

# Plantio direto e sustentabilidade do sistema agrícola

José Carlos Cruz<sup>1</sup>  
Israel Alexandre Pereira Filho<sup>2</sup>  
Ramon Costa Alvarenga<sup>3</sup>  
Derli Prudente Santana<sup>4</sup>

Resumo - Trinta anos após sua introdução em território nacional, o Sistema Plantio Direto (SPD) consolida-se como uma tecnologia conservacionista, largamente aceita entre os agricultores, com sistemas adaptados a diversas regiões e aos diferentes níveis tecnológicos, do grande ao pequeno agricultor que usa a tração animal. Está fundamentado na mobilização mínima do solo, numa faixa estreita da superfície do terreno para o plantio, na manutenção de palhada sobre o solo, no controle químico de plantas daninhas e na necessidade da sucessão e rotação de culturas. Requer cuidados na sua implantação e, depois de estabelecido, seus benefícios estendem-se não apenas ao solo, mas, conseqüentemente, ao rendimento das culturas e à competitividade dos sistemas agropecuários. Além disso, devido à drástica redução da erosão, reduz o potencial de contaminação do meio ambiente e dá ao agricultor maior garantia de renda. Assim, a estabilidade da produção é ampliada em comparação aos métodos tradicionais de manejo de solo. Por seus efeitos benéficos sobre os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, pode-se afirmar que o SPD é uma ferramenta essencial, para se alcançar a sustentabilidade dos sistemas agropecuários.

Palavras-chave: Manejo conservacionista; Rotação de culturas; Sucessão de culturas; Erosão; Qualidade do solo.

## INTRODUÇÃO

Iniciado nos estados do Paraná e Rio Grande do Sul, em 1970, e com o processo de adoção pelos agricultores, a partir de 1976, o Sistema Plantio Direto (SPD) está hoje sendo adotado e adaptado a quase todas as regiões do Brasil. Segundo levantamento da Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha (Febrapdp), na safra 1990/1991, apenas um milhão de hectares eram cultivados neste sistema. Dois anos depois, em 1992/1993, a área dobrou e, em 1994, atingia três milhões de hectares, alcançando, hoje, cerca de 12 milhões de hectares, incluindo tanto grandes como médios e pequenos produtores, dentre estes os que utilizam tração animal, e expandindo-se em todo o território nacional (Téc-

nicos..., 2000). Os estados do Rio Grande do Sul e Paraná e a região dos Cerrados são os locais de maior expansão dessa técnica, que hoje é aplicada não só nas culturas de soja e milho, mas também nas de feijão, arroz, trigo, cana-de-açúcar e pastagens, além das aplicações no pré-plantio para florestas, citros e café (Frutos da Terra, 2000). Além disso, existe hoje uma série de entidades, empresas produtoras de insumos, máquinas agrícolas, pesquisadores, extensionistas e produtores que atuam como suporte ao movimento pró-plantio direto. Dentre essas entidades, devem ser destacados os clubes, como o pioneiro Clube da Minhoca, de Ponta Grossa (PR), e vários outros Clubes dos Amigos da Terra ou Clubes do Plantio Direto de diversas regiões, que vêm

realizando uma série de eventos de promoção do plantio direto.

A partir de 1981, várias entidades foram instituídas, como a Fundação ABC, em Castro (PR), a Fundacep/Fecotrigo, em Cruz Alta (RS), a Fundação MS, em Maracaju (MS), a Fundação MT, em Rondonópolis (MT) e, mais recentemente, a Associação de Plantio Direto no Cerrado (APDC), em Goiânia (GO) (Pereira, 1998).

O plantio direto, definido como o processo de semeadura em solo não-revolvido, no qual a semente é colocada em sulcos ou covas, com largura e profundidade suficientes para a adequada cobertura e contato delas com a terra, é hoje entendido como um sistema com os seguintes fundamentos que se interagem:

<sup>1</sup>Eng<sup>a</sup> Agr<sup>a</sup>, Ph.D., Pesq. Embrapa Milho e Sorgo, Caixa Postal 151, CEP 35701-970 Sete Lagoas - MG. E-mail: zecarlos@cnpmc.embrapa.br

<sup>2</sup>Eng<sup>a</sup> Agr<sup>a</sup>, M.Sc., Pesq. Embrapa Milho e Sorgo, Caixa Postal 151, CEP 35701-970 Sete Lagoas - MG. E-mail: israel@cnpmc.embrapa.br

<sup>3</sup>Eng<sup>a</sup> Agr<sup>a</sup>, D.Sc., Pesq. Embrapa Milho e Sorgo, Caixa Postal 151, CEP 35701-970 Sete Lagoas - MG. E-mail: ramon@cnpmc.embrapa.br

<sup>4</sup>Eng<sup>a</sup> Agr<sup>a</sup>, Ph.D., Pesq. Embrapa Milho e Sorgo, Caixa Postal 151, CEP 35701-970 Sete Lagoas - MG. E-mail: derli@cnpmc.embrapa.br

- a) eliminação/redução das operações de preparo do solo: como resultado, há maior manutenção da estabilidade de agregados, o que melhora a estrutura do solo, evitando compactação, melhora a taxa de infiltração da água de chuva e mantém a umidade, melhora o arejamento e a atividade biológica do solo e mantém sua matéria orgânica;
- b) uso de herbicidas para o controle de plantas daninhas: usar herbicidas dessecantes significa substituir a energia mecânica do preparo do solo (óleo diesel, não-renovável, pela energia química). É fundamental o uso de métodos integrados de controle de plantas daninhas, explorando o uso de culturas de cobertura, rotação de culturas e herbicidas específicos;
- c) formação da cobertura morta: fornece proteção contra o impacto das gotas de chuva, reduzindo o escoamento superficial e a erosão, protegendo o solo contra o efeito de raios solares, reduzindo a evaporação, a temperatura do solo e a amplitude térmica, e contra a ação de ventos, incorporando matéria orgânica ao solo, necessária a uma atividade microbiana mais rica e permitindo maior reciclagem de nutrientes. Além disso, auxilia no controle de plantas daninhas, pela supressão ou efeito alelopático;
- d) rotação de culturas: a combinação de espécies com diferentes exigências nutricionais, produção de fitomassa e sistema radicular torna o sistema mais eficiente, além de facilitar o controle integrado de pragas, doenças e plantas daninhas;
- e) uso de semeadoras específicas.

principais vantagens do plantio direto, que podem ser resumidas, de acordo com Saturnino & Landers (1997), da seguinte forma:

- a) racionalização no uso de insumos e máquinas;
- b) proteção, melhoramento químico e reestruturação física do solo com a palhada, a rotação de culturas, a reciclagem de nutrientes, a preservação da matéria orgânica e o desenvolvimento de macro e microorganismos responsáveis pela vida dos solos;
- c) sensível diminuição de assoreamento em represas e rios;
- d) redução substancial de consumo de combustível por tonelada de grãos;
- e) redução do custo de manutenção de estradas de terra;
- f) custos reduzidos em tratamento de água municipal;
- g) eliminação da poluição e eutrofização de cursos d'água pelos sólidos e solutos no escoamento de chuva em excesso;
- h) redução da pressão de abertura de novas áreas (importante para a preservação da Amazônia);
- i) incremento da fauna aquática e de terra firme;
- j) redução do risco de enchentes;
- k) agricultura produtiva, próspera e sustentável, que resulta em custos menores dos alimentos básicos e menor migração da população rural para cidades grandes, principalmente quando se utiliza tal sistema em agricultura familiar.

Algumas desvantagens são também atribuídas ao plantio direto de acordo com, Dijkstra (1984), Souza & Resende (1982) e Viégas e Peeten (1987), como a seguir:

- a) sistema não-aplicável a todas as condições de solo e não adaptável a alguns tipos deles;
- b) dificulta a incorporação de adubos;
- c) maior uso de herbicidas (elevados custos);

- d) resultados piores em solos malcorrigidos e erodidos;
- e) deficiência na eliminação de focos de doenças e pragas (presentes em restos culturais);
- f) necessidade de melhor conhecimento e, geralmente, maior custo no controle de plantas daninhas;
- g) necessidade de estabelecimento da cobertura morta;
- h) exigência de maior assistência técnica especializada.

