrica na fase reprodutiva, expressa pelo ISNA R1-R6, foram pequenos (Figuras 1-A e 1-B). O emprego de sistemas de rotação de culturas que contemplem plantas com elevado potencial de produção de fitomassa da parte aérea e raízes, além

de proporcionar uma adequada cobertura, melhora a qualidade física do solo (Franchini et al., 2009). Assim, esperava-se que a rotação de culturas contribuísse para aumentar a eficiência de uso da água pela soja o que, no entanto, não foi observado. Apesar disso, não se pode negligenciar a importância da rotação de culturas, particularmente no SPD. Utilizando dados deste experimento, Debiasi et al. (2009) encontraram efeitos positivos da rotação sobre a produtividade da soja, o que foi mais evidente durante os primeiros anos de adoção do SPD e na primeira safra após o milho de verão.

**CONCLUSÕES** – Utilizando-se dados de um experimento de longa duração, foi possível estabelecer modelos que relacionam a produtividade da soja à disponibilidade hídrica em diferentes sistemas de manejo do solo e de culturas, e, assim, indicar práticas que aumentam a eficiência de uso da água pelas plantas. O SPD reduz a suscetibilidade da soja a perdas de produtividade pela seca. A rotação de culturas e a escarificação esporádica no SPD não modificaram a eficiência de uso da água pela soja.

## REFERÊNCIAS

- ASSAD, E. D.; SANO, E. E.; BEZERRA, H. S. Uso de modelos numéricos de terreno na espacialização de épocas de plantio. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas**. Aplicações na agricultura. Brasília: EMBRAPA-SPI/Embrapa Cerrados, p.311-327, 1998.
- ANDRADE, J. G. **Perdas de água por evaporação de um solo cultivado com milho nos sistemas de plantio direto e convencional**. 2008. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.
- CUNHA, G. R. & ASSAD, E. D. Uma visão geral do número especial da RBA sobre zoneamento agrícola no Brasil. **Rev. Bras. Agrometeorologia**, 9:377-385, 2001.
- DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; OLIVEIRA, M. C. N.; SARAIVA, O. F.; TORRES, E.; GARBELINI, L. G. Evolução da produtividade da soja em plantio direto ao longo de duas décadas e sua relação com a escarificação esporádica do solo e o sistema de culturas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 32, 2009, Fortaleza, CE. Anais. Fortaleza, SBCS, 2009.
- FARIAS, J. R. B. et al. Caracterização de risco climático nas regiões produtoras de soja no Brasil. **R. Bras. Agrometeorologia**, 9:415-421, 2001.
- FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A. L.; MARIN, F. R. Modelagem para estimativa de perdas de rendimento de grãos de soja em função da disponibilidade hídrica. In:

SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 3., 2005, Sete Lagoas, MG. Anais. Sete Lagoas, Embrapa Milho e Sorgo, 2005.

FEBRAPDP. **Brasil – Evolução da área cultivada em plantio direto de 1972/73 a 2005/06.** Disponível em: <[http://www.febrapdp.org.br/arquivos/BREvolucao\\_PD72a06.pdf](http://www.febrapdp.org.br/arquivos/BREvolucao_PD72a06.pdf)>. Acesso em: 24 jul. 2010.

FOREST, F. Simulation du bilan hydrique des cultures pluviales. **Présentation et utilisation du logiciel BIP.** Montpellier: IRAT-CIRAD, 1984. 63 p.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; SACOMAN, A.; NEPOMUCENO, A. L.; FARIAS, J. R. B. **Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca.** Londrina: Embrapa Soja, 2009. 40 p. (Embrapa Soja. Documentos, 314).

FREITAS, P. S. L.; MANTOVANI, E. C.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, L. C. Influência da cobertura de resíduos de culturas nas fases da evaporação direta da água do solo. **R. Bras. Eng. Agric. Ambiental** 10:104-111, 2006.

NICOLOSO, R. S.; AMADO, T. J. C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M. E.; GIRARDELLO, V. C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo

muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:1723-1734, 2008.

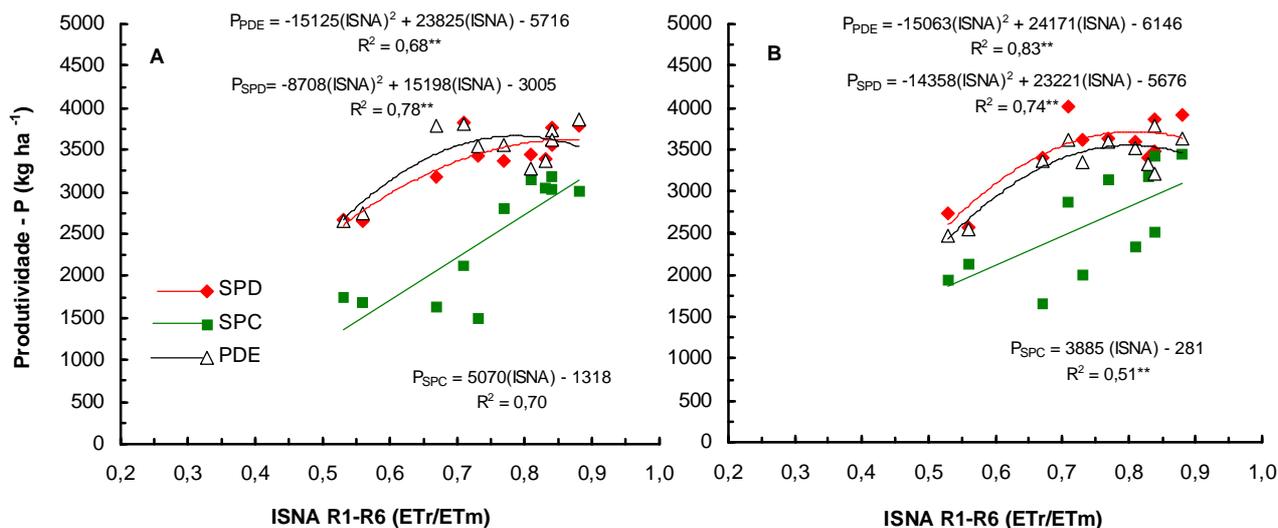
OADES, J. M. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. **Geoderma**, 56:377-400, 1993.

PREVEDELLO, C. L.; MAGGIOTTO, S. R.; LOYOLA, J. M. T.; DIAS, N. L.; BEPPLER NETO, G. Balanço de água por aquisição automática de dados em cultura de trigo (*Triticum aestivum* L.). **R. Bras. Ci. Solo**, 31:1-8, 2007.

REICHERT, J. M.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; RIQUELME, U. F. B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesq. Agro. Bras.** 44:310-319, 2009.

SILVA, F. A. M. Parametrização e modelagem do balanço hídrico em sistema de plantio direto no cerrado brasileiro. 2004. 218 f. Tese (doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. **Soil Tillage Res.**, 52:223-232, 1999.



**Figura 1.** Relação entre o índice de satisfação das necessidades de água médio nos estádios R1 a R6 (ISNA R1-R6) e a produtividade de grãos da soja, na rotação trevo/milho – aveia/soja – trigo/soja – trigo/soja (A) e na sucessão trigo/soja (B), em função do sistema de manejo do solo adotado (SPD = sistema plantio direto; PDE = plantio direto escarificado a cada três anos; SPC = sistema preparo convencional).

\*\* Modelo estatisticamente significativo ( $p < 0,01$ , teste F)