

Contribuição de Sistemas de Manejo do Solo para a Produção Sustentável da Soja

Londrina, PR
Setembro, 2008

Autores

Julio Cesar Franchini

Engº Agrônomo
Embrapa Soja
Cx. Postal 231
86001-970, Londrina, PR
franchin@cnpsa.embrapa.br

Odilon Ferreira Saraiva

Engº Agrônomo
Embrapa Soja
Cx. Postal 231
86001-970, Londrina, PR
odilon@cnpsa.embrapa.br

Henrique Debiasi

Engº Agrônomo
Embrapa Soja
Cx. Postal 231
86001-970, Londrina, PR
debiasi@cnpsa.embrapa.br

Sergio Luiz Gonçalves

Engº Agrônomo
Embrapa Soja
Cx. Postal 231
86001-970, Londrina, PR
sergiolg@cnpsa.embrapa.br

O manejo adequado do solo é um dos principais fatores para manter ou melhorar a produtividade em regiões tropicais e subtropicais e reduzir a degradação ambiental. Solos tropicais muitas vezes apresentam estrutura e agregados com boa estabilidade, porém práticas de manejo como a aração e a monocultura podem conduzir à sua rápida deterioração. Os objetivos principais de sistemas conservacionistas são preservar o solo e os recursos naturais, tornando seu uso mais eficiente, e aumentar a sustentabilidade da produção agrícola. Isso pode ser alcançado pelo manejo integrado do solo e dos recursos hídricos e biológicos em combinação com o uso racional de insumos. O presente trabalho terá seu foco sobre o sistema de plantio direto, que deveria ser visto como um sistema de produção e não uma simples prática agrícola. O sistema envolve a semeadura, o manejo dos resíduos, o controle de pragas, a correção da fertilidade, a colheita e o sistema de culturas. Para obter os benefícios plenos do plantio direto, devem ser observados os seguintes princípios: mínimo revolvimento do solo, cobertura do solo com resíduos ou plantas de cobertura, rotação de culturas e permanência no sistema.

Ainda hoje o plantio direto continua em expansão no Brasil, já que tem proporcionado efeitos positivos sobre as propriedades do solo, o rendimento das culturas e na prevenção do processo erosivo. Outras vantagens do plantio direto são a economia de combustível e de tempo, tendo em vista que as operações de preparo do solo demandam muito tempo e condições adequadas de umidade para sua execução. A segunda safra de verão com milho, que hoje é bastante comum em regiões do Paraná, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás, foi viabilizada pelo desenvolvimento de cultivares precoces de soja e milho e pela economia de tempo proporcionada pela possibilidade de realizar a semeadura em condições variáveis de umidade do solo sem revolvimento, tanto para a cultura da soja na primavera, quanto para a cultura do milho em plena estação chuvosa no verão.

Outro aspecto importante do plantio direto diz respeito a sua relação com a matéria orgânica do solo. A bibliografia a respeito do plantio direto em países tropicais tem apresentado diferentes conclusões sobre o conteúdo de matéria orgânica em comparação com os sistemas que envolvem o revolvimento do solo. Alguns estudos têm demonstrado um aumento da matéria orgânica do solo após alguns anos (Bayer et al., 2006; Franchini et al., 2007), enquanto em outros a matéria orgânica permanece inalterada (Silva et al., 2001) ou diminui (Machado & Silva et al. 2001; Franchini et al., 2007). Essa discordância entre estudos pode ser compreendida, uma vez que o processo de acúmulo de matéria orgânica é muito dependente de fatores relacionados ao tipo de solo, como a textura, ao clima, como temperatura e precipitação e ao sistema de culturas, como a composição química dos resíduos vegetais, quantidades produzidas e as taxas de decomposição. De qualquer forma, o conteúdo de matéria orgânica do solo provavelmente é uma das mais importantes características em relação à qualidade do solo, devido a sua influência sobre propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

No Brasil, a maioria dos agricultores tem adotado o sistema de plantio direto, entretanto em vários casos é considerado imperfeito por não seguir os princípios básicos do sistema. A adoção incompleta não é sustentável e pode conduzir a problemas como a compactação do solo, o aumento na ocorrência de plantas daninhas e de doenças e a menor eficiência no uso do solo e da água. Deste modo, a adoção do sistema de plantio direto nem sempre resulta em características positivas para o solo. Vários estudos assinalam efeitos negativos do uso contínuo do plantio direto. Ele pode causar aumento da densidade do solo, reduzir a permeabilidade à água e aumentar a resistência do solo à penetração (Bertol et al., 2000; Costa et al., 2003). Nos últimos anos, a pesquisa tem se dedicado à identificação dos fatores associados ao sucesso ou fracasso na adoção do sistema de plantio direto, com o intuito de desenvolver as melhores estratégias de adoção e manutenção do sistema. Um importante fator que pode afetar a sustentabilidade em longo prazo é a alteração das propriedades físicas do solo. Deste modo, é importante monitorar essas mudanças para prevenir efeitos indesejáveis. Um grande volume de informações tem sido obtido sobre o sistema de plantio direto em condições experimentais, no entanto existe ainda a necessidade de complementar estas informações com estudos realizados em propriedades rurais.

Algumas propriedades físicas contribuem para a qualidade do solo. A densidade do solo, a resistência à penetração e a estabilidade estrutural do solo são fortemente influenciadas pela matéria orgânica e pelo tráfego de máquinas na área. Uma abordagem detalhada sobre a densidade do solo e a resistência a penetração é apresentada por Debiasi et al. (2008). Em relação à estabilidade estrutural, alguns aspectos serão abordados no que se refere a sua importância no processo de acúmulo de matéria orgânica no plantio direto, particularmente através da proteção física da fração orgânica recém incorporada ao solo. No decorrer deste trabalho, serão apresentados resultados de pesquisas desenvolvidas pela Embrapa Soja com o intuito de avaliar a influência de diferentes sistemas de manejo do solo e de culturas sobre a matéria orgânica do solo e seus reflexos na produtividade das culturas, particularmente a soja.

A MOS influencia diretamente um grande espectro de propriedades químicas, físicas e biológicas do solo como, por exemplo, a capacidade de troca de cátions, a capacidade de armazenamento de água, a estabilidade estrutural e a atividade e diversidade biológica. Particularmente, em relação à dinâmica da água no solo, a permanência dos resíduos culturais na superfície do solo e o acúmulo de MOS no plantio direto provocam algumas modificações no ambiente do solo que influenciam o desenvolvimento e o balanço hídrico das culturas, tais como: redução do impacto direto das gotas de chuvas, diminuindo a desagregação e o escoamento superficial com aumento do tempo de infiltração da água; dissipação de parte da radiação solar que chega ao solo, com a redução da amplitude térmica e da evaporação da água e o aumento da capacidade de armazenamento de água. Deste modo, a manutenção e/ou aumento da MOS é essencial para a conservação e armazenamento de água e para a redução dos efeitos adversos do déficit hídrico.

