

Sistema Plantio Direto: Conceitos, Adoção e Fatores Limitantes

Pedro Luiz de Freitas¹

Introdução

A utilização intensiva da mecanização, de agrotóxicos, corretivos e adubos químicos solúveis, somada ao monocultivo, conduziu a grande maioria das lavouras brasileiras a um processo intenso de degradação, tendo como consequência maior a erosão. A degradação das terras pela ação exclusiva do homem é um problema mundial, afetando de maneira irreversível extensas áreas cultivadas, contribuindo para o decréscimo de rendimento das culturas de importância econômica, tanto para consumo interno como para exportação, e para o empobrecimento do produtor rural e da sociedade como um todo, que é obrigada a pagar elevados preços pelos produtos agrícolas e seus derivados.

O processo é caracterizado, entre outras coisas, pela formação de camada compactadas, superficial e/ou subsuperficial, queima acelerada da matéria orgânica e extermínio da atividade biológica do solo, tornando as lavouras cada vez mais exigentes em insumos, avolumando-se os problemas de distúrbios nutricionais, retrato do desequilíbrio e da degradação

dos solos. Some-se a isto uma série de outras consequências ecológicas, energéticas, econômicas e sociais negativas.

A agricultura praticada nos moldes convencionais ou tradicionais, com o uso de arados de discos ou de aivecas, grades, subsoladores, etc., tem a característica sintomática e compartimentada. O diagnóstico é realizado para cada fator de produção, de forma isolada, sem procurar o domínio das interrelações existentes ou da análise das relações causa-efeito.

Há mais de quatro décadas, busca-se um sistema de manejo mais adequado às condições edafoclimáticas tropicais e subtropicais, incorporando o conhecimento adquirido pela pesquisa agropecuária brasileira e espelhando-se na experiência bem sucedida de agricultores e técnicos. O Sistema Plantio Direto – SPD - foi construído a partir da adaptação de práticas e de técnicas como um sistema agroecológico de manejo do solo.

¹ Pesquisador da Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico, nº 1024. CEP: 22460-000 Rio de Janeiro - RJ. E-mail: freitas@cnpes.embrapa.br

Por incorporar princípios agroecológicos aos sistemas integrados de produção agrícola de maneira holística, o SPD proporciona as condições ideais para o crescimento das culturas ao mesmo tempo em que promove a qualidade ambiental. Por ter seus princípios centrados na natureza, o SPD não admite receitas ou pacotes tecnológicos. As práticas e processos utilizados são adaptados à realidade socioeconômica observada, levando em consideração os aspectos culturais do agricultor.

Mesmo em sistemas agrícolas altamente dependentes de insumos, o SPD permite a otimização da eficiência de fertilizantes e pesticidas e a utilização plena de processos apreendidos nas diversas escolas da agricultura agroecológica, na busca de um sistema de manejo verdadeiramente orgânico. No entanto, ao contrário da agricultura orgânica, que se baseia em nichos específicos e limitados de mercado, o SPD busca a sustentabilidade da agricultura, proporcionando a produção de alimentos com menores custos e com qualidade ambiental, baseado na regeneração da dinâmica da matéria orgânica e da atividade biológica, mitigando a erosão biológica dos solos tropicais e subtropicais.

O SPD agrega opções que têm sido objeto de intensos estudos e várias experiências práticas, incorporando princípios holísticos e agroecológicos à requisitos mínimos de não revolver o solo, da rotação de culturas e da manutenção da cobertura (viva ou morta) do solo, na busca de um equilíbrio ecológico. Entre essas opções, temos a utilização de maneira integrada da adubação verde, de adubação orgânica, do manejo integrado de pragas e doenças, do manejo racional de plantas invasoras, do manejo dirigido do pousio, do papel de espécies arbóreas como sistemas agroflorestais e de quebra-ventos, do uso de fontes naturais de nutrientes (fosfato natural, pó de rochas, etc.), do papel da atividade biológica no manejo do solo. Por ser um sistema de manejo que imita a natureza, o SPD dispensa a utilização de condicionadores de solo, por preservar a atividade microbiológica do solo.

O objetivo deste trabalho é de apresentar os princípios, práticas e técnicas que caracterizam o Sistema Plantio Direto, verificando as razões que levam o produtor rural a adotá-lo, os principais passos para a adoção e os fatores limitantes que tem sido encontrados no SPD.

Efeitos da agricultura convencional

O aumento em produtividade (produção por unidade de área) das principais culturas anuais tem sido acompanhado da degradação acelerada dos recursos naturais – RNs (solo, água, ar e biodiversidade). As principais causas dessa degradação são o uso de sistemas de manejo importados, não adaptados à nossa realidade edafológica mas muito frequentes nos livros textos utilizados em nossas universida-

des, e a falta de planejamento de uso das terras, que implica no desmatamento em áreas de recarga dos aquíferos, áreas impróprias ou de aptidão agrícola restrita, e áreas de nascentes e matas ciliares, contrariando a legislação vigente.