As vantagens e/ou as desvantagens do plantio direto dependem de uma série de fatores e características edafoclimáticas da região, onde esse sistema é ou será utilizado. É fundamental que, em cada região, o sistema seja adaptado, seguindo suas vocações naturais, de forma que ele seja o mais eficiente possível. Além disso, verifica-se que, à medida que o agricultor e a região se tornam mais familiarizados no uso do plantio direto, novas vantagens são adicionadas ao sistema e novas alternativas para resolver problemas vão surgindo.

Um exemplo disto é o relato de Puríssimo (1997) sobre a evolução do sistema: inicialmente, o plantio direto pode ter sido considerado como reativo para a resolução dos problemas de erosão e conservação do solo, especialmente na região dos Campos Gerais, no Paraná. A falta de equipamentos adequados, a indisponibilidade de maiores alternativas de herbicidas para o controle mais efetivo das plantas daninhas mais comuns e, obviamente, a falta de maiores conhecimentos sobre o assunto eram os fatores mais limitantes.

No início dos anos 80, o plantio direto era muito dependente do controle químico das plantas daninhas e havia grandes preocupações com os conseqüentes riscos ao homem e ao ambiente. Posteriormente, com o uso da rotação e sucessão de culturas, esse sistema tornou-se mais sustentável, com uma redução nas necessidades de fertilizantes, herbicidas e outros produtos químicos.

A maior utilização de herbicidas de pós-

## VANTAGENS E DESVANTAGENS DO PLANTIO DIRETO

Vários autores, entre eles, Bradley (1997), Puríssimo (1997), Dijkstra (1984), Primavesi (1985) e Derpsch et al. (1991) citam as prin-

emergência, mais adaptados ao sistema, também representou uma grande evolução. Os benefícios da rotação de culturas incluíram a redução na pressão sofrida pelas pragas e doenças, controle mais efetivo das plantas daninhas, melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, redução dos riscos econômicos, devido à diversificação e maior eficiência no uso de água e nutrientes.

A partir da última década, a tendência evolutiva do plantio direto é muito mais pró-ativa, com base mais em oportunidades que em risco. Exemplo dessa tendência é o emprego do plantio direto nos sistemas de produção animal, com a integração agricultura-pecuária. A combinação de culturas extensivas com a produção de carne ou leite, além de representar a inclusão de uma cobertura morta mais variada, acrescida dos benefícios agregados, significa ainda garantia de alternativa de retorno ao equilíbrio natural.

## REQUISITOS BÁSICOS PARA O PLANTIO DIRETO

### Qualificação do agricultor

Por se tratar de um sistema complexo, exige-se que o agricultor tenha um conhecimento mais amplo e um domínio de todas as fases desse sistema, envolvendo o manejo de mais de uma cultura e, muitas vezes, uma associação de agricultura e pecuária. O sistema exige ainda um acompanhamento mais rígido da dinâmica de pragas, doenças e plantas daninhas, do manejo de fertilizantes e das modificações causadas ao ambiente, à medida que o sistema seja implantado.

### Gerenciamento e treinamento de mão-de-obra

Pelas razões expostas no item qualificação do agricultor, verifica-se a necessidade de maior treinamento da mão-de-obra.

### Boa drenagem de solos úmidos com elevado lençol freático

Este requisito é necessário para que esses tipos de solos estejam aptos ao sistema, pois o plantio direto já promove um

aumento da água no solo em consequência de menor escoamento superficial, de maior infiltração e de menor evaporação, o que poderia agravar o problema de excesso de umidade em solos com drenagem deficiente, principalmente naqueles "pesados", em razão da quantidade ou tipo de argila e onde temperaturas mais frias podem afetar a germinação e a emergência de plântulas. Obviamente, no Brasil, baixas temperaturas do solo dificilmente constituirão um problema.

### Eliminação, antes da implantação, de compactação ou de camadas adensadas

A presença de camadas adensadas no solo, geralmente resultantes do uso inadequado de arados ou grades aradoras, após sucessivos anos, sempre a uma mesma profundidade, causa uma série de problemas. São eles: redução da infiltração de água no solo, favorecendo o escoamento superficial e a erosão; concentração do sistema radicular nas camadas superficiais do solo, reduzindo seu volume explorado pelas raízes, tanto em termos de nutrição de plantas, quanto de absorção de água, o que torna as plantas mais susceptíveis aos veranicos, diminuindo sua produtividade. Como o plantio direto não elimina essas camadas adensadas, esse trabalho deve ser realizado antes da implantação desse sistema.

### Superfície do terreno deve estar nivelada

Solos cheios de sulcos ou valetas devem ser preparados previamente, tornando a superfície do terreno o mais nivelada possível. Esse problema também é muito comum em áreas de pastagens degradadas. Existem no mercado plantadoras com sistema de plantio que permitem acompanhar o microrrelevo do solo. Entretanto, o ideal é o preparo prévio da área.

### Correção da acidez do solo antes de iniciar o plantio direto

Como no plantio direto o solo não será revolvido, é muito importante corrigir o solo

tanto na camada superficial como na sub-superfície. Para isso, ele deverá ser amostrado de 0-20cm e de 20-40cm e, se necessário, efetuar a calagem, incorporando o calcário o mais profundo possível. Se for conveniente, deve-se fazer aplicação de gesso para correção da camada subsuperficial. Embora essa tenha sido uma tendência no Brasil Central, no Sul do país o uso do calcário na superfície do solo tem sido efetivo, trazendo vantagens econômicas, devido ao menor custo da aplicação do calcário sem incorporação, por meio da aração e das gradagens, e de conservação do solo, pois, sem o revolvimento, mantém-se a estrutura física do campo nativo, o que é fundamental no controle da erosão, principalmente em solos arenosos (Florin et al., 1998).

### Níveis de fertilidade devem-se situar na faixa de média a alta

A correção dos teores de fósforo (P) e potássio (K) é necessária antes de iniciar o SPD. Na realidade, o agricultor deve ter como meta manter os níveis de fertilidade na faixa alta e estabelecer um programa de adubação de reposição, levando em consideração o sistema como um todo e as menores perdas de nutrientes resultantes da menor erosão.

### Restos culturais na superfície devem cobrir, pelo menos, 50% do solo, ou 6 t/ha de matéria seca para cobertura do solo

Provavelmente, este é um dos requisitos mais importantes para o sucesso do plantio direto, por afetar praticamente todas as modificações que o sistema promove, e o mais variável entre diferentes regiões, pois as opções de cobertura do solo dependem das condições climáticas de cada local.

### Jamais queimar restos culturais

Este requisito é óbvio, mas pode ser um problema com a cultura do algodão, para a qual, por razões fitossanitárias, às vezes se recomenda a queima de restos culturais.

## Uso do picador e do distribuidor de palhas nas colhedoras

O objetivo dessa prática é promover melhor distribuição dos restos culturais na superfície do solo, facilitando o plantio e protegendo mais uniformemente o solo.

## Eliminação de plantas daninhas perenes

Plantas daninhas são de difícil controle e tendem a aumentar sua infestação com o uso do plantio direto.

## Não deve haver alta infestação de plantas daninhas muito agressivas

Essas plantas daninhas, além de difícil controle, onerarão o custo de produção.

## Plantas daninhas deverão ser identificadas e receber um controle específico, antes do plantio direto

Como no plantio direto as plantas daninhas serão controladas sem o uso de processos mecânicos e seu custo representa um alto percentual do custo de produção total, toda ação que reduzir ou facilitar o controle delas antes da instalação do plantio direto deverá ser adotada.

O sucesso ou insucesso da implantação do plantio direto depende, além dos requisitos básicos, da capacidade prévia do produtor e de sua experiência no manejo de diferentes culturas, que farão parte dos sistemas de rotação e/ou sucessão de culturas, envolvendo muitas vezes agricultura e pecuária e, em algumas áreas, o manejo de plantas daninhas com uso de herbicidas, na mecanização agrícola.

Nos últimos anos, com o crescimento acelerado do plantio direto, é comum produtores não muito experientes, motivados pelo sucesso desse plantio, implantarem no sem obedecer aos requisitos básicos, alegando que isso implicaria em atraso do sistema. Ocorre que, a não-observância de alguns dos princípios básicos comprometerá a viabilidade técnica e econômica do plantio direto, gerando frustrações e, mui-

tas vezes, implicando em abandono desse sistema de plantio, antes que ele possa manifestar todo o seu potencial. Assim, é prudente que o produtor inicie o sistema em pequenas áreas, para melhor dominá-lo.