O balanço hídrico leva em consideração a dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera, através da demanda das culturas nos diferentes estádios de desenvolvimento, a demanda evaporativa da atmosfera e a capacidade de armazenamento de água do solo. A demanda das culturas e da atmosfera são parâmetros já definidos com certo grau de confiabilidade, permanecendo ainda uma grande incógnita sobre a contribuição do sistema solo. Normalmente, a capacidade de armazenamento de água do solo leva em consideração apenas atributos físicos, particularmente a textura, sendo pouca importância atribuída a aspectos relacionados à MOS e à cobertura do solo que são alterados no plantio direto. Em anos recentes, tem sido observado, nas principais regiões agrícolas brasileiras, um aumento na incidência e duração dos períodos de déficit hídrico, comumente conhecidos como veranicos, com grande impacto na produtividade das culturas.

A MOS contribui para o aumento do reservatório de água, por apresentar capacidade de armazenamento maior do que os constituintes da fração mineral do solo e por contribuir para melhorar a estrutura do mesmo. Para as condições do Norte do Paraná, foram observadas taxas médias de acúmulo de carbono no plantio direto, na ordem 500 kg/ha/ano (ver Figura 6). Esta taxa de acúmulo de carbono, considerando uma capacidade de

armazenamento de 3 a 5 g de água/g de C, significa um aumento anual da capacidade de armazenamento de água no plantio direto da ordem de 2 a 3 mm/ha/ano. Neste contexto, após 10 anos de plantio direto, o solo aumentaria sua capacidade de armazenamento de água em aproximadamente 20 a 30 mm, o que significa um acréscimo de 3 a 4 dias na capacidade estabelecida apenas pela constituição do solo, considerando um consumo de 8 mm/dia para a cultura da soja.

Algumas características físicas do solo influenciam na capacidade de armazenamento e no movimento ascendente (capilaridade) ou descendente (drenagem) de água, como o tamanho de partículas, a área de superfície e a porosidade (macro, micro e total). Estas características são variáveis para cada tipo de solo, sendo basicamente determinadas pela textura, estrutura e tipo de argila. Assim, considerando apenas aspectos físicos do solo e as necessidades da cultura da soja em seu estágio de desenvolvimento mais crítico ao déficit hídrico (pleno florescimento, 8 mm/dia), um solo argiloso (700 g argila/kg solo) pode armazenar água, na camada de até 50 cm de profundidade, em quantidade equivalente a 10 a 12 dias da necessidade da cultura, enquanto em um solo arenoso (150 g argila/kg solo) esse valor equivale a apenas 3 a 5 dias. Em complemento a isso, o manejo do solo pode contribuir para o aumento da disponibilidade e da capacidade de armazenamento de água através dos seguintes mecanismos: a) aumento da profundidade efetiva do sistema radicular; b) manutenção da cobertura; c) preservação e/ou aumento da matéria orgânica e d) melhoria da estrutura do solo.

A profundidade efetiva do sistema radicular pode ser aumentada através da correção da acidez nas camadas subsuperficiais, o que permite que a planta tenha acesso a um reservatório maior de água. Em estudo de aplicação superficial de calcário em plantio direto, em solo de textura argilosa, realizado pela Embrapa Soja em São Domingos (SC), em parceria com a COAMO, foi observada uma redução de aproximadamente 50% no teor de Al trocável nas camadas de solo abaixo de 20 cm e um aumento de 12 m/m² no comprimento do sistema radicular da soja, na camada de 0 a 100 cm, quando ela foi cultivada após aveia preta em relação ao cultivo após pousio (Figura 1). A maior parte desse acréscimo no sistema radicular foi observada nas camadas de solo abaixo de 50 cm de profundidade, com a soja apresentando 12 m/m² de raiz após a aveia e apenas 5 m/m² após o pousio. Essa diferença no crescimento radicular proporcionou um incremento de 16% na produtividade da soja, que atingiu 3575 kg/ha após aveia e 3092 kg/ha após o pousio. O efeito “alcalino” apresentado pela aveia preta precisa ser mais bem entendido para que esta característica possa ser identificada em outros materiais usados em outras regiões do Brasil.

A melhoria do perfil do solo com a aplicação superficial de calcário também foi observada em estudo realizado pela Embrapa Soja em Entre Rios (PR), em parceria com a FAPA. Com a aplicação de doses de calcário em sistema de rotação de culturas com nabo forrageiro e aveia (Figura 2), foram observadas alterações progressivas do pH e dos teores de cálcio no solo. Aumentos nos teores de Ca trocável têm sido observados nas camadas de solo abaixo de 10 cm mesmo após 46 meses da aplicação do

calcário. Para o pH, por outro lado, observa-se que a reação máxima do calcário ocorreu após 17 meses da aplicação, podendo já ser observado o processo de reacidificação do solo nas camadas abaixo de 10 cm. Para as condições de Entre Rios observa-se que a aplicação superficial do calcário pode contribuir para a correção da acidez subsuperficial em sistemas de rotação com espécies de plantas de cobertura e adubação verde.

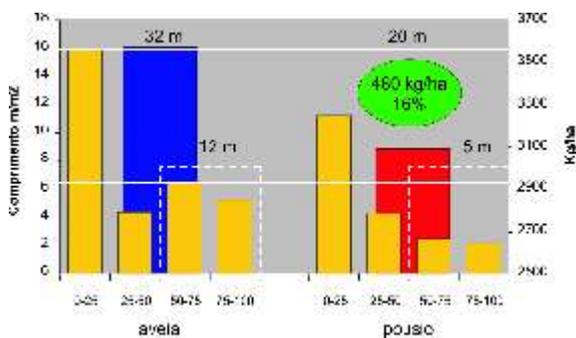


Figura 1. Desenvolvimento radicular e produtividade da soja em sistemas de rotação de culturas em plantio direto. Adaptado de Rodrigues et al. (2006). Comprimento total radicular de 0 a 100 cm: 32 m/m² após aveia e 20 m/m² após pousio; Comprimento radicular de 50 a 100 cm (área quadriculada): 12 m/m² após aveia e 5 m/m² após pousio. Comprimento radicular (coluna laranja) escala da esquerda; produtividade da soja (coluna azul para aveia e vermelha para pousio) escala da direita. Embrapa Soja/COAMO, 2008.