Conseqüência da degradação dos RNs, temos um inexorável ciclo de pobreza no meio rural (Saturnino, 1998), que evolui proporcionalmente à dependência de nossa agricultura tecnicada, baseada nos paradigmas agrônomicos importados dos países de clima temperado do hemisfério norte. Essa degradação acelerada não implica somente em prejuízos para o agricultor ou para as populações rurais, mas principalmente para o Estado e a Sociedade como um todo.

Os sistemas convencionais de manejo do solo, com o preparo intensivo com o uso de arados, grades e subsoladores, além de exigir o uso cada vez mais intenso de fertilizantes, corretivos e agrotóxicos, são os responsáveis pela degradação acelerada do solo. Com o conhecimento hoje existente, podemos afirmar que as razões que transformaram o preparo do solo como uma verdade agrônômica, anunciada extensivamente na formação de profissionais da área agrônômica (técnicos de nível médio ou de nível superior - engenheiros agrônomos, agrícolas, etc.), já não existem.

A solução encontrada como a mais adequada é a adaptação e a adoção de princípios conservacionistas de uso e de manejo dos RNs, esquecendo os velhos paradigmas agrônomicos adaptados das regiões temperadas, baseados no uso de ferramentas como arados e grades. Para isto, basta a observação de exemplos bem sucedidos em todo o país, que permitiram a adoção do Sistema Plantio Direto em mais

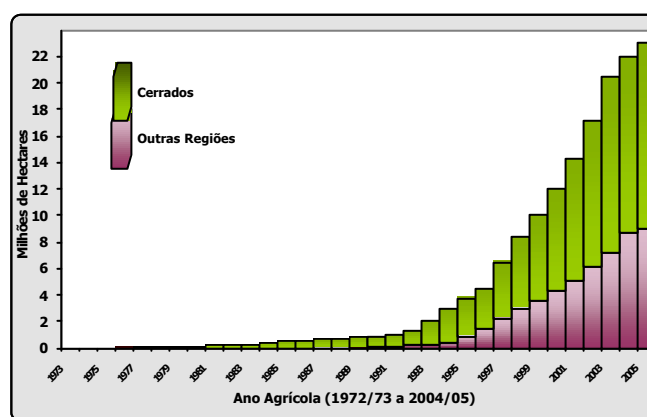


Fig. 1. Evolução da adoção do SPD no Brasil.
Fonte: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, 2005.

de 23 milhões de ha em todo o Brasil e de 9 milhões de ha somente na Região dos Cerrados (Figura 1).

Como um sistema conservacionista adaptado ao clima tropical e subtropical, o plantio direto está sendo utilizado em todas as culturas perenes, na cana-de-açúcar, na recupera-

ção de pastagens por meio da integração lavoura-pecuária, no reflorestamento, na fruticultura e na horticultura. A adoção do SPD, exemplo para países tropicais de todo o mundo, é reflexo de uma mudança de comportamento de produtores e técnicos na busca da sustentabilidade da agricultura, de um maior profissionalismo pela incorporação de novas tecnologias e melhorias gerenciais dos fatores e processos de produção (Embrapa Sede, 2001).

Sistema Plantio Direto

Conceitos e Definição

O Sistema Plantio Direto é definido como o sistema de manejo no qual a implantação da cultura é feita sobre restos de culturas anteriores com a rotação de culturas e com a movimentação do solo restrita à linha de semeadura. Compreende um conjunto de técnicas integradas visando a redução de custos, a promoção da sustentabilidade ambiental, permitindo interações biológicas e processos naturais benéficos no solo, melhorando as condições ambientais (água-solo-clima) para explorar da melhor forma possível o potencial genético de produção das culturas em condições tropicais com o menor impacto ambiental possível.

O SPD não deve ser visto como uma receita universal, mas como um sistema que exige adaptações desde que respeitados três requisitos mínimos: i) o não revolvimento do solo; ii) a rotação de culturas (diversidade de biomassa vegetal e diversificação da biota do solo) e a integração entre as atividades agrícola e pecuária – integração lavoura-pecuária; e iii) o uso de culturas de cobertura para formação de palhada (proteção do solo contra sol, chuva e ventos e conservação de água e nutrientes), associada ao manejo integrado de pragas, doenças e plantas daninhas.

A adoção do SPD permite a incorporação de processos como:

- a aração biológica do solo com diferentes espécies,
- agricultura orgânica e sistemas agroflorestais (SAFs) dentro dos conceitos agrobiológicos adaptados às condições edafambientais dos trópicos,
- o manejo integrado (físico, biológico e químico) de pragas, doenças e plantas daninhas, incorporando mecanismos de controle biológico.

