

CIRCULAR TECNICA 1

**INCREMENTO DE PRODUTIVIDADE DA SOJA:
Redução do déficit hídrico associado à melhor
distribuição e profundidade do sistema radicular**

Novembro de 2016

CIRCULAR TÉCNICA:
INCREMENTO DE PRODUTIVIDADE DA SOJA:
Redução do déficit hídrico associado à melhor
distribuição e profundidade do sistema radicular³

Rafael Battisti¹

Paulo Cesar Sentelhas¹

Henry Sako²

Ernesto Akira Shiozaki³

¹ Dep. de Engenharia de Biosistemas, ESALQ/USP.

² Coordenador Técnico do CESB.

³ Acadêmico Engenharia Agrônômica, ESALQ/USP e trainee CESB

³ Parte deste trabalho foi publicado na XXXV Reunião de Pesquisa de Soja.

SUMÁRIO

Resumo	04
1 – Introdução	05
2 – Material e Métodos	07
3 – Resultados e Discussão.....	08
4 - Melhorando a distribuição do sistema radicular no solo.....	11
5 – Conclusões	12
6 – Referências Bibliográficas.....	13

RESUMO

Aumentar a produtividade da cultura da soja é uma demanda atual baseada em dois pilares, aumento da produção de alimentos e da renda do produtor rural. Como no Brasil o principal fator limitante da produtividade é o déficit hídrico, uma melhor exploração do solo pelo sistema radicular é essencial para o aumento da quantidade de água disponível para as plantas. Assim, este trabalho teve por objetivo quantificar o incremento de produtividade da soja com o aumento gradativo da profundidade do sistema radicular, responsável por reduzir o déficit hídrico para as plantas. Tal análise foi realizada utilizando-se um modelo de simulação do crescimento e da produtividade da cultura da soja para três localidades do estado do Paraná, considerando-se cinco profundidades máximas do sistema radicular, sendo 60, 80, 120, 150 e 200 cm. Essas profundidades representam diferentes condições operacionais de manejo observados em lavouras de cultivo da soja. Com o aumento da profundidade do sistema radicular foram observados incrementos gradativos de produtividade, que variaram, em média, de 400 a 1500 kg ha⁻¹, podendo chegar em safras específicas, sob condições de intenso déficit hídrico, a mais de 3000 kg ha⁻¹. Portanto, o manejo adequado do solo e/ou uso de cultivares com características radiculares que levem a uma melhor exploração do volume de solo são alternativas que devem ser consideradas pelos produtores e extensionistas como estratégias para aumentar a produtividade da cultura da soja no Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O aumento da produtividade da soja é uma demanda atual, que está associada ao aumento da produção de alimentos e da renda ao produtor rural. No Brasil, o principal fator limitante de produtividade da soja é o déficit hídrico ao longo do ciclo (SENTELHAS et al., 2015), o qual ocorre em diferentes níveis e frequências nas diferentes regiões produtoras do Brasil, como pode ser observado na Figura 1, e que tende a aumentar nos cenários futuros de mudanças climáticas. Desse modo, é necessário se aumentar a eficiência do sistema produtivo, por meio da exploração racional dos recursos naturais (solo e clima) e de práticas de manejo agrícola mais eficientes.