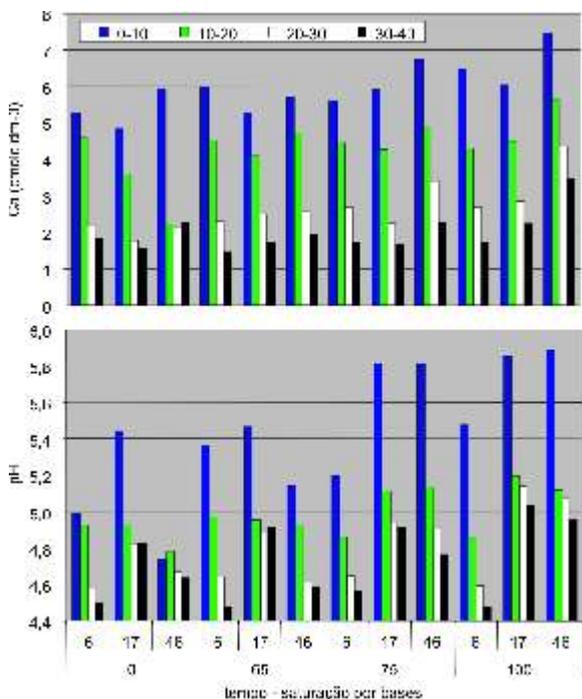


Figura 2. Variação do pH e dos teores de Ca trocável após 6, 17 e 46 meses da aplicação superficial de doses de calcário para atingir a saturação por bases de 65, 75 e 100 %, em um Latossolo Bruno de Entre Rios/PR. Embrapa Soja/FAPA, 2008.

A cobertura do solo, por sua vez, contribui para a redução das perdas de água por evaporação, que são mais importantes nos estádios iniciais de desenvolvimento, quando a cultura ainda não está completamente fechada. A redução das perdas de água

por evaporação é proporcional à quantidade de resíduos na superfície do solo e é provocada, principalmente, pela redução do fluxo de calor no solo. Em estudo de Sidiras & Pavan (1986), as menores temperaturas do solo nas profundidades de 3 e 6 cm foram observadas no plantio direto em relação ao plantio convencional, devido aos resíduos vegetais na superfície, que atuaram como isolante térmico. No verão, temperaturas registradas às 14 horas, próximas à superfície do solo, freqüentemente excederam a 40°C no plantio convencional e foram inferiores a 35°C no plantio direto.

A compactação do solo é um fator restritivo ao crescimento radicular e, muitas vezes, faz com que o produtor opte pelo revolvimento do solo para sua amenização. No plantio direto, naturalmente ocorre um aumento da densidade do solo na camada entre 8 e 16 cm de profundidade (Torres & Saraiva, 1999). Esse aumento de densidade pode atingir níveis impeditivos ao desenvolvimento radicular nas seguintes situações: ausência de rotação de culturas; em solos pobres em matéria orgânica; e em condições de uso excessivo e inadequado de máquinas (replanteio, manejo dos restos culturais de milho e plantio de culturas de inverno com grade niveladora e outras operações em condições inadequadas de umidade do solo). De certa forma, a compactação do solo é uma consequência da baixa produção de resíduos vegetais no sistema e do uso de espécies com sistema radicular pouco desenvolvido ou pouco agressivo. Uma abordagem mais ampla sobre o assunto é apresentada por Debiasi et al. (2008).

O conjunto de melhorias nas propriedades do solo, relacionadas com a dinâmica da água, resulta em maiores produtividades da soja, particularmente em sistemas de plantio direto já consolidados (com mais de 10 anos) e em anos com ocorrência de déficit hídrico. Vários experimentos de manejo do solo de longa duração, desenvolvidos na Fazenda Experimental da Embrapa Soja em Londrina, têm permitido observar a evolução da produtividade da soja em sistemas de manejo do solo. No mais antigo deles, iniciado em 1981, é possível identificar as diferentes fases do plantio direto (Figura 3).

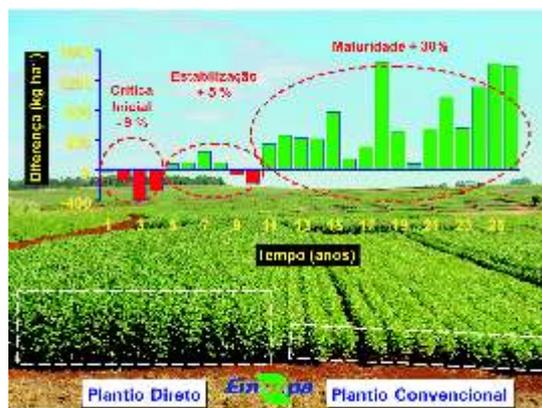


Figura 3. Diferenças de rendimento entre os sistemas de plantio direto e convencional em experimento de manejo do solo com a sucessão trigo/soja durante vinte e seis anos. Diferenças positivas indicam maior rendimento no plantio direto, enquanto negativas indicam maior rendimento no plantio convencional. Na parte inferior da Figura, pode ser observado o aspecto da cultura da soja sob plantio direto e plantio convencional nos campos experimentais da Embrapa Soja. Embrapa Soja, 2008.

Normalmente, nos primeiros anos sob plantio direto, observa-se menores produtividades da soja em relação ao plantio convencional. Nesta fase, que dura aproximadamente quatro anos, denominada de crítica para o plantio direto, a produtividade é em média 9% inferior, o que faz com que o produtor menos paciente retorne ao plantio convencional. Numa segunda fase, do quinto ao décimo ano, as produtividades da soja passam a ser em média 5% superiores no plantio direto, caracterizando uma fase de estabilização do sistema. A partir do décimo ano, sem exceção, observa-se produtividades que, em média, são 30% maiores no plantio direto em relação ao plantio convencional, caracterizando a fase de consolidação e maturidade do plantio direto (Figura 3). Esse ganho médio de produtividade de 30% ao ano no plantio direto, em relação ao convencional, significa que o produtor que utiliza o plantio direto ganha uma safra em relação ao convencional a cada 3,3 anos.

Em outro experimento de longo prazo, desenvolvido pela Embrapa Soja, também podem ser observados os efeitos do manejo do solo e da rotação de culturas sobre a sustentabilidade da produção da soja (Figura 4). É possível observar que os resultados obtidos nesse estudo têm comportamento bastante similar aos observados no estudo anterior, mas, devido à melhoria da tecnologia disponível na década de noventa, em relação às variedades, máquinas agrícolas e produtos químicos, particularmente herbicidas, verifica-se algumas diferenças em relação à duração das diferentes fases do sistema de plantio direto e principalmente em relação à contribuição do sistema de rotação de culturas para a duração das fases e para o equilíbrio da produção. Deste modo, nota-se que a fase crítica do sistema de plantio direto, que na década de oitenta durava em torno de quatro anos, no estudo iniciado na década de noventa passa a ser de apenas três anos se não houver rotação de culturas, ou simplesmente deixar de existir se essa prática for adotada. Nessa fase do sistema de plantio direto, a produtividade na sucessão de culturas e na rotação de culturas é 2% menor e 4% maior, respectivamente, quanto comparado ao sistema de plantio convencional. Da mesma forma, a fase de estabilização do sistema é mais curta e caracterizada não por oscilações positivas e negativas da produtividade do plantio direto em relação ao convencional, mas sim por oscilações positivas com amplitude menor do que a verificada na fase de maturidade do sistema. Na fase de estabilização do sistema de plantio direto, a produtividade é 11% e 19% maior quando se considera a sucessão e a rotação de culturas, respectivamente, em relação ao plantio convencional. Na fase de maturidade do plantio direto, a produtividade da soja nesse sistema supera a obtida no plantio convencional em 36% e 39% para sucessão e rotação de culturas, respectivamente. Esses dados indicam que, a cada 2,8 e 2,6 safras para a sucessão e rotação de culturas, respectivamente, o produtor colheiria uma safra a mais no plantio direto comparativamente ao convencional, valor bem abaixo dos cinco anos observados no estudo iniciado na década de oitenta.