## ROTAÇÃO DE CULTURAS

Na implantação e na condução do SPD de maneira eficiente, é indispensável que o esquema de rotação de culturas promova na superfície do solo a manutenção permanente de uma quantidade mínima de palhada, que nunca deverá ser inferior a 2,0 t/ha de matéria seca. Como segurança, devem ser adotados sistemas de rotação que produzam em média 6,0 t/ha/ano ou mais de matéria seca. Neste caso, a soja contribui com muito pouco, raramente ultrapassando 2,5t/ha de massa seca (Ruedell, 1998). Por outro lado, a cultura do milho, de ampla adaptação a diferentes condições, tem ainda a vantagem de deixar uma grande quantidade de restos culturais que, uma vez bem manejados, podem contribuir para reduzir a erosão e melhorar o solo (Fiorin & Campos, 1998).

No início do SPD, é importante priorizar a cobertura do solo, principalmente se as áreas apresentarem um certo grau de degradação. Para isso, onde for possível, as culturas de milho e de aveia integradas e de forma planejada no sistema de rotação proporcionam alto potencial de produção de fitomassa e de elevada relação C/N, garantindo a manutenção de cobertura do solo, dentro da quantidade mínima preconizada e por maior tempo de permanência na superfície. Também as braquiárias apresentam essas condições e representam uma excelente alternativa em áreas de integração lavoura-pecuária.

A palha ou palhada representa a essência do plantio direto e desempenha as seguintes funções:

- reduz o impacto das gotas de chuvas, protegendo o solo contra a desagregação de partículas e compactação;
- dificulta o escoamento superficial, aumentando o tempo e a capacidade de infiltração da água de chuvas;

- há redução nas perdas de solo e de água em consequência da erosão;
- protege a superfície do solo da ação direta de raios solares, reduzindo a evaporação e, conseqüentemente, mantendo maior quantidade de água disponível no solo;
- reduz a amplitude hídrica e térmica, favorecendo alta atividade biológica;
- aumenta a matéria orgânica no perfil do solo, conseqüentemente a disponibilidade de água para as plantas, a capacidade de troca de cátions (CTC), além de melhorar suas características físicas;
- ajuda no controle de plantas daninhas, por supressão ou por ação alelopática.

Especial atenção deve ser dada à soja e ao milho, culturas mais usadas no plantio direto, e que apresentam grandes vantagens, quando plantadas em rotação, inclusive com aumentos significativos nos rendimentos de ambas (Cruz, 1982, Derpsch, 1986 e Ruedell, 1998).

No Sul do Brasil, pelas condições climáticas mais favoráveis, há maiores opções de rotação de culturas, envolvendo tanto as culturas de verão como as de inverno, conforme mostram Derpsch (1986) e Ruedell (1998). No Brasil Central, as condições climáticas, com quase total ausência de chuvas entre os meses de maio a agosto, dificultam a existência de cultivos de inverno, exceto em algumas áreas com microclima adequado ou com agricultura irrigada. Essa situação dificulta ou deixa poucas opções para o estabelecimento de culturas comerciais ou mesmo de cobertura, isto é, culturas cuja finalidade principal é aumentar o aporte de restos culturais sobre a superfície do solo, exigindo que estas tenham características peculiares, como um rápido desenvolvimento inicial e maior tolerância à seca. Trabalhando com várias opções de rotação de culturas de verão (safra normal) e de safrinha, na região de Rio Verde (GO), Ferreira (1998) constatou que as maiores produtividades de milho são sobre as pa-

lhadas de algodão, girassol, guandu e nabo forrageiro, enquanto que, para a cultura da soja, as melhores respostas foram sobre as palhadas de milho, aveia, sorgo e milheto.

No Brasil Central, a implantação do plantio direto tem sido facilitada em áreas onde é possível o desenvolvimento de safrinha. Nesse caso, safrinha é entendida como a segunda cultura de uma sucessão dentro da mesma época chuvosa, plantada sem irrigação. A safrinha só é possível, quando o período chuvoso se prolonga um pouco mais. Dentre as principais culturas de safrinha, destacam-se o milho, que já ocupa cerca de dois milhões e quinhentos mil hectares, plantados na safra 1999/2000, o sorgo, o milheto e o girassol.

Em Minas Gerais, a safrinha de milho representa menos de 2% da safrinha brasileira, constituindo uma dificuldade adicional na formação de cobertura morta adequada para o plantio direto. Além disso, a área plantada com milho no Estado é mais do que o dobro da área com soja, sendo que, em algumas regiões, como a região Sul de Minas Gerais, o plantio da soja não é comum, o que restringe as alternativas de rotação de culturas e dificulta a implantação do plantio direto. Nessa região, também é comum a produção do milho para a produção de silagem, quando toda a produção de biomassa é retirada do terreno e a interação agricultura-pecuária é muito forte. A experiência de vários agricultores da região tem demonstrado ser possível o plantio do milho sobre palhada de braquiárias. Nesse caso, quando a cobertura inicial não é ainda adequada, é comum o plantio do milho consorciado com a braquiária. A semente da forrageira, geralmente, é colocada junto ao adubo da plantadora de milho e semeada a uma maior profundidade do que a usada para o milho. Alguns agricultores já usam, após o milho para silagem, o plantio de outra safra do próprio milho, aveia, plantios de sorgo forrageiro ou de corte e pastejo ou milheto. Essas alternativas, embora sejam viáveis, necessitam de alguma outra opção para quebrar este ciclo de plantio de gramíneas.

No Brasil Central (Centro-Oeste e Su-

deste), a expansão do SPD, associado a um programa de integração agropecuária, tem-se mostrado altamente promissora. Estima-se que na região dos Cerrados brasileiros, com aproximadamente 204 milhões de hectares considerados agricultáveis, apenas cerca de 44 milhões de hectares são ocupados atualmente, sendo 11 milhões com culturas de sequeiro (soja, milho etc.); 31 milhões de hectares de pastagens cultivadas (principalmente do gênero *Brachiaria* spp) e 2 milhões de hectares de culturas permanentes. Por outro lado, dados da Fundação MS mostram que, após a recuperação de pastagem com dois a três anos de soja, logo no primeiro ano, após a colheita da soja, é possível produzir 20 arrobas ou 300kg de carne/ha/ano e, gradativamente, ir diminuindo a produção no segundo, terceiro e quarto anos após a soja, com valores de 14,0, 9,0 e 5,4 arrobas/ha/ano de carne, respectivamente (Roos, 2000). Broch (2000) descreve bem a evolução da integração agricultura-pecuária no Centro-Oeste do Brasil. Segundo este autor, a Fundação MS recomenda o plantio direto sobre pastagem degradada e não sobre solo degradado. Pastagem degradada é definida como aquela que apresenta uma produtividade menor do que 40% do seu potencial produtivo em condições ideais de manejo e clima. Como referência, Broch (2000) cita que uma pastagem de *B. decumbens* e *B. brizantha* que, sob condições ideais apresenta um ganho de 210kg de carne/ha/ano, é considerada degradada, quando passa a produzir em torno de 40% disso, ou seja, 84kg de carne/ha/ano. Por outro lado, solo degradado é aquele que apresenta acidez elevada, baixa fertilidade e erosão.

A implantação do plantio direto sobre pastagem degradada deve considerar alguns aspectos, dentre eles a provável necessidade de preparo do solo para correção de desuniformidades (sulcos de erosão, trilhas do gado, cupinzeiros, pé-de-grade ou pé-de-arado etc.). Se não for o caso, poderá ser realizada a calagem superficial ou na linha de plantio, junto ao fertilizante. Geralmente, há necessidade do uso do sulcador na semeadora, para maior aprofundamento do adubo e preparo do sulco de plantio e

melhor desenvolvimento radicular da cultura a ser instalada. A soja tem sido a cultura mais utilizada nesse sistema, mas também outras, como o milho, feijão e algodão, com maiores exigências nutricionais, especialmente por nitrogênio, podem fazer parte do sistema, ajustando-se o manejo de nutrientes às necessidades do sistema, especialmente da adubação nitrogenada no plantio (Ferreira, 1998).