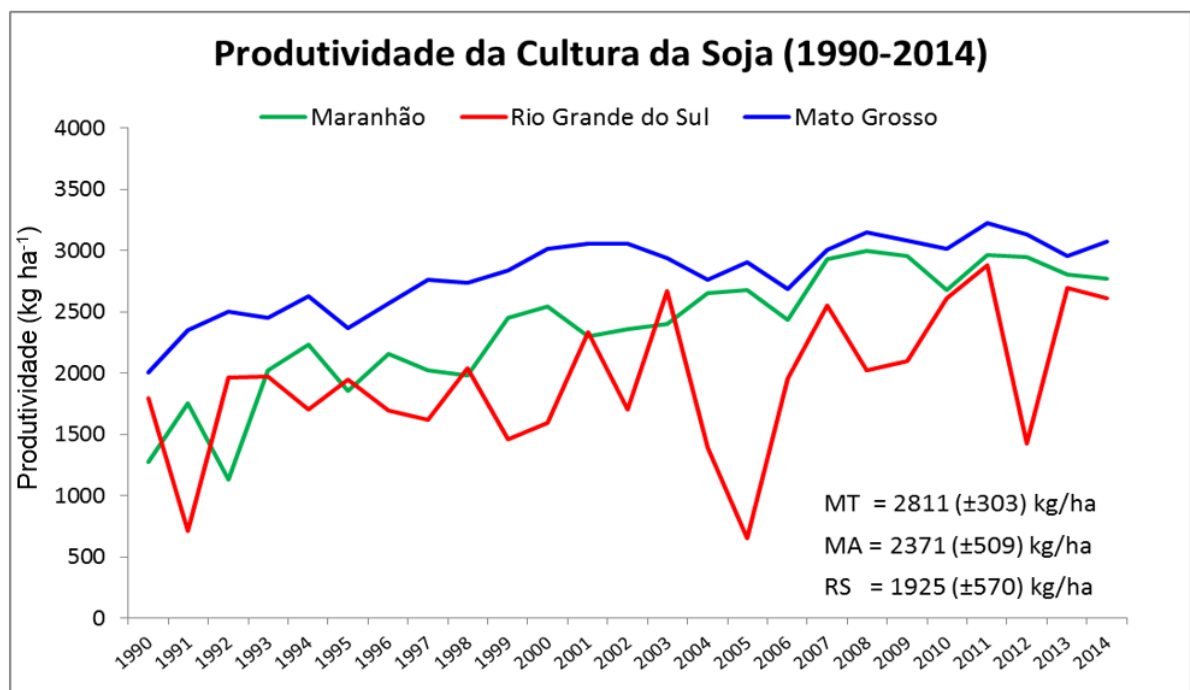


Figura 1. Produtividade média da cultura da soja nos estados do Mato Grosso, do Maranhão e do Rio Grande do Sul ao longo do período entre 1990 e 2014. Os valores no canto inferior direito representam as médias e os desvios padrão. Fonte: IBGE (2016).

Dentre as práticas de manejo agrícola mais eficientes, aquelas associadas ao aprofundamento e à melhor distribuição do sistema radicular é de extrema importância, pois permite criar melhores condições para as culturas, em decorrência do aumento da disponibilidade de água e nutrientes. Isso reduz os estresses decorrentes do déficit hídrico, melhora a absorção de nutrientes e aumenta a produtividade em relação aos solos com restrições química e/ou física (FRANCHINI et al., 2009; PIVETA et al., 2011).

Em relação à água disponível para as plantas, a profundidade efetiva do sistema radicular tem papel fundamental em determinar a quantidade total de água que a planta pode utilizar. Assim, a capacidade de água disponível (CAD, mm) é função das características físico-hídricas do solo, como a capacidade de campo (água retida no solo após a drenagem, CC%), o ponto de murcha permanente (nível de água no solo que a planta não consegue mais extrair, PMP%) e a densidade do solo (D), assim como da profundidade efetiva do sistema radicular (Z) (PEREIRA et al., 2002):

$$CAD = 0,01 (CC\% - PMP\%) D Z$$

Sendo assim, quanto maior for a profundidade efetiva do sistema radicular, maior será a disponibilidade hídrica para cultura, aumentando a reserva de água para períodos de estiagem. Por exemplo, em solos de textura média há uma disponibilidade hídrica de 1,2 mm de água para cada centímetro de solo. Se adotarmos a profundidade atual do sistema radicular da soja em lavouras de baixa produtividade como 50 cm (PIVETTA et al., 2011), a soja teria de reserva 60 mm, valor que corresponde a um consumo hídrico sob alta demanda de 5 a 8 dias, ou seja, período que a planta não sofreria com déficit hídrico intenso. Já em casos em que o sistema radicular atinge entre 1,0 e 1,5 metros, como observado nas áreas campeãs de produtividade do CESB, adotando-se o valor intermediário de 1,25 metros, teríamos um total de 150 mm disponíveis para a cultura da soja, o que levaria as plantas de soja a tolerar de 15 a 20 dias de estiagem com boa reserva de água no solo.