Figura 4. Diferenças de rendimento entre os sistemas de plantio direto e convencional em experimento de manejo do solo com a sucessão trigo/soja e a rotação trevoço/milho/aveia/soja/trigo/soja/trigo/soja durante dezenove anos. Diferenças positivas indicam maior rendimento no plantio direto, enquanto negativas indicam maior rendimento no plantio convencional. Embrapa Soja – 2008.

Em anos com ocorrência de déficit hídrico, nos estádios de desenvolvimento mais críticos para a soja, como a safra 05/06, os benefícios do plantio direto ficam evidentes no aspecto da cultura e também na produtividade. A figura 5 ilustra bem esse efeito na produtividade. O plantio direto apresentou aumentos de produtividade em relação ao plantio convencional, que foram proporcionais ao número de anos no sistema. Assim, após três anos de plantio direto, a produtividade aumentou 14%, enquanto após 13 anos o aumento foi de 34%, em relação ao plantio convencional. Na prática fica constatada a contribuição do sistema de plantio direto para a sustentabilidade da produção, ou seja, mesmo sob condições desfavoráveis para a cultura, como a ocorrência de déficit hídrico acentuado, a produtividade é mantida, dando segurança econômica ao produtor.

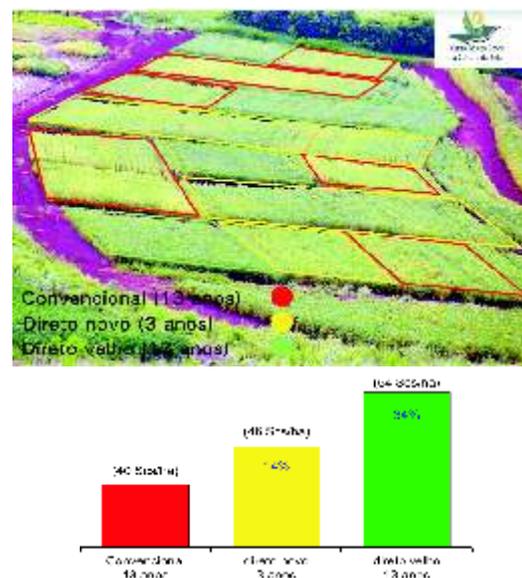


Figura 5. Aspecto visual e produtividade da cultura da soja em diferentes sistemas de manejo do solo. Áreas delineadas em verde representam o sistema de plantio direto após 13 anos; áreas em amarelo representam o plantio direto após três anos e áreas em vermelho representam o plantio convencional após 13 anos. O encurtamento do ciclo da soja (amarelecimento) indica que o déficit hídrico teve sua intensidade influenciada pelo sistema de manejo do solo. Embrapa Soja, 2008.

Essa evolução da produtividade e do grau de sustentabilidade do plantio direto está fortemente relacionada com os ganhos em matéria orgânica no solo (Figura 6). Os estoques de carbono, determinados nos diferentes sistemas, demonstram que houve um ganho médio de 500 kg/ha/ano de carbono no plantio direto em relação ao plantio convencional no período de 22 anos. Deve-se chamar a atenção que os ganhos em carbono se concentraram principalmente na camada superficial do solo (0-10 cm). Isso indica que qualquer prática ou operação que promova o revolvimento do solo, mesmo que superficialmente, como é o caso da grade niveladora, pode conduzir a perdas do carbono acumulado durante o tempo. (Figura 6).

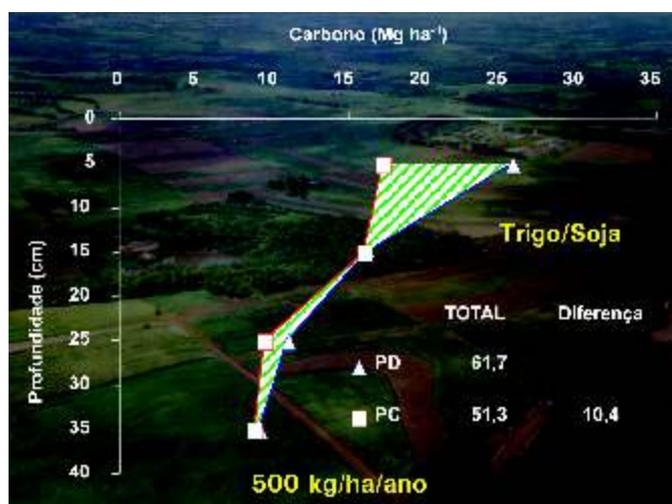


Figura 6. Estoques de carbono no solo até 40 cm de profundidade no sistema de plantio direto (PD) e sistema de plantio convencional (PC) em Londrina, 22 anos após a implantação dos sistemas. Embrapa Soja, 2008.

Esse processo pode ser mais bem entendido pelos dados apresentados na figura 7. Verifica-se que, enquanto os resíduos vegetais permanecem na superfície do solo, a emissão de CO₂ nos sistemas de plantio direto e convencional é similar. No entanto, a partir do momento em que ocorre o revolvimento do solo no plantio convencional, as emissões de CO₂ passam a ser maiores nesse sistema. O aumento da emissão de CO₂ é proporcionado pelo aumento do contato dos resíduos com os componentes bioativos do solo (macro e microrganismos) e pela liberação de CO₂ aprisionado no interior do espaço poroso do solo, em função da quebra dos agregados. As quantidades de CO₂ emitidas após o revolvimento do solo equivalem ao carbono contido em 3000 kg de palha/ha. Desta forma, torna-se importante ressaltar que o revolvimento do solo deve sempre ser evitado para que o carbono acumulado ao longo dos anos não seja rapidamente perdido. As perdas de carbono do solo com o revolvimento podem ser bastante expressivas não apenas porque o carbono armazenado no solo está concentrado na superfície, mas também por ser constituído de uma fração orgânica com menor resistência a decomposição.