A viabilização do Plantio Direto como o sistema de manejo apropriados para as condições tropicais e subtropicais dominantes no Brasil foi possível pela incorporação de importantes avanços no conhecimento técnico-científico e pela mudança de paradigmas agrônômicos que têm a qualidade e saúde do solo como objetivo principal. Isto inclui o reconhecimento de que processos físicos, químicos e biológicos no solo passam a ser controlados pelas plantas e, o movimento de elementos básicos

como o Ca, Mg, P e K passam a ser consequência da decomposição dos restos culturais, função da escolha das culturas a serem utilizadas na rotação. O recurso solo passa a ser um filtro natural para a água, tamponando poluentes (nitratos, inseticidas ou herbicidas) e conduzindo água limpa para os mananciais. O solo, antes substrato, passa a ser um ambiente propício onde plantas buscam sustentação para o seu desenvolvimento, onde organismos vivem e em equilíbrio e onde ocorre a acumulação de carbono orgânico (Freitas & Trecenti, 2002).

Razões para adotar o SPD

A rápida adoção do SPD em todo o país foi motivada pelos vários benefícios para o produtor rural, seja empresários produzindo em grande áreas ou agricultores familiares em pequenas unidades produtivas. As principais razões que leva produtores rurais a adotar o SPD são:

- reduzir a erosão do solo;
- diminuir os custos de produção;
- menor dependência do clima, permitindo cumprir o cronograma de plantio, diminuindo riscos no plantio e nos veranicos e viabilizando o plantio de segunda safra ou da safrinha;
- melhorar a qualidade da mão-de-obra, proporcionando operações mais limpas, menos trabalho nos picos de demanda, melhor utilização e maior qualificação de operadores de máquinas e operários;
- menor investimento em máquinas e equipamentos devido à menor exigência de potência por área, menos manutenção e reposição de peças, maior durabilidade e eficiência e menor consumo de combustível;
- melhor qualidade e saúde do solo, com mais atividade biológica e matéria orgânica no solo, melhor estrutura, maior fertilidade etc. ;
- maior competitividade e eficiência produtiva;
- mais tempo para gerenciar e ampliar negócios, assim como para a família e o lazer;
- sustentabilidade da produção; e
- possibilidade de convivência com a natureza, tendo o solo na parceria pela produção.

Passos para a adoção do SPD

Uma série de passos é definida a fim de evitar erros na adoção do SPD, que levam a problemas sérios e irreversíveis, como a compactação do solo e uma elevada pressão de pragas, doenças ou plantas invasoras. Os passos são assim enumerados:

1. Tomar a decisão se vai realmente adotar o sistema.
2. Estar preparado para assumir uma nova postura tecnológica - estar sempre aprendendo coisas novas e ficar atualizado sobre tecnologias, equipamento e produtos.
3. Conhecer bem as recomendações locais – trocar experiências de outros agricultores, vizinhos e membros dos Clubes Amigos da Terra (CATs) e afins.
4. Consultar os técnicos da região (assistência técnica, representantes técnicos de vendas, pesquisadores, etc.).
5. Planejar as ações a serem tomadas:
 - a) Conhecer bem a área e recursos disponíveis - solo, água, clima, relevo, máquinas, mão-de-obra, gerenciamento, recursos p/ investimento, capital e custeio;
 - b) Conhecer a variabilidade da área preparando para a sua divisão em talhões;
 - c) Conhecer a necessidade de adequação do solo e de correções químicas e físicas incluindo calagem, adubação, matéria orgânica, atividade biológica, compactação do solo, infiltração de água, crescimento de raízes, performance das culturas – rendimento, pragas e doenças, ...);
 - d) Estabelecer um programa de rotação de culturas em longo prazo;
 - e) Estabelecer uma estratégia para conseguir a maior quantidade de palha possível;
 - f) Programar o uso de adubos e corretivos;
 - g) Fazer monitoramento de plantas daninhas;
 - h) Implantar um sistema de avaliação e controle de pragas e doenças.
6. Começar em até 20% da área, segundo o planejamento.
7. Comprar ou adaptar semeadoras-adubadoras e pulverizadores para o Plantio Direto (adaptados às condições locais).
8. Fazer a adequação do solo, as correções necessárias, o controle de pragas, doenças e plantas invasoras.
9. Iniciar o plantio e o manejo com o Plantio Direto.

Fatores limitantes do SPD

O aumento na utilização de herbicidas e a compactação do solo são as principais limitações indicadas por técnicos, professores e pesquisadores.

A utilização de herbicidas no SPD

O emprego de herbicidas no SPD, quando visto como um todo, representa redução do risco ambiental de contaminação quando comparado com o sistema convencional. De um lado, existe a substituição de herbicidas com alto potencial de contaminação por dessecantes e pós-emergentes modernos, cuja toxicidade relativa, o risco de poluição de aquíferos e o efeito residual é inferior ou ausente. Por outro lado, o uso de herbicidas substitui o preparo intensivo do solo, mitigando os impactos ambientais já relatados. O SPD inclui o manejo integrado das plantas invasoras, incorporando a supressão física e alelopática e o controle biológico ao controle químico, além de incluir a aplicação racional de defensivos agrícolas (Landers et al. 2002).