Ao longo do ciclo da soja e das diferentes safras, a variabilidade climática, especialmente em relação à distribuição e quantidade de chuvas, afeta de forma diferenciada a produtividade da cultura, especialmente quando se considera a interação entre as condições meteorológicas e os diferentes perfis de distribuição das raízes no solo. Como é difícil se quantificar tais aspectos em poucos anos

experimentais, a melhor forma para se avaliar estratégias de manejo do solo e distribuição radicular para aumento da profundidade é por meio de modelos de simulação de crescimento e produtividade de culturas, os quais permitem o entendimento das relações de causa-efeito entre práticas de manejo e o crescimento e a produtividade.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi quantificar o incremento de produtividade da soja com o aumento da profundidade e distribuição do sistema radicular da cultura, condição observada nos campeões de produtividade do CESB, por meio de simulações com o modelo CSM-CROPGRO-Soybean, devidamente calibrado, para três localidades do estado do Paraná.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O modelo de simulação da cultura da soja utilizado foi o CSM-CROPGRO-Soybean, o qual faz parte da plataforma do sistema *Decision Support System for Agrotechnology Transfer* (DSSAT) (BOOTE et al., 2003). A calibração do modelo foi realizada utilizando dados experimentais de desenvolvimento e crescimento da cultura da soja, conduzidos em Frederico Westphalen, RS, Londrina, PR, e Piracicaba, SP. Nesses locais, os experimentos foram realizados utilizando-se diferentes datas de semeadura, entre outubro e janeiro de 2013/2014, em condições de sequeiro e irrigado, totalizando 17 condições experimentais. A validação do modelo foi realizada com dados de produtividade obtidos nas safras 2014/2015 e 2015/16 nos mesmos locais. O desempenho do modelo em relação aos dados observados e simulados é apresentado na Figura 2. Maiores detalhes sobre o modelo e suas características podem ser encontrados em Battisti et al. (2017).

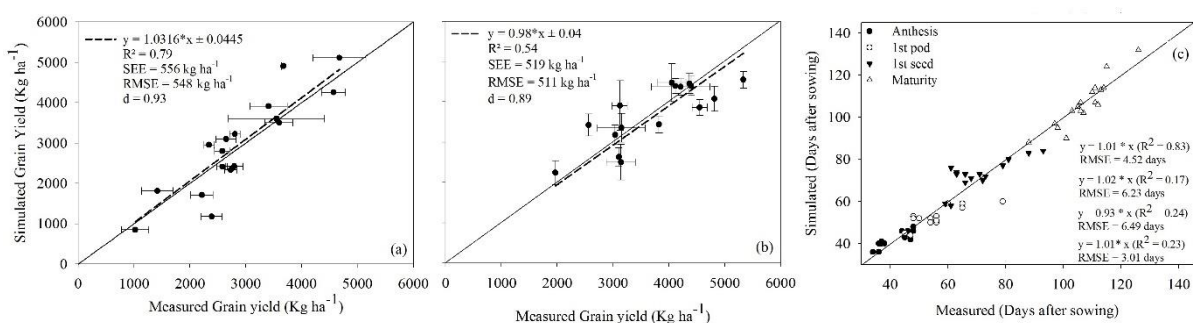


Figura 2. Relação entre dados observados e simulados pelo modelo CSM-CROPGRO-Soybean após a calibração para a produtividade (a) e fases de desenvolvimento (c), e na fase de validação para produtividade (b).

As simulações de produtividade foram feitas utilizando-se cinco perfis de distribuição de raiz no solo, alterando o fator de crescimento radicular no modelo, resultando em diferentes valores de densidade radicular (Figura 3). A avaliação foi realizada para as localidades de Londrina (Nitossolo), Cascavel (Latossolo) e Ponta Grossa (Argissolo), para o período de 1961 a 2014, realizando as simulações para a semeadura em 15 de novembro de cada ano da série histórica analisada. Os resultados foram avaliados comparando-se as produtividades das 53 safras por meio dos percentis para cada local em função do sistema radicular e do incremento de produtividade de cada consição (profundidades máximas do sistema radicular de 80, 120, 150 e 200 cm) em relação ao sistema radicular mais restritivo (profundidade máxima de 60 cm), denominado de “Raiz 5”.