Figura 7. Efeito do preparo do solo na emissão de gás carbônico (CO₂) após o preparo do solo para o plantio de verão. A perda de CO₂ observada equivale a 300 kg/ha/ano de carbono ou 3000 kg de palha/ha. Adaptado de Franchini et al. (2007).

O fracionamento da matéria orgânica do solo permite obter informações sobre a sua distribuição e origem nos diferentes compartimentos do solo. Na figura 8 são apresentados os dados referentes ao fracionamento da MOS em dois de seus compartimentos principais: a fração associada à argila, muitas vezes denominada de fração pesada, e a fração leve, que ainda pode ser livre ou oclusa no interior de agregados do solo. Os dados demonstram que a variação nos teores de carbono no solo foi influenciada pelo sistema de manejo do solo, com o sistema de plantio direto apresentando maiores teores de carbono nas camadas superficiais e teor equivalente na camada de 10-20 cm de profundidade, comparativamente ao plantio convencional. Em relação à fração associada à argila, verifica-se que o plantio direto apresentou maiores teores de carbono, independente da profundidade, embora as diferenças entre sistemas tenham sido pequenas. No caso da fração leve, também foram observados aumentos no seu teor no plantio direto em relação ao plantio convencional, porém somente até 10 cm de profundidade. Na camada de 10-20 cm de profundidade, a fração leve passou a ser maior no plantio convencional em relação ao plantio direto, o que está de acordo com a incorporação de resíduos no plantio convencional. Chama atenção também a maior contribuição da fração leve para o teor total de carbono no plantio direto em relação ao plantio convencional nas camadas superficiais, indicando que a maior parte dos ganhos em carbono, observados no plantio direto, ocorre nesta fração.

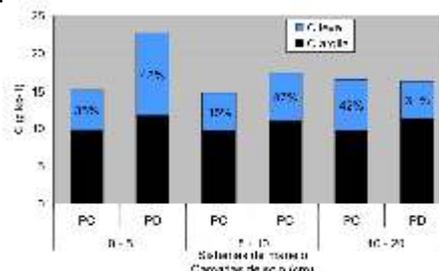


Figura 8. Frações de carbono leve e associado à argila em sistemas de manejo do solo, em Latossolo Vermelho distroférrico, após 16 anos. PC: plantio convencional; PD: plantio direto. Fração associada à argila obtida por ultrasonificação e fração leve obtida por diferenciação do carbono total no solo não fracionado. Os percentuais indicam a contribuição da fração leve para o carbono total no solo. Embrapa Soja, 2008.

A fração orgânica preservada no plantio direto tem características bastante próximas aos resíduos vegetais que lhe deram origem, tendo por isso um menor grau de humificação. Isso pode ser constatado nos dados apresentados na figura 9. Os resultados mostram que o grau de humificação foi influenciado tanto pelo manejo solo quanto pelo sistema de rotação de culturas. Os maiores graus de humificação foram observados no plantio convencional e no sistema de rotação contendo trevo/milho/aveia/soja/trigo/soja/trigo/soja. A primeira vista, o revolvimento do solo pode ser considerado benéfico no sentido de aumentar a estabilidade do material orgânico do solo, no entanto, o que está ocorrendo é a decomposição preferencial do material orgânico com menor grau de humificação, de forma que a quantidade total de matéria orgânica do solo é diminuída. O menor grau de humificação (HFIL) em plantio direto indica maior suscetibilidade à decomposição da MOS acumulada no sistema.

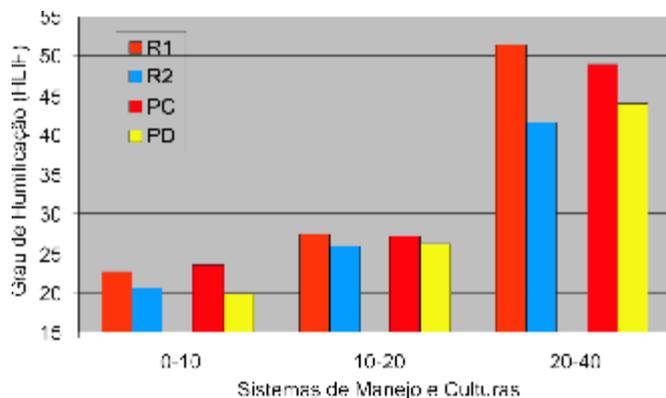


Figura 9. Grau de humificação da matéria orgânica do solo em diferentes camadas de solo em sistemas de manejo do solo e rotação de culturas, em Latossolo Vermelho distroférrico, após 16 anos. PC: plantio convencional; PD: plantio direto; R1: trevo/milho/aveia/soja/trigo/soja/trigo/soja e R2: trigo/soja. Embrapa Soja, 2008.

Agregação do solo é um importante processo para a estabilização e proteção da matéria orgânica recém incorporada ao solo, particularmente os macroagregados, conforme observado por Madari et al. (2005). O fracionamento dos agregados do solo e a determinação de seu conteúdo de carbono em experimento de longa duração em Londrina exemplificam esse efeito (Figura 10). A estabilidade de agregados em diferentes classes de tamanho foi influenciada pelos sistemas de manejo do solo, com o plantio direto apresentando maior estabilidade de agregados que o plantio convencional na classe > 8,00 mm e o inverso, ocorrendo na classe < 1,00 mm. A classe intermediária de agregados entre 8,00 e 1,00 mm não foi influenciada pelo manejo do solo. O teor de carbono diminuiu com a redução no diâmetro dos agregados em ambos os sistemas, no entanto, os teores nas diferentes classes sempre foram maiores no plantio direto. Considerando os teores de carbono e a porcentagem de agregados estáveis em água, é possível determinar a quantidade de carbono armazenada em cada classe de tamanho de agregados. Nesse caso, observa-se que o plantio direto armazenou

52% e 20% a mais de carbono nas classes > 8,00 mm e entre 8,00 e 1,00 mm, respectivamente, enquanto o plantio convencional armazenou 18% a mais de carbono na classe < 1,00 mm. Os resultados indicam que o plantio direto favorece o acúmulo de carbono em macroagregados, uma vez que os teores foram maiores nesse sistema e que a macroagregação é um importante mecanismo de proteção física do carbono, principalmente aquele derivado da fração leve da MOS que ainda apresenta menor estabilidade relativa.