A compactação do solo no SPD

O processo de compactação dos solos tropicais é diretamente associado ao manejo físico, químico e biológico. Os sistemas conservacionistas, como o Plantio Direto, promovem a melhoria da dinâmica da matéria orgânica, considerada essencial para os solos tropicais. Alguns técnicos chegam a dizer que: *“manejar solos tropicais é manejar a matéria orgânica”*, isto por que a matéria orgânica é a principal responsável pela fertilidade do solo, aumentando a capacidade do solo de reter os nutrientes, e pela retenção de água, que facilita o crescimento das raízes e das plantas. O papel desempenhado pela matéria orgânica para os solos tropicais tem sido evidenciada em vários trabalhos (Feller, 1995; Moreau, 1983; Pieri, 1989). A matéria orgânica é responsável também pela vida no solo, que é importante para a sua fertilidade física. Enfim, um sistema só pode ser considerado conservacionista se conseguir aumentar o teor e a qualidade de matéria orgânica no solo. Um dos sistemas conservacionistas mais efetivos no momento é o Sistema Plantio Direto, que permite, antes de mais nada, aumentar o estoque de matéria orgânica no solo e de melhorar a sua qualidade (Bayer et al. 2000; Machado & Freitas, 2004).

Os trabalhos desenvolvidos nos latossolos da região dos Cerrados comparando diferentes sistemas de manejo do solo, mostraram suas vantagens como sistema alternativo agroecológico e conservacionista. Essas vantagens incluem a recuperação e manutenção de uma melhor condição estrutural do solo, favorecendo o crescimento radicular, proporcionando uma exploração agrícola sustentável com menor risco econômico (Blancaneaux & Freitas, 1995).

A adoção parcial do SPD, sem atender os requisitos mínimos, tem provocado inúmeras ocorrências de degradação estrutu-

ral nas camadas superficiais do solo, muitas vezes diagnosticado como um estado de adensamento e/ou compactação. Isto tem feito com que o agricultor movimente o solo com arados, grades ou escarificadores, destruindo a estrutura do solo e desfazendo o trabalho biológico e físico construídos após vários anos, provocando a rápida mineralização da matéria orgânica. Esse processo de degradação do solo, muitas vezes é diagnosticado como um estado de adensamento e/ou compactação (solo ou camada adensada/compactada). Essa compactação e/ou adensamento subsuperficial do solo, em particular nos latossolos argilosos/muito argilosos, é ainda tida como razão para a não adoção ou a desistência de agricultores em relação ao SPD. Mesmo nos casos de degradação estrutural do solo como conseqüência da adoção parcial ou má condução do Sistema Plantio Direto, ou naqueles onde existe uma possível evolução de uma camada compactada formada anteriormente à implantação do SPD (pé de grade/arado), existem diferentes níveis de compactação que devem ser considerados.

O processo de compactação pode ser resumido como uma alteração estrutural no solo, a qual resulta quase sempre no aumento da densidade do solo. O estado de compactação, por sua vez, é caracterizado pelo impedimento mecânico ao crescimento de raízes e à redução da infiltração e movimento de água no solo (Hamblin, 1985). A compactação do solo interfere em outras funções dificultando o armazenamento e disponibilidade de água, a difusão de calor, a permeabilidade ao ar e à água, a reação do solo (pH e poder tampão), e por fim, a disponibilidade de nutrientes.

De acordo com Freitas et al. (1997), alterações no espaço poral do solo significam, na maioria das vezes, em alterações estruturais que resultam no aumento da densidade, que pode acontecer pelo aumento da massa e/ou pela diminuição do volume do solo, da seguinte forma:

O aumento da massa de solo é conseqüência de processos pedogenéticos, próprios da formação de solos onde a lixiviação de argila está presente, ou por processos naturais, como a consolidação ou subsistência do solo, quando bastante pulverizado e desorganizado (não estruturados). Segundo Camargo e Alleoni (1997), *“quanto maior a pulverização do solo, maior será o potencial de compactação posterior”*.

Ocorrências de acomodação ou consolidação do solo em novos estados estruturais, mais densos que aqueles encontrados originalmente, são descritas em solos excessivamente pulverizados. Poder-se-ia chamar de um adensamento antrópico (sem a ação de máquinas e implementos). Esse processo pode fazer com que o solo construa um impedimento mecânico, como no caso dos solos com horizontes coesos/adensados de tabuleiros (Manzatto, 1998). Para alguns autores, no entanto, o processo de adensamento pode se restringir o movimento de água, a aeração e o

desenvolvimento radicular do solo (Dematê, 1981 e Oliveira, 1991, citados por Manzatto, 1998), que define a compactação do solo.

Destaca-se o processo de translocação vertical de argilas e colóides do solo no perfil (argilo-eluviação) e posterior absorção pela massa do solo preenchendo espaços porosos, ou pela ação físico-química quando valores de pH e de PCZ forem próximos. Esse processo pode ser considerado como sendo advindo da ação de fatores genéticos derivados da evolução do solo a partir do arraste de materiais muito finos, como partículas de argila, da superfície do solo e conseqüente preenchimento dos poros em camadas subsuperficiais pouco espessas e, portanto, dificilmente detectáveis (Moniz, 1972, citado por Camargo, 1983).