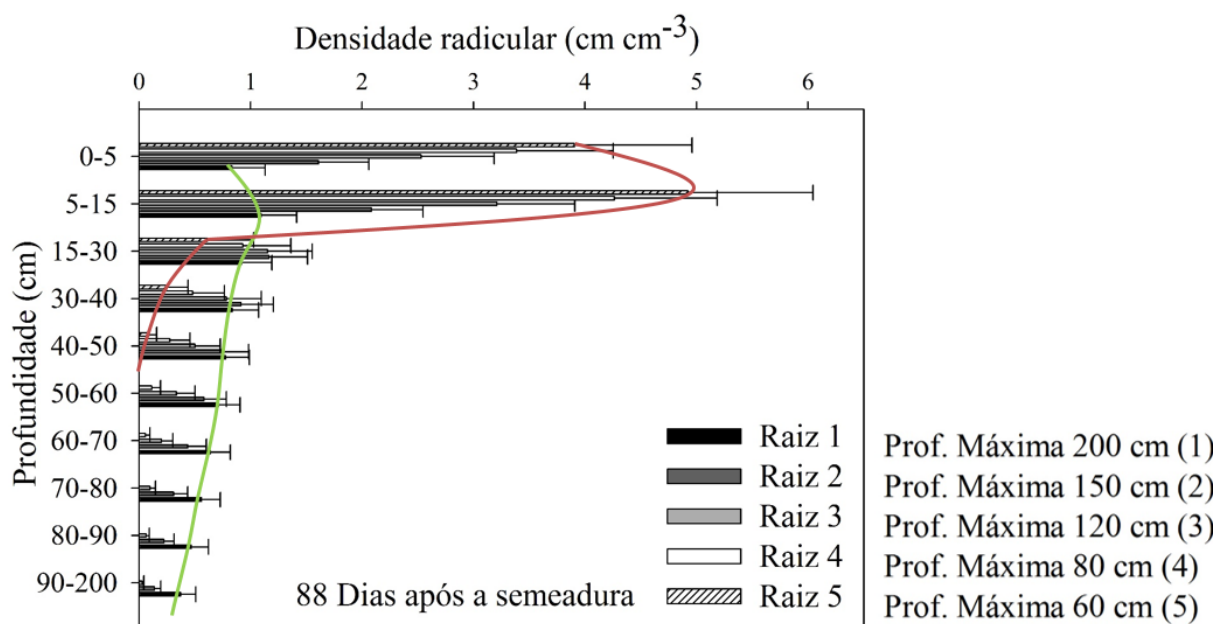


Figura 3. Densidade radicular para cada um dos tratamentos utilizados (1 a 5) na avaliação de incremento de produtividade. Linha verde representa os sistemas radiculares mais profundos, observados nos campeões de produtividade, enquanto que a linha vermelha representa os sistemas radiculares mais superficiais, observados em locais com baixa produtividade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao utilizar diferentes valores para o parâmetro de crescimento radicular no modelo observou-se diferentes densidades radiculares ao longo do perfil do solo (Figura 3). Observou-se que no sistema com menor restrição (Raiz 1, linha verde da Figura 3), houve uma menor densidade radicular nas primeiras camadas em relação aos demais sistemas, mas em compensação, ao aumentar a profundidade das raízes no solo, o tratamento Raiz 1 manteve maior profundidade radicular, aumentando a CAD do solo para a planta em função da profundidade efetiva do sistema radicular. Para o tratamento “Raiz 5” (linha vermelha na Figura 3), observa-se uma maior densidade radicular nas primeiras camadas, porém, sendo está limitada a 60 cm, condição na qual, especialmente em anos secos, ocorre uma redução rápida da umidade do solo, levando à ocorrência de déficit hídrico acentuado e redução da produtividade da soja.

Os diferentes perfis de raiz resultaram em diferentes valores de produtividade, como pode ser observado nas Figuras 4a, 4c e 4e, em que o sistema radicular “Raiz 1”, apresentou maior produtividade média, embora próxima da observada para o sistema “Raiz 2”. Os sistemas radiculares mais homogêneos (Raiz 1 e Raiz 2) apresentaram maior estabilidade de produtividade, reduzindo a diferença entre os valores máximos e mínimos. Nos sistemas com raízes mais superficiais, como nos sistemas “Raiz 4” e “Raiz 5”, a produtividade média foi mais baixa que nos demais, havendo ainda aumento na variabilidade interanual, indicando que em anos com boa disponibilidade hídrica, principalmente no sistema “Raiz 4” não há limitação para altas produtividades, porém em anos secos, a produtividade é drasticamente reduzida, como pode ser observado nos percentis da Figura 4.