A contribuição da braquiária no plantio direto é apresentada no Quadro 1, que mostra a avaliação da quantidade e da distribuição do sistema radicular de uma pastagem de *B. decumbens* 16 anos após a sua formação e pastejo contínuo.

QUADRO 1 - Produção e distribuição do sistema radicular de *B. decumbens*, avaliado 16 anos após a sua formação e pastejo contínuo

Profundidade (cm)	Matéria seca (t/ha)	Distribuição (%)
0-4	0,938	54
4-9	0,191	11
9-15	0,140	8
15-30	0,150	9
30-60	0,175	10
60-100	0,147	8
Total	1,741	100

FONTE: Broch (2000).

Espera-se que essas raízes, ao se decompor na camada superficial do solo (mais de 50% do total encontram-se nos 4,0cm superficiais), provoquem a descompactação natural da superfície do solo, que poderia estar compactado pelo pisoteio dos animais.

## MODIFICAÇÕES CAUSADAS PELO PLANTIO DIRETO

Por ser um sistema que não revolve o solo e que está fundamentado na presença de restos culturais sobre a superfície, em sistemas de rotação de culturas, uma série de modificações ocorre no ambiente do solo e afeta o desenvolvimento e a produtividade das culturas.

## Características físicas

Como as características físicas do solo são interdependentes, a ocorrência de modificações em uma delas normalmente acarreta mudança em todas as outras. Uma das primeiras preocupações, quando se trata do manejo do solo, é sua influência na absorção e disponibilidade de água, pois o estado em que se encontra a superfície do solo exercerá grande influência na infiltração, drenagem e escoamento superficial (Castro, 1989). A crosta que se forma nessa superfície, durante chuvas intensas, tem um efeito maior na absorção de água que o tipo de solo, a declividade do terreno ou o seu conteúdo de umidade. O escoamento superficial depende da infiltração de água no solo e, conseqüentemente, de todos os fatores que a influenciam. Em geral, ele é menos influenciado do que as perdas de solo pelo tipo de preparo (Bertol et al., 2000). Segundo estes autores, ao citarem alguns trabalhos de literatura, relatam que o escoamento superficial pode ser expressivo, mesmo sem preparo do solo, especialmente quando for submetido a chuvas de alta erosividade e, principalmente, longos comprimentos de rampa e/ou declividades acentuadas, onde os resíduos culturais podem ser removidos da superfície do solo pelo escoamento.

Os dados do Quadro 2 exemplificam o efeito de restos culturais no escoamento superficial, infiltração e perdas de solo.

A cobertura vegetal (viva ou morta) tem efeito na interceptação das gotas de chuva, dissipando sua energia cinética, porque evita o impacto direto sobre a superfície do solo, reduzindo a desagregação de suas partículas que é a fase inicial do processo erosivo. Além disso, a cobertura vegetal reduz a velocidade de escoamento das enxurradas e melhora ou mantém a capacidade de infiltração de água, reduzindo o efeito da desagregação do solo, evita o selamento superficial, provocado pela obstrução dos poros com as partículas finas desagregadas (Castro, 1989). Exemplificando essa situação, dados de Derpsch et al. (1986), citados por Castro (1989), mostram

QUADRO 2 - Efeito de diferentes níveis de resíduos culturais no escoamento superficial, infiltração e perda de solo, em declividade de 5%

Resíduos (t/ha)	Efeitos sobre a água e solo		
	Escoamento (%)	Infiltração (%)	Perda de solo (t/ha)
0	45,3	54,7	13,69
0,550	24,3	74,7	1,56
1,102	0,5	99,5	0,33
2,205	0,1	99,9	0
4,410	0	100,0	0

FONTE: Dados básicos: Ramos (1976), citado por Ruedell (1998).

que as curvas de infiltração obtidas com chuva simulada, a infiltração básica com plantio direto foi de 45 mm/h (100%), para o preparo com arado escarificador, foi de 35 mm/h (78%) e somente 26 mm/h (58%) para o preparo convencional.

Por isso, o solo deveria permanecer sempre completamente coberto por restos vegetais. Uma infiltração total de altas precipitações só é garantida por 100% de cobertura do solo. Para tanto, são necessários de 4 a 6 t/ha de cobertura morta, segundo Derpsch et al. (1991) e confirmado por vários outros autores citados por eles. Resaltam ainda que as quantidades de palha obtidas após as colheitas de soja e trigo, no Paraná, de 2,5 t/ha e 1,5 t/ha respectivamente, numa seqüência de culturas soja/trigo, são insuficientes, havendo necessidades de inclusão de adubação verde e plantas produtoras de cobertura morta, tal como milho no sistema de rotação de culturas, para que o plantio direto atinja o máximo de eficiência. Para uma mesma quantidade de água perdida por escoamento, esta transporta muito menos solo em plantio direto do que no Sistema Plantio Convencional (SPC). Entretanto, alguns casos de erosão significante têm sido observados em área de plantio direto, devido à baixa cobertura do solo com resíduos, à retirada do sistema de terraceamento e plantio, sem obedecer às curvas de nível (Vieira, 1985).

A cobertura morta em plantio direto reduz as perdas de água por evaporação, em conseqüência a três aspectos:

- reduz a quantidade de radiação solar direta que atinge a superfície do solo, diminuindo a quantidade de energia disponível para a água mudar do estado líquido para o de vapor;
- o vapor de água necessita difundir-se por meio da espessura da camada de restos culturais, o que reduz substancialmente sua perda, quando comparado com as perdas de uma superfície de solo descoberto;
- a camada de resíduos orgânicos atua como um isolante térmico, reduzindo a condução do calor para dentro do solo (Phillips, 197-). Como conseqüência, há maior disponibilidade de água para as plantas, o que já foi confirmado por Vieira (1981) e Cruz (1982), entre outros. Além da maior infiltração e menor perda por evaporação, a maior disponibilidade de água para as plantas no plantio direto também pode ser atribuída à modificação na curva característica da água no solo (Lal, 1974). Segundo Sidiras et al. (1983), o SPD era capaz de reter de 36% a 45% mais água disponível para as culturas.

## Densidade do solo e porosidade

O preparo mecânico do solo afeta sua densidade e porosidade. Geralmente, o plantio direto apresenta maior densidade global do solo e maiores valores de microporosidade, com conseqüente redução no volume total de poros e na macroporosida-

de. Esses efeitos ocorrem na camada arável do solo, atingindo de 15cm a 20cm. Comparado com o preparo convencional, embora os valores da densidade sejam maiores no plantio direto, há uma maior homogeneidade ao longo do perfil. No sistema convencional, os valores da densidade são menores na camada arável, mas pode apresentar valores maiores logo abaixo da camada arável, caracterizando a presença de “pé-de-arado ou pé-de-grade”. Por outro lado, o uso excessivo de máquinas sobre áreas de plantio direto em solo com teor de umidade inadequada pode agravar os problemas de aumento da densidade global. Este problema é agravado em solos argilosos. Embora os maiores valores de densidade global e baixo volume de macroporos do plantio direto em relação ao convencional sejam características que poderiam limitar a infiltração, outras, como o não-revolvimento do solo, a maior estabilidade de agregados e os efeitos da cobertura morta que reduzindo ou eliminando o efeito de selamento superficial do solo e o escoamento superficial, acabam promovendo maior infiltração de água no plantio direto.

Os agricultores têm constatado essa maior compactação do solo nos primeiros anos após a implantação do plantio direto e esse efeito pode mesmo afetar o rendimento de culturas mais sensíveis, como o algodão. Entretanto, eles próprios já perceberam que o efeito nocivo dessa compactação aparente desaparece, à medida que o plantio direto se estabelece adequadamente. Em áreas de plantio direto, onde se observam os princípios básicos de sua implantação, principalmente com relação ao estabelecimento de uma cobertura morta adequada e a eliminação prévia de camadas adensadas, é de se esperar que o efeito da compactação seja menor e que desapareça mais rapidamente. De qualquer forma, a dinâmica dessa compactação, real ou aparente, e o tempo necessário para seu desaparecimento deverão ser melhor estudados.