As partículas de argila, dispersas pela ação de implementos e pela formação de condições físico-químicas favoráveis como, por exemplo, pela aplicação de calcáreo (Jucksch, 1986), podem ser eluviadas às camadas inferiores, causando um impedimento mecânico, o qual, neste caso, pode não ser detectável através de aumentos na densidade do solo ou na resistência à penetração (Freitas, 1992). Igualmente, a adubação superficial com formas amoniacais e potássicas podem causar a deterioração da estrutura e aumento da compactação em horizontes superficiais – associados à aração e queima de restos culturais (Gomes Júnior et al. 1996 e Silva et al. 1996, citados por Manzatto, 1998).

Processos pedogenéticos de translocação de argila (argilo-eluviação ou podzolização) ou naturais de consolidação ou subsidência do solo podem concorrer para o aumento de massa do solo. Tais processos mantêm o arranjo estrutural (esqueleto) do solo, em especial as características do espaço poral e a continuidade de poros, podendo acontecer em todo o volume de um horizonte subsuperficial ou em lençóis de poucos milímetros de espessura (Freitas, 2002). Assim, o aumento da densidade pelo incremento da massa do solo pela maior concentração de partículas finas, como argilas, quando não afeta o crescimento de raízes e a infiltração de água, representa um processo de adensamento do solo. Por não afetar o crescimento de raízes ou o movimento de água, o processo de adensamento não requer maiores cuidados, a não ser a manutenção da rotação de culturas e a cobertura permanente do solo com culturas de cobertura – vivas ou palhada - que melhorem a dinâmica da matéria orgânica e a atividade biológica do solo.

A diminuição do volume, por outro lado, é fruto da pressão exercida durante o trabalho de máquinas e implementos, do pisoteio de animais, ou da ação do trabalho de discos - arados e grades - na mesma profundidade, formando pés de grade/arado (Castro et al. 1987). Esse processo pode acontecer de diferentes formas:

a) Como um encrostamento superficial - camada impermeável causada pelo impacto da chuva sobre o solo excessivamente pulverizado e descoberto. O processo pode ser evitado pela manutenção da cobertura vegetal, que protege o solo contra o impacto das gotas de chuva, dissipando sua energia cinética, reduzindo a desagregação, além de reduzir a velocidade de escoamento da chuva (Castro et al. 1987); e,

b) Como uma compactação subsuperficial - resultado de forças externas (máquinas / implementos, animais, etc.) e internas (ciclos de umedecimento/secagem), com destaque ao processo de translocação vertical de argilas e colóides do solo no perfil (argilo-eluviação). A interação de processos físicos com processos físico-químicos, químicos e biológicos resulta na redução do volume de poros, em especial de macroporos, impedindo o movimento de água e o crescimento de raízes, definindo assim o processo de compactação do solo.

O efeito de máquinas e implementos depende de alguns fatores, tais como umidade do solo, implemento ou regulagem inadequados para a operação pretendida e cultivos excessivos, que são responsáveis pela maior ou menor susceptibilidade à compactação (Camargo & Alleoni, 1997).

O preparo do solo com discos causa intensa modificação nas propriedades físicas e químicas do solo, acelerando o processo de compactação, a perda da capacidade de infiltração e de retenção de água do solo e expondo o solo à erosão (Landers et al. 2006). Um dos efeitos mais importantes é a diminuição dos teores de matéria orgânica, acompanhado de efeitos sobre sua qualidade, alterando as propriedades físicas, dificultando a sobrevivência e os processos metabólicos da microbiota do solo, em sua maioria aeróbica, e necessitando um volume mínimo de aeração de 10% (Colozzi Filho, 1997).

O aumento de densidade pela diminuição do volume do solo afeta o espaço poral, diminuindo o volume de macroporos e aumentando o volume de microporos e, conseqüentemente, impedindo o crescimento de raízes e a infiltração de água no solo, em um processo de compactação do solo (Freitas et al. 1997). Esse processo requer medidas de alívio que podem variar do simples uso de facção na semeadora, em um sistema de rotação de culturas e cobertura permanente do solo, até o preparo intensivo do solo com o uso de arados e subsoladores.

Avaliação da compactação do solo (baseado em Freitas et al. 1997 e em Freitas, 2002)

Mesmo quando não chega a prejudicar o crescimento das raízes ou o movimento vertical de água no solo, freqüentemente, pela ausência de critérios de avaliação, os métodos de avaliação disponíveis atualmente levam o agricultor a utilizar práticas mecânicas destrutivas. Por outro

lado, sob um manejo considerado correto, o SPD pode causar uma evolução no sentido de aproximar alguns aspectos favoráveis das condições estruturais observadas sob vegetação natural (mata/floresta).