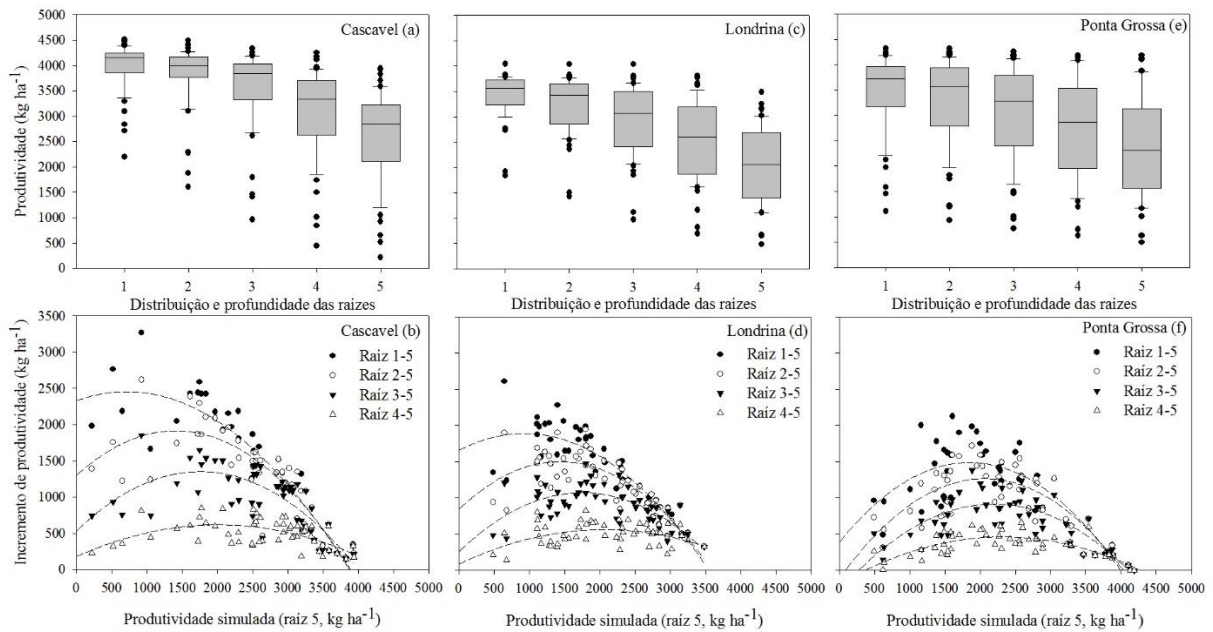


Figura 4. Produtividade de soja simulada para cada distribuição de raiz (a, c e e) e incremento de produtividade em relação à pior distribuição radicular (b, d e f) para três locais do estado do Paraná. Nas figuras a, d e e, os percentis são para 5-95%, 75-25%, 50% e os pontos são os *outliers*. Incremento de produtividade é a diferença entre os perfis 1, 2, 3 e 4 em relação ao 5.

Quando analisado o incremento de produtividade em relação à produtividade observada no sistema “Raiz 5” (Figura 4b, 4d e 4f), perfis mais homogêneos, como o “Raiz 1”, apresentaram maiores ganhos, variando apenas em função da localidade, devido às condições climáticas locais. O incremento de produtividade aumentou com a redução da produtividade simulada no perfil 5 até certo ponto, indicando que sob baixa disponibilidade hídrica (valores de produtividade menores que 1000 kg ha⁻¹) todos os perfis tenderam a reduzir a produtividade e, conseqüentemente, o incremento devido ao aprofundamento das raízes. Isso ocorreu devido ao fato da cultura da soja, nessa condição de estresse hídrico elevado, não conseguir promover o crescimento radicular.

Analisando o ganho médio de produtividade para os perfis 1, 2, 3 e 4 em relação ao pior perfil (Raiz 5), limitado a 60 cm de profundidade, pode-se observar ganhos de 400 a 1500 kg ha⁻¹ (Figura 5). Em Ponta Grossa, onde a temperatura é menor do que

nos demais locais, resultando em menores déficit hídricos, os incrementos de produtividade são menores.