### Estabilidade de agregados

Outra importante característica do plantio direto é o aumento da estabilidade de

agregados, o que lhe confere maior resistência à desagregação pelo impacto das gotas de chuva e, conseqüentemente, menores problemas com a formação de selamento superficial, resultando em maior infiltração e menor erosão. Segundo Vieira (1985), essa maior estabilidade de agregados no plantio direto pode ser explicada por uma ou pelo conjunto das seguintes razões:

- a) destruição mecânica dos agregados no preparo convencional, por meio do revolvimento pelos implementos, geralmente mais de uma vez por ano, debilitaria a estrutura do solo;
- b) maior concentração de cátions, como  $Ca^{++}$  e  $Mg^{++}$  próximo à superfície do solo, sob plantio direto, poderia afetar positivamente a estrutura;
- c) presença constante de material orgânico em decomposição na superfície do solo favoreceria a agregação do solo, sobretudo na camada de 0-2 cm;
- d) cobertura morta, que evita o impacto direto das gotas de chuva, protegeria a estrutura superficial do solo;
- e) com a maior densidade global no plantio direto, os agregados tornariam mais resistentes à desagregação;
- f) maior população de minhocas no plantio direto produz coprólitos que formam agregados de alta estabilidade.

### Temperatura do solo

A temperatura do solo é também afetada pelo plantio direto, considerando que ela sofre influência da radiação solar, das propriedades físicas do solo, do conteúdo de água no perfil do solo, da condutividade térmica e da cobertura do solo. Devido à camada de cobertura morta, menores oscilações de temperaturas, menores temperaturas ao longo de um dia e temperaturas inferiores durante o ciclo das culturas foram medidas em plantio direto (Derpsch et al., 1991). Nas condições da Região Norte do Corn Belt americano, a menor temperatura

do solo no plantio direto é considerada uma das maiores limitações para a adoção desse sistema na região, pois pode prejudicar a germinação, a emergência, o desenvolvimento inicial e a absorção de nutrientes por plantas de milho, soja, trigo e outras. Por outro lado, Lal (1976) concluiu que as menores temperaturas no plantio direto são bastante vantajosas, especialmente em áreas onde a temperatura do solo excede os valores supra-ótimos, e cita diferença máxima de até 11°C entre o plantio direto e as áreas preparadas convencionalmente. Além do desenvolvimento de plantas, o balanço hídrico e a temperatura do solo têm grande influência na atividade biológica do solo.

### Fertilidade do solo

No plantio direto, o acúmulo constante de restos culturais na superfície do solo, o não-revolvimento do solo e o uso de fertilizantes e corretivos resultam na formação de um gradiente de fertilidade no sentido vertical (Petreter & Ruedell, 1995 citados por Fiorin et al., 1998a) e maior variabilidade no sentido horizontal, pelas linhas de adubação, principalmente na fase de implantação do sistema (Anghinoni & Salet, 1996 e Fiorin et al., 1998a). Isso determina modificação no sistema de amostragem do solo, tanto em termos de local e profundidade de amostragem, quanto do número de subamostras que irão compor uma amostra composta (Schlindwein & Anghinoni, 2000).

Como a estratificação de nutrientes no solo ocorre após um determinado período de adoção do sistema, em termos de profundidade de amostragem e da avaliação da necessidade de calagem e para a recomendação de adubação, deve ser levada em consideração uma fase de implantação do sistema (até 4-5 anos) e uma fase estabelecida (após um período de 4-5 anos) (Fiorin et al., 1998b).

Para iniciar o SPD, é aconselhável fazer amostragens de solo e a incorporação do calcário a profundidades superiores que as indicadas para o SPC, o que favorecerá o desenvolvimento das raízes no perfil do solo. No caso de áreas com plantio direto

já estabelecido, já está comprovada a viabilidade técnica e econômica da utilização do calcário na superfície do solo, segundo Pöttker & Ben (1998) e Caires et al. (2000), entre outros.

No caso da adubação nitrogenada, deve-se ter cuidado especial com áreas, onde se utiliza o cultivo de gramíneas que apresenta alta produção de massa e taxa de decomposição mais lenta. Essa situação é comum, principalmente quando implantada em áreas com certo grau de degradação e com baixos teores de matéria orgânica no solo e deverá prevalecer na região dos Cerrados, onde as opções de culturas de cobertura são limitadas.

Dessa forma, o manejo da adubação nitrogenada de gramíneas (milho, sorgo, trigo, cevada etc.) deverá ser ajustado, utilizando-se maior dose no plantio, cerca de 30 kg/ha, segundo Fiorin et al. (1998a) e Sá (1996). Essa situação é muito comum nos plantios de milho após aveia preta, utilizada como cobertura de inverno. A grande utilização da aveia preta é em função da facilidade de aquisição de sementes, boa produção de palhada, ciclo adequado e facilidade de manejo.

A utilização de sistemas de rotação, cuja cultura antecessora ao milho seja uma leguminosa, proporcionou uma economia de 50% de nitrogênio (Sá, 1996). Resultados atuais têm demonstrado, em algumas situações especiais, ser possível a antecipação da dose destinada à cobertura, para o momento do manejo da cobertura verde (Sá, 1996 e Ceretta, 1997). Esta alternativa, quando viável, poderá apresentar maior rendimento operacional de máquinas, pois o fertilizante nitrogenado pode ser distribuído a lanço, ao contrário da aplicação em linha na cobertura.

Ceretta (1997) enfatiza que, mesmo que a aplicação em pré-semeadura não substitua completamente a adubação em cobertura, representará redução de tempo, economia de mão-de-obra e menor custo operacional de máquinas. Além disso, essa aplicação ameniza ou elimina os efeitos negativos da imobilização de N, por microorganismos que podem limitar o crescimento de plantas de milho, cultivadas em

sucessão à aveia. Entretanto, a aplicação de N antes do plantio do milho não tem mostrado ser vantajosa para as condições do Brasil Central.

OP é o nutriente que permite maior economia no SPD. Segundo Muzilli (1985), a não mobilização do solo pelo preparo permite reduzir os efeitos de fixação. O comportamento do P no plantio direto difere em relação ao preparo convencional em três pontos básicos (Sá, 1998):

- a) o não-revolvimento do solo reduz o contato entre os colóides e o íon fosfato, amenizando as reações de adsorção;
- b) a manutenção de resíduos culturais sem a sua incorporação ao solo resulta na formação de linhas com maior concentração de P, devido à adubação das culturas;
- c) a mineralização lenta e gradual dos resíduos proporciona a liberação e redistribuição de formas orgânicas de P mais estáveis e menos susceptíveis às reações de adsorção. Essas características, associadas a uma combinação de culturas com habilidades diferenciadas quanto à absorção e acumulação de P (Sá, 1998) e uma melhor eficiência de aproveitamento do P pelas plantas, devido ao maior teor de umidade na camada arável, favorecendo a taxa de difusão do nutriente até as raízes (Muzilli, 1985), têm demonstrado a possibilidade de redução de gastos com fertilizantes fosfatados em plantio direto.

### Atividade biológica

O conteúdo de matéria orgânica (MO) tem sido considerado há muito tempo como um dos mais importantes condicionantes da produtividade das culturas. A MO fornece nutrientes às plantas, melhora a estrutura do solo, influencia as relações entre água, ar, resistência mecânica e temperatura do solo, auxilia no controle de erosão e melhora o desempenho dos equipamentos de preparo do solo (Tormena, 1996).

A disponibilidade de MO é fundamental para a vida microbiana do solo, pois é dela que a maioria dos organismos obtém a energia e os elementos minerais e orgânicos para a realização de seus processos vitais. Mesmo partindo-se de produção de iguais quantidades de restos culturais, o fato de que, no plantio direto, os restos culturais ficam na superfície do solo, enquanto são enterrados no preparo convencional, resulta em diferentes taxas de decomposição do material vegetal. Ao se fazer a incorporação dos restos culturais pelo preparo do solo, o arejamento é favorecido, o que, concomitantemente com a introdução de resíduos vegetais, acelera a atividade microbiana e, conseqüentemente, a sua rápida decomposição.

Por outro lado, no plantio direto, a terra mantém-se compacta (não-revolvida) e os resíduos na superfície, o que reduz o contato com os microorganismos e, por isso, a taxa de decomposição é menor (Almeida, 1985). Assim, em iguais circunstâncias, o teor de MO é maior em áreas com plantio direto comparado com áreas preparadas convencionalmente e isso corresponde uma atividade microbiana mais elevada.