Diagnósticos estruturais realizados em áreas onde o SPD está em fase de implantação (até 4 a 5 anos) indicam um aumento sensível da densidade, considerado natural pela característica de não revolvimento do solo (Freitas et al. 1998). No entanto, a falta de critérios de avaliação e estudos mais criteriosos faz com que esses diagnósticos apontem a ocorrência de degradação estrutural do solo (compactação). Isto faz com que o agricultor seja obrigado a movimentar o solo com arados, grades ou escarificadores, destruindo a estrutura do solo e desfazendo o trabalho biológico e físico construídos após vários anos, provocando a rápida mineralização da matéria orgânica. Assim, avaliar as alterações estruturais no solo em decorrência dos sistemas de manejo é importante por evitar diagnóstico de compactação, quando na verdade existe outro problema.

A avaliação de alterações estruturais requer a combinação de três métodos:

1. Análise morfoestrutural do solo (método morfológico)

A análise morfológica requer o conhecimento do comportamento do solo sob condições de referência, seja sob vegetação natural, pastagens de longa duração ou em lavouras de alta performance. Os latossolos - solos que predominam no Brasil e, devido às suas características químicas e físicas, são os mais utilizados para as atividades agrícola e pecuária, sob vegetação natural, apresentam ótima estrutura (porosos, alta capacidade de infiltração, baixa dificuldade para o crescimento de raízes, etc.). No entanto, trata-se de uma estrutura extremamente frágil a qual, quando submetido ao manejo com arados e grades, se desfaz rapidamente devido à destruição dos microagregados, formando estruturas maciças e coesas, que se desfazem em blocos angulares.

O reconhecimento das mudanças morfológicas nesses solos acontece pela análise morfológica do solo com a ajuda de trincheiras, que podem ser largas e fundas, para uma análise mais detalhada, ou pequenas e rasas (até 60 cm) quando forem usadas para a avaliação. Nessas trincheiras devem ser observados atributos como a cor, estrutura (macro e micro), coesão, umidade, presença de matéria orgânica (húmus e resíduos) e de atividade biológica (pequenos animais e microorganismos), cheiro, aparência, resistência ao toque e à faca etc. Esses atributos permitem separar o solo em horizontes, começando pelo mais profundo e homogêneo, até os horizontes mais rasos, aqueles em equilíbrio com a cobertura (serrapilheira, gramínea, palhada, etc) e mais susceptíveis ao manejo. Importante também é verificar a transição entre horizontes, se abrupta ou não, plana ou com variações horizontais.

Uma vez analisado o solo sob condições de referência, é fácil identificar o efeito dos sistemas de manejo nas áreas de lavoura ou de pastagem, e identificar camadas compactadas, onde a estrutura é maciça e os agregados tem arestas ou ângulos retos (blocos angulares). A estrutura, quando compactada, fatura com uma pressão média a alta, sem fragmentar. Como um giz. Depois de fissurada, as partes podem ser alinhadas novamente, sem deixar marcas.

A análise morfoestrutural foi proposta por Blancaneaux e Freitas, em 1996, e permite identificar as camadas compactadas do solo, principalmente a sua profundidade, que será importante quando for feita a correção mecânica.

2. Crescimento de raízes

A resposta das raízes à compactação é bem evidente quando examinada por ocasião do florescimento das culturas principais, como a soja, o feijão, o algodão e as gramíneas (milho e arroz). Em condições de pastagem bem manejada, as raízes estão sempre presentes em todo o perfil, mesmo a profundidades como 1,5 metros, e se renovam constantemente. Essas raízes enriquecem o solo com matéria orgânica e, quando decompostas, gera bioporos, usados pelas raízes de culturas subseqüentes em rotação, como na integração lavoura-pecuária.

3. Infiltração de água no solo

A capacidade de infiltração tem dois aspectos importantes a serem considerados: a velocidade de infiltração da água no solo (mm/minuto), principalmente a inicial e, a frente de molhamento.

O teste de infiltração pode ser feito com o método do cilindro único, com o uso de um pedaço de tubo de água com 10 cm de diâmetro ou mais. O tubo deve ter 15 cm de altura, com um bisel na parte inferior. Para melhor efeito, o teste deve ser feito com o solo seco (depois de alguns dias sem chuva ou no período seco). Escolhido o local do teste, deve ser feita uma limpeza da palhada, tirando fragmentos mais grossos. O tubo deve ser enterrado entre 2 e 3 cm com a ajuda de uma faca, cortando a palhada pelo lado externo do tubo, com o mínimo revolvimento da parte interna (um pouco de água na parede do cilindro para ajudar). Uma vez enterrado, a parte externa do cilindro deve ser vedada com terra fina, molhada e compactada.

O teste começa com a colocação de uma lâmina de água entre 50 e 60 mm no interior do tubo (500 ml de água, equivalente a uma lâmina de 63 mm, para tubo com 10 cm de diâmetro). Para que a água não deturpe a superfície do solo, colocar a água com um plástico no interior do cilindro. O tempo deve ser marcado a partir da cuidadosa retirada do plástico e deve ser anotado quando toda a água infiltrar (1ª medida). O procedimento deve ser repetido com a mesma quantidade de água (2ª. Medida). Terminado o teste, temos capacidade média de infiltração de água no solo para a

lâmina aplicada (1ª medida), calculada para $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$. Considerando uma chuva de $120 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ ou $2 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$, como comum, podemos comparar a velocidade de infiltração: se igual ou maior que $2 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ e, temos uma boa situação. Moderada, até o limite de $0,2 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ e problemática se abaixo desse valor. A 2ª medida simula uma situação de chuva em solo úmido. O tempo deve ser maior que na 1ª medida, com uma velocidade de infiltração menor.