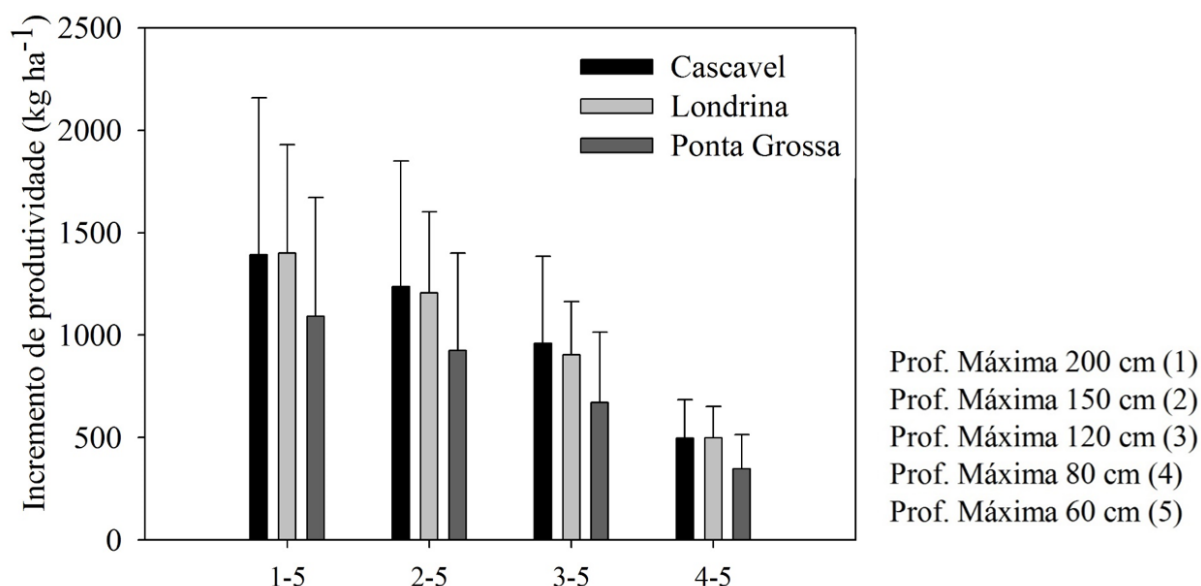


Figura 5. Incremento de produtividade dos perfis de solo 1, 2, 3 e 4 em relação ao perfil 5 (perfil superficial). Valores médios de produtividade simulados para 53 safras (1961-2014).

4. Melhorando a distribuição do sistema radicular no solo

O enraizamento ao longo do perfil do solo está diretamente ligado com a fertilidade do solo em sub-superfície. Na safra 2014/15 foi feito um levantamento de solos e de enraizamento em todos locais em que as produtividades alcançadas na cultura da soja passaram de 5.400 kg ha⁻¹ no Desafio Nacional de Máxima Produtividade do CESB, e nesses locais observou-se que na análise de fertilidade do solo no perfil entre 40 a 100 cm de profundidade haviam teores de cálcio acima de 8 mmol dm⁻³, saturação de base acima de 30%, alumínio próximo de zero, boro em teores entre 0,6 e 1 mg dm⁻³ e um baixo nível de resistência de solo, de até 1,5 MPa, elementos fundamentais para se ter um bom crescimento radicular no perfil. Nesses locais de alta produtividade, constatou-se, ainda, um alto volume de raízes e em grandes profundidades, chegando a 1,2 m (CESB, 2016), profundidade que resultou

em ganhos de produtividade de 600 a 1000 kg ha⁻¹ em relação à profundidade mais superficial.

Em 2014/15, o CESB realizou um experimento para fins de observação, com o objetivo de avaliar até que profundidade de enraizamento a produtividade da soja estava sendo limitada. Para esse trabalho foi feita uma correção do solo de formar manual com calcário a 20 cm, 40 cm, 60 cm, 80 cm e 100 cm de profundidade (Figura 6), sendo a semeadura manual da soja. Observou-se que a produtividade média foi crescente (Figura 7) em relação à profundidade em que a correção do solo não foi realizada, apresentando ganhos de produtividade similares aos simulados pelo modelo DSSAT-Soybean, confirmando a confiabilidade das análises aqui apresentadas



Figura 6. Abertura de trincheira em diferentes profundidades.