Pesquisas realizadas pelo Departamento de Agricultura dos EUA (USDA/ARS) mostram que o carbono (C) do solo perde-se muito rapidamente na forma de CO<sub>2</sub>, minutos após o preparo intensivo do solo e que a quantidade perdida tem relação direta com a intensidade do preparo (Derpsch, 1997). Após 19 dias, a perda total de C de uma parcela de restevras aradas de trigo foi até cinco vezes mais alta do que a de parcelas não aradas.

Por outro lado, o plantio direto pode representar uma redução entre 64% e 74% no consumo de óleo diesel (Gentil et al., 1993). Enquanto os combustíveis fósseis são responsáveis pela maior quantidade de dióxido de carbono que entra na atmosfera, estima-se que a ampla difusão de cultivo conservacionista (que deixa, no mínimo, 30% de cobertura com resíduos vegetais sobre a superfície do solo após o plantio) poderia compensar até 16% das emissões de dióxido de carbono por combustíveis

fósseis no mundo (CTIC, 1996, citado por Derpsch, 1997).

O plantio direto, pela ação da cobertura morta na superfície do solo, mantém o teor de umidade mais constante, sendo menos freqüente os ciclos de umidade e secagem do solo. Em condições de encharcamento, o ar é expulso do solo, morrendo os organismos aeróbios, de maior interesse agrônomo. Em condições de seca, também ocorre morte dos microorganismos. Por outro lado, o revolvimento do solo pela aração e gradagem causa grandes modificações nas populações microbianas, pois os microorganismos que se encontram em maiores profundidades são trazidos para a superfície nua do solo e, não suportando a exposição às amplitudes térmicas e alternâncias de umidade, morrem.

No preparo convencional, a aeração provocada pela aração e gradagem e a incorporação maciça dos resíduos orgânicos incrementam a atividade temporária dos microorganismos que logo decresce, quando esses resíduos são consumidos.

Além de microorganismos, no solo vivem também nematóides, moluscos, anelídeos, artrópodes etc. e até vertebrados, que também desempenham papel importante em sua biologia. Estima-se que em solos férteis a população de macroorganismos atinja, em peso, centenas de quilogramas a algumas toneladas por hectare. As flutuações populacionais de macroorganismos, especialmente os artrópodes e minhocas, em áreas de cultivo dependem dos sistemas utilizados. A população aumenta sob circunstâncias mais favoráveis, como o plantio direto (pela manutenção da matéria orgânica, pelo não-revolvimento do solo e pela rotação de culturas), enquanto que no SPC ela diminui drasticamente (Kemper & Derpsch, 1981, citados por Almeida, 1985 e Tanck et al., 2000).

A maioria dos macroorganismos do solo movimenta-se na terra em busca de alimentos ou para deposição de ovos, abrindo galerias que contribuem para aumentar a permeabilidade do solo, facilitando a drenagem mais rápida do excesso de água e melhorando o arejamento, o que concorre para maior disponibilidade de oxigênio para

as raízes e microorganismos. Além disso, os canalículos formados facilitam o desenvolvimento do sistema radicular. As minhocas são particularmente eficientes nesse processo e, como se alimentam de terra, algumas espécies transportam-na da superfície para as camadas inferiores e vice-versa, promovendo maior homogeneização do solo e contribuindo para a sua descompactação.

No plantio direto, a decomposição é mais lenta, mantendo a população microbiana mais constante (Almeida, 1985). Uma das principais conseqüências desse aspecto é o efeito do plantio direto sobre a simbiose rizóbio e leguminosas. Voss & Sidiras (1985) verificaram que, em parcelas com plantio direto, o peso e o número de nódulos foram superiores aos das parcelas com plantio convencional (Quadro 3), resultando em maior massa nodular, distribuição mais profunda dos nódulos no perfil do solo e maior número de nódulos em plantas de soja. Esses resultados foram atribuídos à maior cobertura do solo, que proporcionou menores variações de temperatura e maiores teores de umidade no solo.

Com base em vários resultados de pesquisa, tem sido sugerido que, em plantio direto com no mínimo três anos de cultivos de soja inoculada, poderá não haver resposta à inoculação (Fiorin et al., 1998b).

### Ocorrência de pragas

No preparo convencional do solo, a aração e a gradagem, além de controlarem plantas daninhas, têm também o objetivo de eliminar ou minimizar os problemas causados por certas pragas que passam pelo menos uma parte de seu ciclo biológico no

solo ou na sua superfície. Um exemplo disso é o efeito da grade leve que causa a mortalidade das pupas da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) de 35 a 50% (Cruz, 1995).

Para o SPD, as pragas conhecidas como de hábito subterrâneo são as mais importantes. Por causa da ausência de preparo do solo, desenvolvem-se grupos de pragas com ciclo biológico mais longo e a bioecologia dessas pragas difere substancialmente do SPC. A maioria dos insetos subterrâneos considerados pragas são polí-fagos e utilizam como hospedeiros culturas como o milho, soja, trigo, arroz, feijão, usualmente componentes do SPD. Vários grupos de insetos danificam as sementes após o plantio ou atacam o sistema radicular dessas culturas. Geralmente, o ataque acarreta falhas nas lavouras e as plantas sobreviventes tornam-se improdutivas ou aumentam as perdas na colheita, devido ao tombamento, ou aos danos causados às sementes e ao sistema radicular.

Informações sobre pragas subterrâneas no Brasil são restritas. Espécies das famílias Elateridae, Scarabeidae, Chrysomelidae e Curculionidae foram predominantes em levantamento realizado na região tritícola do Rio Grande do Sul (Guerra et al., 1976). Gassen (1989) publicou informações sobre a identificação, a biologia e os danos de algumas espécies associadas à parte subterrânea de plantas cultivadas no Sul do Brasil. Costa et al. (1991) relataram os gêneros *Delia*, *Elasmopalpus*, *Spodoptera*, *Conoderus*, *Euetheola*, *Agrotis*, *Pantomorus* e *Diabrotica* como os mais importantes no contexto econômico, em levantamento realizado na cultura de milho no Rio Grande do Sul. Em Minas Gerais,

QUADRO 3 - Efeito de dois anos de plantio direto e plantio convencional na massa nodular de soja, na rotação trevoço-milho-triticale

Tipo de preparo	Peso de nódulos (mg/planta)	Número de nódulos por planta	Peso de nódulos (mg/nódulo)
Plantio direto	194,1 a <sup>(1)</sup>	40,75 a <sup>(1)</sup>	4,78 a <sup>(1)</sup>
Plantio convencional	113,5 b	31,14 b	3,64 b

FONTE: Voss & Sidiras (1985).

(1) Diferença significativa a 5% pelo teste de Duncan.

os grupos predominantes de insetos de solo encontrados na cultura do milho foram cupins, larvas e adultos de coleópteros, destacando-se a incidência da larva-aramé, no Noroeste do Estado (Waquil et al., 1991). No Paraná, Viana et al. (1992) relataram a predominância de larvas de bicho-bolo (coró), larva-aramé, percevejo-preto, no solo, chilópoda e larva-angorá, atacando o sistema radicular do milho. Bianco (1985) relata algumas comparações e mostra que, geralmente, o problema de ocorrência de pragas é maior no plantio direto comparado com o preparo convencional do solo.

### Ocorrência de doenças

Os efeitos do plantio direto sobre a ocorrência de doenças no Brasil ainda são pouco estudados, mas os restos culturais mantidos sobre a superfície do solo serviram como fonte de nutrientes e abrigo para a sobrevivência, crescimento e reprodução de organismos patogênicos.

Patógenos foliares de milho de baixa capacidade competitiva saprofítica, como os incitadores da antracnose (*Colletotrichum graminicola*), diplódia (*Diplodia macrospora*) e mancha de cercospora (*Cercospora zeae-maydis*), que até recentemente eram de menor importância, têm mostrado aumento de severidade com o aumento da área de plantio direto no Brasil.

Segundo Nazareno (1998), existe muita informação sobre a ocorrência de doenças em função do sistema de plantio. Para alguns casos, a intensidade de doenças é sempre maior no plantio direto. Para outros, a presença de inóculo na palha não significa necessariamente desenvolvimento de epidemias, pois sem as condições ambientais favoráveis não haverá doença. As conseqüências serão mais nocivas, se um sistema de rotação de culturas adequado não for estabelecido.