Terminado o teste, vem a parte mais importante, que é o exame da frente de molhamento. Passados de 15 a 30 minutos do fim do teste, retirar o cilindro e abrir uma minitrincheira a partir do diâmetro do tubo para exame da mancha formada pela água infiltrada no solo. A forma, profundidade e diâmetro da mancha devem ser observados (cavar com uma pá de corte e completar com uma faca até que toda a mancha esteja aparente).

A lâmina total infiltrada será obtida pela correção segundo a forma da frente de molhamento, considerando o raio do cilindro (R_c) e o raio médio da mancha (R_m). O fator de correção será dado pelo quociente do quadrado de R_m e do quadrado de R_h ($C = R_m^2 / R_h^2$).

Para um R_m de 9,5 cm utilizando um tubo de 10 cm de diâmetro ($R_c = 5 \text{ cm}$), temos uma correção igual à R_m^2 / R_c^2 , ou $9,5^2 / 5^2$. Correção será de 3,61. Nesse caso, para uma lâmina aplicada de 126 mm, a correção nos dará uma lâmina real de $126/3,61$ ou 34,9 mm.

Para uma mancha com 15,5 cm de raio, a correção será de $15,5^2 / 5^2$ ou 9,65. A lâmina real, nesse caso, será de 13,65 mm, devido a uma limitação à infiltração que alterou a forma da frente de molhamento.

Conclusões e recomendações

A produtividade e sustentabilidade ambiental nas regiões tropical e subtropical é uma questão de escolha para todos os atores do agronegócio e para a sociedade em geral. De um lado, temos a continuidade de uso de sistemas de uso e manejo não adequados as nossas condições tropicais e subtropicais, com impactos negativos na eficiência do uso de insumos, tendo como consequência uma dependência cada vez maior de fertilizantes e pesticidas (fitossanitários), em sua maioria importados. Para a sociedade, o reflexo imediato dessa escolha é a degradação acelerada dos recursos naturais – solo, água, ar e biodiversidade.

De outro lado, temos a adaptação e adoção de sistemas conservacionistas baseados nos princípios básicos do Plantio Direto, rompendo o ciclo de pobreza derivado da degradação dos recursos naturais, permitindo o ressarcimento ao produtor rural dos serviços ambientais proporcionados para a sociedade. Essa opção permite o uso racional de fertilizan-

tes e de pesticidas, obtendo as melhores produtividades por unidade de insumo e, ao mesmo tempo, mostra a importância dos usos de fertilizantes (agroquímicos e outras fontes) na formação de biomassa e no funcionamento do sistema natural proporcionado pelo uso do plantio direto na agricultura brasileira, buscando sua sustentabilidade ambiental.

Dedicatória

Este trabalho é dedicado ao Engenheiro Agrônomo (ESALQ, 1975) e Doutor em Ciência do Solo, Celso de Castro Filho, pesquisador do IAPAR, que dedicou sua carreira pela agricultura conservacionista no Brasil.