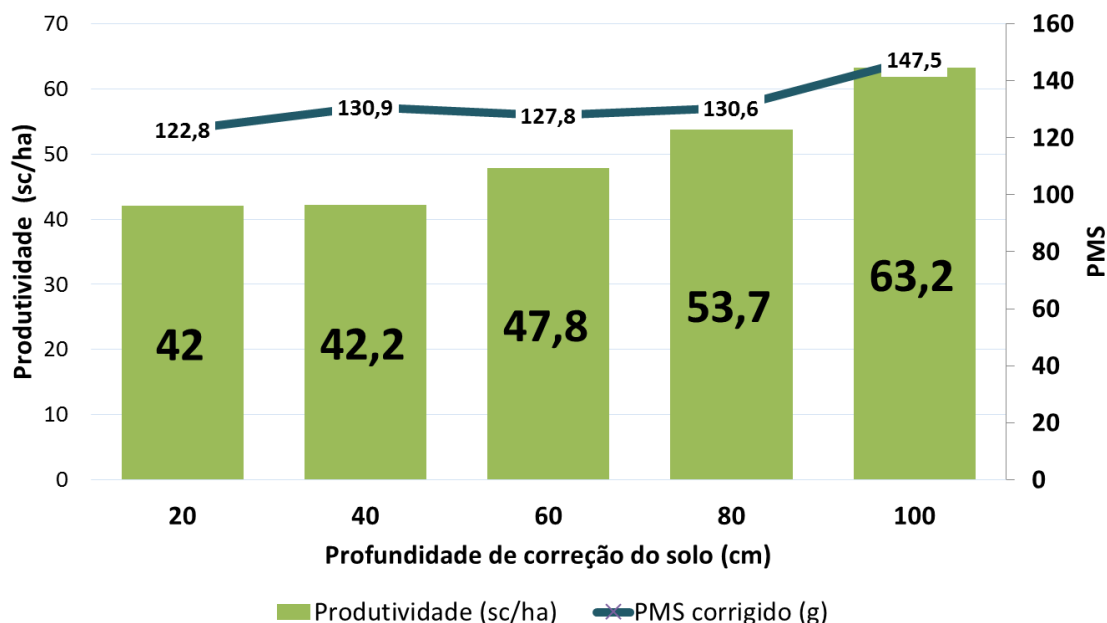


Figura 7. Produtividade da soja em diferentes profundidades de correção de solo.

Uma outra alternativa para o aumento da resiliência da cultura da soja com relação ao déficit hídrico é a seleção de cultivares com características de sistema radicular mais profundo (FRANCHINI et al., 2009). Essa diferença entre cultivares para o crescimento radicular pode ser um dos fatores que gera diferenças com relação ao nível de tolerância ao déficit hídrico das mesmas, afetando diretamente a produtividade em condições limitantes (BATTISTI e SENTELHAS, 2015). Outro aspecto a ser considerado é a seleção de cultivares tolerantes a nematoides, outro fator que limita o crescimento radicular e os altos níveis de produtividade da soja.

5. CONCLUSÕES

Em função dos resultados apresentados, fica evidente que o manejo dos solos para aumentar a profundidade de exploração das raízes é uma das principais formas de se alcançar altas produtividades na cultura da soja, o que vem sendo efetivamente observado nos Desafios Nacionais de Máxima Produtividade do CESB. A melhor forma de se obter tal aumento é por meio da ação conjunta de melhores práticas de

manejo do solo e do uso de cultivares de soja que apresentem alto potencial de desenvolvimento radicular.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C. Drought tolerance of Brazilian soybean cultivars simulated by a simple agrometeorological yield model. *Experimental Agriculture*, v. 51, p. 285-298, 2015.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C.; BOOTE, K.J. Inter-comparison of performance of soybean crop simulation models and their ensemble in southern Brazil. *Field Crop Research*, v. 200, p. 28-37, 2017.

COMITE ESTRATÉGICO SOJA BRASIL – CESB. Desafio nacional de máxima produtividade. Disponível em: <http://www.cesbrasil.org.br>. Acesso em março de 2016.

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, 39 pp. (Embrapa Soja. Documentos, 314), 2009.

IBGE. Produção agrícola municipal. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acessado em agosto de 2016.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PIVETTA, L.A.; CASTOLDI, G.; SANTOS, G. DOS; ROSOLEM, C.A. Crescimento e atividade de raízes de soja em função do sistema de produção. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 46, p. 1547-1554, 2011.

SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G.M.S.; FARIAS, J.R.B.; HAMPF, A.; NENDEL, C. The Soybean Yield Gap in Brazil - Magnitude, Causes and Possible Solutions for a Sustainable Production. *Journal of Agriculture Science, Cambridge*, v. 153, p. 1394-1411, 2015.