No caso de patógenos veiculados pelo vento, uma lavoura pode sofrer influência de restos de cultura em áreas adjacentes. Assim, ao adotar o plantio direto, o agricultor deverá ter um profundo conhecimento do histórico de utilização da área, da cultura a ser implantada e seus respec-

tivos patogênicos, das condições que podem tornar favoráveis o aparecimento de doenças e de medidas preventivas de controle.

### Desenvolvimento de plantas e produtividade

Uma vez que as práticas de manejo de solos afetam a densidade aparente, a porosidade, o arejamento e a disponibilidade de água e a distribuição de nutrientes no solo, elas também afetarão a morfologia e a distribuição de raízes. Tem sido observada uma maior concentração de raízes de milho na camada superior do solo em SPD comparado com o convencional (Cruz, 1982). Resultados similares são relatados para a cultura da soja (Kamprath et al., 1979).

Sá & Petreire (1996) avaliaram o sistema radicular do milho, utilizando-se o método do perfil cultural, em diferentes áreas do Paraná e Rio Grande do Sul, com diferentes números de anos de adoção de plantio direto. Segundo estes autores, o que ficou bem caracterizado é que, quanto maior o tempo de adoção do plantio direto com rotação de culturas, melhor a distribuição do sistema radicular em profundidade, caracterizando um melhor aproveitamento do volume de solo explorado, levando sempre em consideração o tipo de solo, as condições climáticas de cada local e o nível de fertilidade de cada área avaliada. Estes autores também relatam uma maior densidade de raízes na camada superficial do solo. Embora seja nítida a modificação no sistema radicular, nem sempre existe uma relação direta entre o número de raízes e o rendimento da cultura.

As diferenças nas produtividades das culturas refletem, além do sistema de manejo do solo, todas as características do sistema de produção utilizado. Mais do que qualquer resultado de pesquisa, a espetacular expansão do plantio direto, a partir dos anos 90, demonstra a competitividade desse sistema. Obviamente, a maior eficiência do plantio direto refletido em termos de produtividade, vai depender da eficiência de sua implantação e das condições edafoclimáticas da região.

## CONSIDERAÇÕES GERAIS

Iniciado há cerca de 30 anos no Brasil, com o objetivo primeiro de conservar o solo e controlar a erosão, o plantio direto mostrou-se altamente eficiente. Da ação pioneira de agricultores do Sul do país, o sistema foi gradativamente vencendo as primeiras dificuldades relativas à falta de informação técnica, máquinas e equipamentos, mão-de-obra adequada, dificuldades no controle de plantas daninhas, estabelecimento de um sistema de rotação e sucessão de culturas adequadas etc., e, principalmente, a resistência à mudança de conceitos estabelecidos e à falta de uma consciência conservacionista por parte de agricultores, extensionistas, pesquisadores e da sociedade em geral.

Hoje, no novo milênio, a situação é bem diferente, expressa pela área ocupada com esse sistema, já ultrapassando 12 milhões de hectares, pelo número de pesquisas publicadas, pelo número de Clubes de Amigos da Terra e similares e associações que trabalham pró-ativamente com o plantio direto, pelo número de eventos tratando do assunto. Em síntese, pode-se dizer que o sistema popularizou-se, sendo praticado por todos os estratos de agricultores, do grande ao pequeno agricultor, que usa a tração animal.

Segundo Adelheilm & Kotschi (1985), citados por Derpsch (1997), agricultura sustentável é aquela que procura estabelecer, permanentemente, uma produtividade alta do solo, de tal forma que venha a conservar e restabelecer um meio ambiente ecológico equilibrado, que tenha viabilidade econômica e que permita a melhoria da qualidade de vida, isto é, uma agricultura sustentável que mantenha altas produções indefinidamente, sem danificar o solo e o meio ambiente. Basicamente, os conceitos de agricultura sustentável levam em consideração aspectos ambientais, econômicos e sociais. Dentro desse enfoque, percebe-se que o SPD é o que mais se aproxima do conceito de agricultura sustentável ao longo do tempo, pois apresenta uma série de vantagens em relação ao preparo convencional do solo: reduz a erosão, aumenta

o teor de MO e, conseqüentemente, a fertilidade do solo, diminui o consumo de combustíveis fósseis, aumenta a disponibilidade de água para as plantas, preserva e recupera os mananciais de água, ajuda no controle de CO<sub>2</sub> e seus efeitos no aquecimento global e reduz os custos gerais da lavoura, com aumento gradativo da produtividade (Borges,1998). Atualmente, há grandes perspectivas de redução no uso de herbicidas, por meio de maiores alternativas e melhor manejo da palha e de novas alternativas em termos de seletividade e, principalmente, de herbicidas pós-emergentes.

Por outro lado, como em todos os sistemas de produção, não existe nenhuma forma de prognosticar e garantir ausência de pragas e doenças em plantio direto. Deve-se usar o máximo de bom senso e a experiência de campo para suplantiar os eventuais problemas sanitários advindos do SPD, potencializando os demais fatores positivos desse sistema.

Também é fundamental dar suporte ao uso do plantio direto em pequenas propriedades, que já é significativo nos Estados do Sul do país. Especificamente, nas regiões tropicais do Brasil, maiores informações sobre as alternativas de culturas de cobertura e a integração agricultura-pecuária deverão ser melhor avaliadas para dar maior potencialidade ao sistema. Também deverão ser avaliadas alternativas de rotação e sucessão de culturas em áreas onde o milho ou a soja não são cultivados, como, por exemplo, no Sul de Minas Gerais. Nesta região, praticamente não se cultiva a soja e grande parte do milho é produzida para silagem.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. S. de. Influência da cobertura morta do plantio direto na biologia do solo. In: FANCELLI, A.L.; TORRADO, P.V. (Coord.). **Atualização em plantio direto**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. Cap. 6, p.103-144.

ANGHINONI, I.; SALET, R.L. Variabilidade espacial de propriedades químicas do solo no sistema plantio direto. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA PLAN-

TIO DIRETO, 1995, Castro, PR. **Anais...** Castro: Fundação ABC, 1996. p.279-290.

BERTOL, I.; COGO, N.P.; CASSOL, E. A. Distância entre terraços usando o comprimento crítico de rampa em dois preparos conservacionista do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.2, p.417-425, abr./jun. 2000.

BIANCO, R. Ocorrência de pragas no plantio direto x convencional. In: FANCELLI, A. L.; TORRADO, P.V. (Coord.). **Atualização em plantio direto**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. Cap. 9, p.183-194.

BORGES, G. de O. Sustentabilidade agrícola e o sistema plantio direto na palha. In: SEMINÁRIO SOBRE O SISTEMA DE PLANTIO DIRETO NA UFV, 1., 1998, Viçosa, MG. **Resumo das palestras...** Viçosa: UFV - Departamento de Fitotecnia, 1998. p.7-17.

BRADLEY, J.F. Twelve good reasons to stop plowing. In: CONGRESSO NACIONAL DE AAPRESID, 5., 1997, Mar del Plata, Argentina. **Conferências...** [S.l.]: AAPRESID, 1997. p.197-200.

BROCH, D. L. Integração agricultura-pecuária no Centro – Oeste do Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 4., 1999, Uberlândia, MG. **Plantio direto na integração lavoura-pecuária**. Uberlândia: UFU, 2000. p.53-60.

CAIRES, E.F.; BANZATTO, D.A.; FONSECA, A.F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.1, p.161-169, jan./mar. 2000.

CASTRO, O. M. de. **Preparo do solo para a cultura do milho**. Campinas: Fundação Cargill, 1989. 41p. (Fundação Cargill. Série Técnica, 3).

CERETTA, C. A. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia/milho, no sistema plantio direto. In: FRIES, M.R.; DALMOLIN, R.S.D. (Coord.). **Curso de atualização em recomendação e calagem: ênfase em plantio direto**. Santa Maria: UFSM, 1997. p.112-124.

COSTA, E. C.; LINK, D.; MAFFINI, P. R. Insetos de solos associados a cultura do milho. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE INSETOS DE SOLO, 3., 1991, Chapecó, SC.

**Resumos...** Chapecó: IAPAR, 1991. p.7.

CRUZ, I. **A lagarta-do-cartucho na cultura do milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1995. 45p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica,21).

CRUZ, J. C. **Effect of crop rotation and tillage systems on some soil properties, root distribution and crop production**. 1982. 220f. Tese (Doutorado) – Purdue University, West Lafayette.