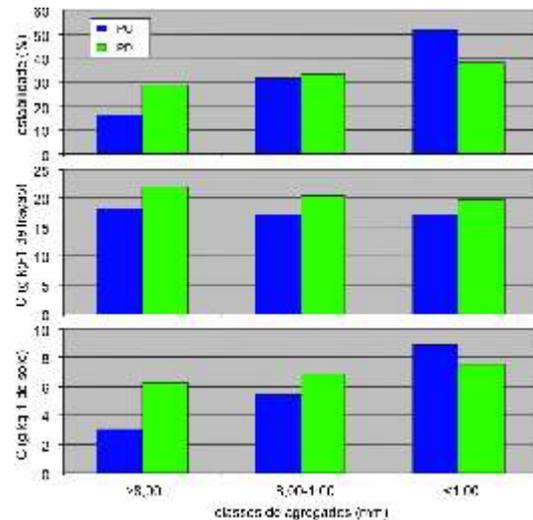


Figura 10. Estabilidade de agregados, teor de carbono e quantidade de carbono armazenada em agregados de diferentes classes de tamanho em sistemas de manejo do solo, em Latossolo Vermelho distroférrico, após 16 anos. Embrapa Soja, 2008.

Uma das principais causas dos problemas atuais observados no plantio direto está relacionada com a ausência de um sistema de rotação de culturas planejado ao longo do tempo. No Paraná, tradicionalmente se cultivou trigo em sucessão à soja durante as décadas de setenta, oitenta e noventa. Nessas épocas foram desenvolvidos vários sistemas de rotação de culturas envolvendo plantas de cobertura e adubação verde, destacando-se entre elas a aveia e o nabo forrageiro ou o consórcio entre elas. O milho de verão também representava uma boa opção de rotação, mas era pouco utilizado em função da menor rentabilidade da cultura em relação a soja. A rotação era essencial particularmente para o trigo, devido ao aumento na incidência de doenças foliares quando o mesmo era cultivado mais de dois anos na mesma área.

Desde o início da década de noventa até os dias atuais, em função da redução na intensidade/ocorrência de geadas e o surgimento de variedades precoces tanto de soja quanto de milho, houve a possibilidade de se cultivar o milho numa segunda safra de verão em sucessão à soja. O milho cultivado nessas condições tem sido denominado de milho safrinha. Atualmente, o sistema milho safrinha/soja é o mais utilizado em toda a região de produção estabelecida sobre o basalto, que engloba as regiões norte e oeste do Estado do Paraná. Se o sistema trigo/soja se caracterizava mais pelos problemas proporcionados ao trigo, o sistema milho safrinha/soja tem se caracterizado por afetar a

produtividade da soja. Esse efeito tem sido atribuído a alguns aspectos relacionados às culturas da soja e do milho. Em relação à soja, o maior fator de risco engloba o uso de variedades precoces e superprecoces as quais, também em plantio precoce (início de outubro), teriam menor capacidade de recuperação no caso da ocorrência de períodos desfavoráveis ao desenvolvimento da cultura, particularmente condições de déficit hídrico prolongado. Em relação ao milho, a redução de produtividade da soja pode ser atribuída à menor produção de palha dos novos materiais desenvolvidos especificamente para a segunda safra (mais precoces e de menor porte) e ao período relativamente longo entre a colheita do milho e plantio da próxima soja, que permitiria que a quantidade de palha de milho fosse substancialmente reduzida. Associado a menor quantidade de palha produzida pelo milho e ao grande período de tempo entre a colheita desta cultura e o plantio da soja, também pode ser destacada como uma agravante desse sistema produtivo a prática bastante comum entre os produtores de passar uma grade leve sobre a palha de milho para a quebra dos colmos, no intuito de facilitar a sementeira da soja. O uso da “gradinha”, como é conhecida essa prática entre os produtores, aceleraria o processo de decomposição da palha de milho, reduzindo a cobertura do solo, e também teria como efeito negativo a ruptura dos agregados superficiais, contribuindo para a deterioração da estrutura do solo. Dados obtidos em experimento de longa duração, instalado na Fazenda Experimental da COAMO em Campo Mourão/PR, desenvolvido pela COAMO, em parceria com a Embrapa Soja, comprovam este comportamento do sistema (Figura 11). Pode-se observar nos dados obtidos nas quatro últimas safras que em apenas uma delas (06-07) a produtividade da soja em sucessão ao milho safrinha foi maior em relação às demais opções de coberturas de inverno, no caso aveia e trigo. Os dados também demonstram que o desempenho da variedade precoce foi melhor do que a variedade normal em apenas uma safra (04-05). Ou seja, a probabilidade de se obter menores produtividades de soja usando variedades precoces e o milho como cultura sucessora é de 75%.

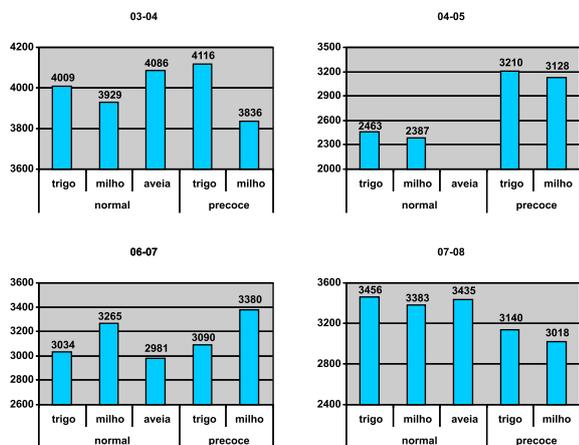


Figura 11. Produtividade da soja em sistema de rotação de culturas em plantio direto, em experimento conduzido na Fazenda Experimental da COAMO, Campo Mourão/PR. Variedade normal representa materiais de ciclo entre 130 e 135 dias; variedade precoce engloba materiais de ciclo entre 120 e 125 dias. Embrapa Soja/COAMO, 2008.

Esse é um risco muito alto que deve ser levado em consideração no planejamento do sistema de rotação de culturas. Uma alternativa de rotação de culturas que vem sendo avaliada nas últimas duas safras é o consórcio do milho safrinha com espécies forrageiras tropicais, particularmente do gênero *Brachiaria* (Figura 12). Esse sistema foi inicialmente concebido para o milho de verão com o objetivo de reformar pastagens utilizando uma cultura de grãos para viabilizar os gastos com a correção do solo (Oliveira et al., 2001). Posteriormente esse sistema teve seu uso estendido para o milho safrinha, com bons resultados em relação à produção de cobertura do solo e do desempenho da soja cultivada em sucessão (Ceccon, 2008). Esse efeito pode ser ilustrado pelos resultados obtidos pela Embrapa Soja em Londrina (Figura 12). Devido à competição entre o milho e a forrageira pode haver algum comprometimento da produtividade do milho. Nas condições da safra de inverno em 2007 observou-se uma redução de produtividade de até 7% para o milho consorciado com *B. ruziziensis* (Figura 13). Por outro lado, a soja cultivada em sucessão nos sistemas apresentou desempenho superior a 10% quando cultivada sobre as forrageiras tropicais em relação a soja sobre milho safrinha. Essas alterações de produtividade são perfeitamente aceitáveis considerando os benefícios advindos do uso de espécies forrageiras perenes para o ambiente de desenvolvimento da soja.