Referências Bibliográficas

- BAYER, C.; MIELNICZUCK, J.; AMADO, T. J. C.; MARTINETO, L.; FERNANDES, S. B. V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 54, p. 101-109, 2000.
- BLANCANEUX, P.; FREITAS, P. L. de. Utilisation de l'analyse morpho-structurale dans les recherches agrépédologiques développées dans les Cerrados du Brésil Central: le semis direct sur la paille comme système cultural alternatif viable. In: STRUCTURE ET FERTILITÉ DES SOLS TROPICAUX, 2., 1995, Montpellier. **Compte rendu...** Montpellier: ORSTOM, 1995. p 49-56.
- CAMARGO, O. A. de. **Compactação do solo e desenvolvimento de plantas**. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 44 p.
- CAMARGO, O. A. de; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba, 1997. 132 p.
- CASTRO, O. M. de; VIEIRA, S. R.; DE MARIA, I. C. Sistemas de preparo do solo e disponibilidade de água. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, 1987, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 21-51.
- COLOZZI FILHO, A. Solos sob plantio direto: atividade microbiana e sustentabilidade do agrossistema. CONGRESSO NACIONAL DA ASOCIACIÓN ARGENTINA DE PRODUCTORES EN SIEMBRA DIRECTA, 5., 1997, Mar del Plata. **Anais...** Buenos Aires: AAPRESID. p. 21-40.
- EMBRAPA SEDE. **Plataforma plantio direto**. Disponível em: <<http://www22.sede.embrapa.br/plantiodireto/>>. Acesso em: 01 abr. 2001.
- FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. **Federação Brasileira de Plantio Direto**. Disponível em: <http://www.febrapdp.org.br/pd_area_br.htm>. Acesso em: 01 out. 2005.
- FELLER, C. La matiere organique du sol et la recherche d'indicateurs de la durabilité des systèmes de culture dans les régions tropicales semi-arides et subhumides d'Afrique de l'Ouest. In: Ganry, F; et Campbell, B. (Ed.). **Sustainable land management in African semi-arid and subhumid regions**. Montpellier: CIRAD. p. 123-130.
- FREITAS, P. L. de. Compactação do solo é problema em SPD? In: ENCONTRO DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 6.; ENCONTRO DE PLANTIO DIRETO DO OESTE BAIANO, 2., 2002, Luís Eduardo Magalhães. **Anais...** Luís Eduardo Magalhães: CPD Oeste Baiano: APDC, 2002. p. 55-76.
- FREITAS, P. L. de. Manejo físico do solo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, 1, 1990, Goiânia. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 117-39.
- FREITAS, P. L. de; BLANCANEUX, P.; MOREAU, M. Caractérisation structurale de sols des cerrados brésiliens (savanes) sous différents modes d'utilisation agricole. **Etude et Gestion des Sols**, Paris, v. 5, n. 2, p. 93-105. 1998.
- FREITAS, P. L. de; BLANCANEUX, P.; SILVA, F. C. da; MOREAU, R. Análise morfoestrutural como indicador do estágio de degradação nos latossolos dos cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Viçosa, MG: SBSC; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. Seção Palestras. 1 CD ROM.
- FREITAS, P. L.; TRECENTI, R. Sistema plantio direto: modificando o ensino de solos **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 1, p. 15-16, jan, 2002.
- HAMBLIN, A. P. The influence of soil structure on water movement, crop root growth and water uptake. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 38, p. 95-158. 1985.
- JUCKSCH, I. **Calagem e dispersão de argila em amostras de um latossolo vermelho-escuro**. 1986. 37 f. Tese (Mestrado) – Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- LANDERS, J. N.; BODDEY, R.; FREITAS, P. L. de. 2006. Potential for mitigation of deforestation and negative off-farm impacts with conservation agriculture employing zero tillage farming in the Brazilian cerrado. In: MISTRY, J.; BERARDI, A. (Ed.). **Savannas and dry forests: linking people with nature**. Oxon: Ashgate, 2006. p. 241-264.

LANDERS, J. N.; FREITAS, P. L. de; GUIMARÃES, V.; TRECENTI, R. The social dimensions of sustainable farming with zero tillage. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LAND DEGRADATION AND MEETING OF THE IUSS SUBCOMMISSION C - SOIL AND WATER CONSERVATION, 3., 2001, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro: Embrapa Solos; Viçosa, MG: SBCS, 2002. 12 p. Invited Paper S6-03. 1 CD-ROM.

MACHADO, P. L. O. de A.; FREITAS, P. L. de. No till farming in Brazil and its impact on food security and environmental quality. In: LAL, R.; HOBBS, P.; UPHOFF, N.; HANSEN, D. **Sustainable agriculture and the rice-wheat system.** Marcel Dekker, New York. p. 291-310. 2004.

MANZATTO, C. V. **Pedogênese toposeqüencial de solos desenvolvidos de sedimentos do terciário no norte fluminense: um subsídio ao manejo agrícola racional.** 1998. 148 f.]. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes.

MOREAU, R. Évolution des sols sous différents modes de mise en culture en Côte d'Ivoire forestière e préforestière. **Cahiers ORSTOM, Série Pédologie**, Bondy, França, v. 20, n. 4, p. 311-325, jan. 1983.

PIERI, C. **Fertilité des terres de savanes.** Paris: Ministère de la Cooperation: CIRAD, 1989. 444 p.

SATURNINO, H. M. Sustentabilidade do agronegócio: contribuição do sistema de plantio direto. In: CALDAS, R. de A. (Ed.). **Agronegócio brasileiro: ciência, tecnologia e competitividade.** Brasília: CNPq, 1998. p. 215-224.

SILVA, F. C.da; BLANCANEUX, P.; Freitas, P. L. de. Análise de fertilidade e morfo-estrutural como indicadores da sustentabilidade e critérios de seleção de sistemas de uso do solo e da água em savanas tropicais brasileiras. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** Viçosa, MG: SBCS, 1996. Seção Painéis. 1 CD ROM.

Comunicado Técnico, 31

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

Embrapa Solos

Endereço: Rua Jardim Botânico, 1024 Jardim Botânico. Rio de Janeiro, RJ. CEP: 22460-000.

Fone: (21) 2179-4500

Fax: (21) 2274-5291

E-mail: sac@cnps.embrapa.br

<http://www.cnps.embrapa.br/solosbr/conhecimentos.html>

1ª edição

1ª impressão (2005): online

Expediente

Supervisor editorial: *Jacqueline S. Rezende Mattos*

Revisão de texto: *André Luiz da Silva Lopes*

Normalização bibliográfica: *Marcelo M. de Moraes*

Editoração eletrônica: *Pedro Coelho Mendes Jardim*