Figura 12. Aspectos do sistema de produção do milho solteiro (centro) e em consórcio com brachiarias das espécies *brizantha* (a esquerda) e *ruziziensis* (a direita). Embrapa Soja, 2008.

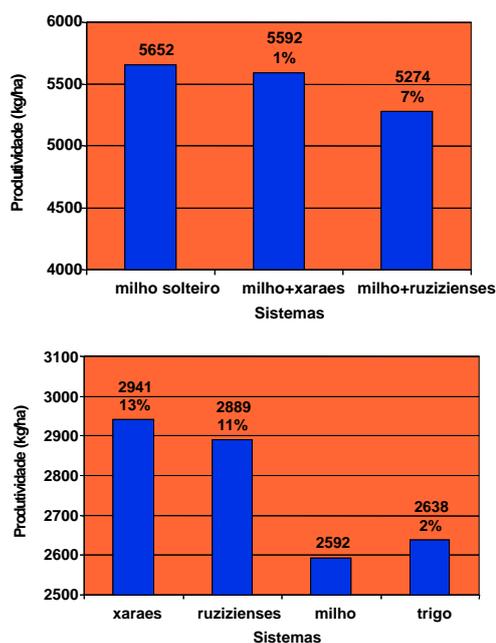


Figura 13. Produtividade do milho solteiro ou em consórcio com espécies de brachiaria (a esquerda) e da soja cultivada em sucessão (a direita). Embrapa Soja, 2008.

Parte desses efeitos benéficos do sistema de consórcio do milho com forrageiras tropicais pode ser observado em outro estudo desenvolvido em parceria pela Embrapa Soja e a Cocamar na região de Maringá (Figura 14). Nesse estudo foram cultivados durante o inverno o milho safrinha solteiro e o milho safrinha em consórcio com *Brachiaria ruziziensis*. A partir de outubro a *brachiaria* foi dessecada e a soja foi semeada no início de novembro. O desenvolvimento da cultura da soja sobre as diferentes combinações de culturas de inverno pode ser observado na figura 14. É visível a diferença de desenvolvimento da soja em função do tipo de cobertura de inverno. Para melhor entender as causas dessa diferença de desempenho da soja, em fevereiro de 2008, quando a cultura estava no estágio de pleno florescimento, foram abertas trincheiras de 90 x 100 cm de largura e profundidade, respectivamente, para avaliação do sistema radicular. A quantificação do sistema radicular da soja cultivada após o milho solteiro e o consórcio milho safrinha + *B. ruziziensis* permitiu observar que a soja apresentou maior desenvolvimento radicular na área com o consórcio (Figura 15). Em média a soja na área com o consórcio apresentou 38, 57, 14 e 100% mais raízes nas camadas de 0-25 cm, 25-50 cm, 50-75 cm e 75-100 cm, respectivamente, do que a soja na área sem o consórcio (Figura 15). Acompanhando o desenvolvimento do sistema radicular, a produtividade da soja também foi maior na área do consórcio (Figura 16). É interessante notar que a matéria seca de resíduos no momento do plantio da soja (novembro) não foi muito diferente entre os sistemas de inverno, 6040 kg/ha e 7404 kg/ha, para milho solteiro e o consórcio, respectivamente. No entanto, a conservação dos resíduos da *B. ruziziensis* se estendeu até a avaliação do sistema radicular da soja, conforme pode ser observado na fotografia tirada na época (Figura 14). A permanência por mais tempo dos resíduos atuando na cobertura do solo, associada ao maior desenvolvimento do sistema radicular da soja tiveram reflexos sobre a produtividade da soja, que passou de 3053 kg/ha no milho solteiro para 3314 kg/ha no consórcio. Esses resultados indicam que o consórcio pode ser bastante promissor no sentido de melhorar as condições físicas do solo, permitindo maior aprofundamento do sistema radicular da soja e maior conservação de água no solo, o que reduz as vulnerabilidades da cultura aos períodos de déficit hídrico prolongado, comuns durante o verão nessa região.

Efeitos benéficos do uso de forrageiras tropicais para o desempenho da soja também têm sido observados na região do Arenito no noroeste do Estado do Paraná. O Arenito, pelas características de seu solo, particularmente o baixo teor de argila, tradicionalmente tem se dedicado à produção pecuária e de plantas perenes, como café, seringueira, mandioca e citrus. Tentativas de produzir soja na região têm esbarrado na baixa capacidade de armazenamento de água no solo e na alta demanda evaporativa da atmosfera na região. Associado a isso, os invernos secos têm limitado a produção de palhada por plantas de cobertura tradicionais como a aveia e o nabo forrageiro. Nesse contexto a Embrapa Soja, em parceria com a fundação Agrisus e a Estância JAE em Santo Inácio, desenvolveram um estudo para avaliar o sistema radicular de espécies forrageiras e da soja semeada em



Figura 14. Aspecto do desenvolvimento da cultura da soja cultivada sobre milho safrinha (acima) e milho safrinha em consórcio com *Brachiaria ruziziensis* (abaixo) (Foto 02/02/2008). Notar no detalhe a diferença de palhada na superfície do solo no sistema com *Brachiaria ruziziensis*.

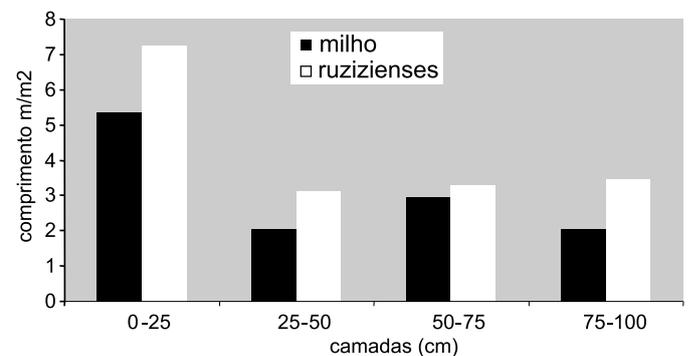


Figura 15. Comprimento radicular da soja cultivada após milho safrinha e milho safrinha em consórcio com *Brachiaria ruziziensis*, em Latossolo Vermelho distroférico, Maringá. Embrapa Soja/COCAMAR, 2008.

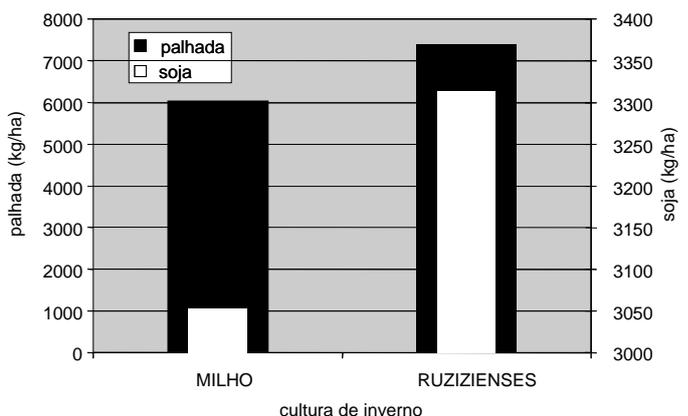


Figura 16. Produção de palhada no momento do plantio da soja (31/10/2007) e produção de grãos da soja após milho safrinha e milho safrinha em consórcio com *Brachiaria ruziziensis*, em Latossolo Vermelho distroférico, Maringá. Embrapa Soja/COCAMAR, 2008.

sucessão, a produção de massa seca das forrageiras no momento da semeadura da soja e seus reflexos na produtividade da soja em sistemas de integração lavoura-pecuária, no Arenito Caiuá (Figura 17). O sistema com

Panicum maximum + *Brachiaria ruziziensis* se destacou, tanto pela produção de massa seca da parte aérea, quanto pelo desenvolvimento radicular. O sistema radicular nesse tratamento apresentou área radicular e comprimento de raízes, 30% e 23%, respectivamente, maior do que a média dos demais tratamentos. Da mesma forma, a massa seca na semeadura da soja foi de 7365 kg/ha superando em 11% a média dos demais tratamentos. A soja, por outro lado, apresentou maior área radicular e comprimento de raízes, 30% e 39%, respectivamente, no tratamento com *B. ruziziensis*, apenas. Acompanhando o desenvolvimento radicular, a soja apresentou nesse tratamento, produtividade de 3426 kg/ha, 11% maior do que a média dos demais tratamentos. Os resultados indicam que apesar da maior produção de forragem e raízes no sistema *P. maximum* + *B. ruziziensis* a presença de apenas *B. ruziziensis* foi mais favorável ao desenvolvimento radicular (Figura 18) e produtividade da soja (Figura 17). Os resultados indicam que as interações entre forrageiras tropicais e a soja em sistemas de integração lavoura-pecuária vão além das quantidades de material vegetal produzido, indicando sinergismo entre espécies, no caso da soja e *B. ruziziensis*. Deve ser ressaltado, no entanto que o sistema com *P. maximum* + *B. ruziziensis* teve melhor desempenho na produção de leite, demonstrando que o sistema permite ajustes de acordo com o foco a ser dado a produção do sistema como um todo.



Figura 18. Desenvolvimento radicular da cultura da soja cultivada em sucessão a *B. ruziziensis* na Estância JAE, Santo Inácio. Embrapa Soja, 2008.

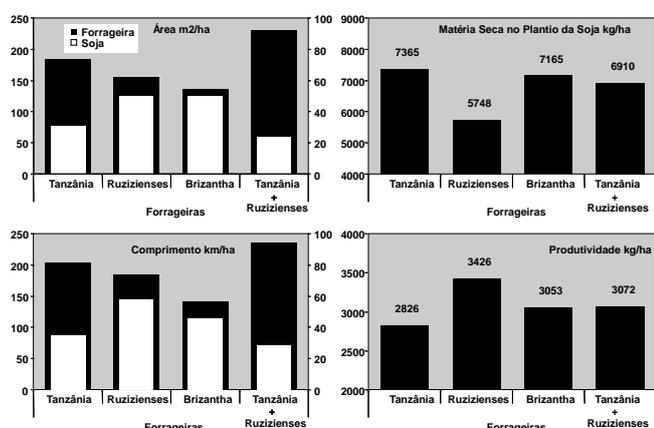


Figura 17. Parâmetros de raízes de espécies forrageiras e soja, produção de massa seca da parte aérea de forrageiras no momento da semeadura da soja e produtividade da soja em sistema de integração lavoura-pecuária na Estância JAE, Santo Inácio. Adaptado de Franchini et al. (2008).

Os benefícios do plantio direto são evidentes para a sustentabilidade da produção de soja e a busca por seu aprimoramento é essencial para redução de vulnerabilidades e necessidade de adaptações diante das mudanças climáticas na região de transição subtropical e tropical do Estado do Paraná.

Referências

BAYER C.; MARTIN-NETO L.; MIELNICZUK J.; PAVINATO A.; DIECKOW J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. *Soil & Tillage Research*, v. 86, p.237-245, 2006.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; MASSARIOL, J. M.; REIS, E. F.; DILY, L. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álico afetadas pelo manejo do solo. *Ciência Rural*, v. 30, n. 1, p. 91-95, 2000.

CECCON, G. *Milho safrinha com brachiaria em consórcio*. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 6p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado Técnico, 140).

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.27, n. 3, p. 527-535, 2003.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C.; GONÇALVES, S.L. *Manejo da compactação do solo em sistemas de produção de soja sob semeadura direta*. Londrina: Embrapa Soja, 2008. 20 p. (Embrapa Soja, Circular Técnica, 63).

FRANCHINI, J. C.; CRISPINO, C. C.; SOUZA, R. A.; TORRES, E.; HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, v.92, p.18-29, 2007.

FRANCHINI, J.C.; SICHIERI, F. R.; TORRES, E. Desenvolvimento do sistema radicular de forrageiras e da soja em sistemas de integração lavoura-pecuária no arenito paranaense. In: FERTBIO, 2008, Londrina. *Resumos...* Londrina: Embrapa Soja, 2008. 1 CD-ROOM.

MACHADO, P.L.O.A; SILVA, C.A. Soil management under no-tillage systems in the tropics with special reference to Brazil. *Nutriente Cycling in Agroecosystems*, n. 61, p. 119-130, 2001.

Patrocínio:



Circular Técnica, 58 Exemplos desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Soja
Cx. Postal 231
86001-970 - Londrina, PR
Fone: (43) 3371-6000 - Fax: 3371-6100
Home page: <http://www.cnpso.embrapa.br>
e-mail: sac@cnpso.embrapa.br

1ª edição
1ª impressão (2008): tiragem 500 exemplares

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento

Governo
Federal

Comité de Publicações **Presidente:** José Renato Bouças Farias
Secretário Executivo: Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite
Membros: Antonio Ricardo Panizzi, Claudine Dinali Santos Seixas, Francimar Corrêa Marcelino, Ivan Carlos Corso, Maria Cristina Neves de Oliveira, Norman Neumaier, Rafael Moreira Soares, Sérgio Luiz Gonçalves
Supervisão editorial: Odilon Ferreira Saraiva
Expediente **Normalização bibliográfica:** Ademir Benedito Alves de Lima
Editoração eletrônica: Danilo Estevão