DERPSCH, R. Agricultura sustentável. In: SATURNINO, H. M.; LANDERS, J.N. (Ed.). **O meio ambiente e o plantio direto**. Goiânia: APDC, 1997. Cap. 2, p.29-48.

\_\_\_\_\_. **Rotação de culturas: plantio direto e convencional**. São Paulo: Ciba-Geigy, 1986. Não paginado.

\_\_\_\_\_; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn: GTZ, 1991. 272p. (Sonderpublikation der GTZ, 245).

DIJKSTRA, F. **Porque utilizo o plantio direto**. São Paulo: BASF, 1984. 34p.

FERREIRA, S.M. Extensão rural e assistência técnica no sistema plantio direto na Região dos Cerrados. In: SEMINÁRIO SOBRE O SISTEMA DE PLANTIO DIRETO NA UFV, 1., 1998, Viçosa, MG. **Resumo das palestras...** Viçosa: UFV - Departamento de Fitotecnia, 1998. p.107-115.

FIORIN, J.E.; CAMPOS, B.C. de. Rotação de culturas. In: CAMPOS, B.H.C. de (Coord.). **A cultura do milho no plantio direto**. Cruz Alta, RS: FUNDACEP-FECOTRIGO, 1998. Cap.2, p.7-14.

\_\_\_\_\_; CANAL, I. N.; CAMPOS, B.H.C. de. Fertilidade do solo. In: CAMPOS, B.H.C. de (Coord.). **A cultura do milho no plantio direto**. Cruz Alta, RS: FUNDACEP-FECOTRIGO, 1998a. Cap.3, p.15-54.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; PETRERE, C. Fertilidade do solo. In: SILVA, M.T.B. da (Coord.). **A soja em rotação de culturas no plantio direto**. Cruz Alta, RS: FUNDACEP-FECOTRIGO, 1998b. Cap.2, p.35-96.

FRUTOS DA TERRA. São Paulo: Monsanto, v.4, n.14, 2000.

- GASSEN, D. N. **Insetos subterrâneos prejudiciais às culturas no sul de Brasil**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1989. 49p. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 13).
- GENTIL, L. V.; GONÇALVES, A.L.D.; SILVA, K.B. da. **Comparação econômica operacional e agrônômica entre o plantio direto e o convencional, no cerrado brasileiro**. Brasília: UnB, 1993. 21p.
- GUERRA, M. S.; LOECK, A. E.; RÜDIGER, W. H. Levantamento das pragas de solo da região tritícola do Rio Grande do Sul. **Divulgação Agrônômica**, São Paulo, n.40, p.1-5, 1976.
- KAMPRATH, E.J.; CASSEL, D.K.; GROSS, H.D.; DIBB, D.W. Tillage effects on biomass production and moisture utilization by soybeans on coastal plain soils. **Agronomy Journal**, Madison, v.71, n.6, p.1001-1005, Nov./Dec. 1979.
- LAL, R. No-tillage effects on soil properties and maize (*Zea mays L.*) production in Western Nigeria. **Plant and Soil**, The Hague, v.40, p.321-331, 1974.
- \_\_\_\_\_. No-tillage effects on soil properties under different crops in Western Nigeria. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.40, p.762-768, 1976.
- MUZILLI, O. O plantio direto no Brasil. In: FANCELLI, A.L.; TORRADO, P.V. (Coord.). **Atualização em plantio direto**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. Cap. 1, p.3-16.
- NAZARENO, N.R.X. de. Ocorrência e manejo de doenças. In: DAROLT, M.R. **Plantio direto: pequena propriedade sustentável**. Londrina: IAPAR, 1998. Cap.8, p.173-190.
- PEREIRA, M. H. O sistema de plantio direto na palha: 25 anos da sua adoção no Brasil. In: SEMINÁRIO SOBRE O SISTEMA DE PLANTIO DIRETO NA UFV, 1., 1998, Viçosa, MG. **Resumo das palestras...** Viçosa: UFV - Departamento de Fitotecnia, 1998. p.1-6.
- PHILLIPS, R.E. Soil moisture. In: \_\_\_\_\_; THOMAS, G.W.; BLEVINS, R.L. **Notillage research: research reports and reviews**. Lexington: University of Kentucky, [197-]. p.23-42.
- PÖTTKER, D.; BEN J.R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, n.4, p.675-684, out./dez. 1998.
- PRIMAVESI, O. **Fatores limitantes da produtividade agrícola e plantio direto**. São Paulo: BASF, 1985. 56p.
- PURÍSSIMO, C. Experiências do manejo de plantas daninhas no Sul/Sudeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 21., 1997, Caxambu, MG. **Palestras e mesas redondas...** Viçosa: SBCPD, 1997. p.33-35.
- ROOS, L. C. Impacto econômico da integração agricultura-pecuária em plantio direto. In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 4., 1999, Uberlândia, MG. **Plantio direto na integração lavoura-pecuária**. Uberlândia: UFU, 2000. p.25-29.
- RUEDELL, J. A soja numa agricultura sustentável. In: SILVA, M.T.B. da (Coord.). **A soja em rotação de culturas no plantio direto**. Cruz Alta, RS: FUNDACEP-FECOTRIGO, 1998. Cap.1, p.1-34.
- SÁ, J. C. de M. **Manejo de nitrogênio na cultura de milho no sistema plantio direto**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1996. 24 p.
- \_\_\_\_\_. Reciclagem de nutrientes dos resíduos culturais e estratégia de fertilização para produção de grãos no sistema plantio direto. In: SEMINÁRIO SOBRE O SISTEMA DE PLANTIO DIRETO NA UFV, 1., 1998, Viçosa, MG. **Resumo das palestras...** Viçosa: UFV - Departamento de Fitotecnia, 1998. p.19-61.
- \_\_\_\_\_; PETRERE, C. Desenvolvimento radicular da cultura de milho em solos sob plantio direto da Região dos Campos Gerais e do planalto Gaúcho. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1995, Castro, PR. **Anais...** Castro: Fundação ABC, 1996. p.173-205.
- SATURNINO, H. M.; LANDERS, J. N. Plantio direto e transferência de tecnológica nos trópicos e subtropicais. In: \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_ (Ed.). **O meio ambiente e o plantio direto**. Goiânia: APDC, 1997. Cap.2, p.89-112.
- SCHLINDWEIN, J.A.; ANGHINONI, I. Variabilidade horizontal de atributos de fertilidade e amostragem do solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.1, p.85-91, jan./mar. 2000.
- SIDIRAS, N.; DERPSCH, R.; MONDARDO, A. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo na variação da umidade e rendimento da soja em Latossolo Roxo distrófico (oxisol). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.1, p.103-106, jan./abr. 1983.
- SOUZA, I. F.; REZENDE, A. M. Controle de plantas daninhas em soja e plantio direto. In: EPAMIG. **Soja: proteína também para o mercado interno**. Belo Horizonte, 1982. (EPAMIG. Informe Técnico, 94).
- TANCK, B.C.B.; SANTOS, H.R.; DIONÍSIO, J.A. Influência de diferentes sistemas de uso e manejo do solo sobre a flutuação populacional do Oligochaeta edáfico *Amyntas* spp. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.2, p.409-415, abr./jun. 2000.
- TÉCNICOS e agricultores discutem os rumos do PD no terceiro milênio. **A Granja**, Porto Alegre, v.56, n.619, p.64-65, 2000.
- TORMENA, C.A. Resíduos culturais: efeitos no controle da erosão e alterações em propriedades físicas do solo. In: CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 1995, Castro, PR. **Anais...** Castro: Fundação ABC, 1996. p.37-51.
- VIANA, P.A.; WAQUIL, J.M.; SANTOS, J.P. dos; CRUZ, I.; OLIVEIRA, M.A. de. Levantamento de pragas subterrâneas da cultura do milho no estado do Paraná. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. **Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo 1988-1991**. Sete Lagoas, 1992. v.5, p. 58-59.
- VIÉGAS, G.P.; PEETEN, H. Sistemas de produção. In: PATERNIANI, E.; VIÉGAS, G. P. (Ed.). **Melhoramento e produção de milho**. 2.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.453-538.
- VIEIRA, M.J. Comportamento físico do solo em plantio direto. In: FANCELLI, A. L.; TORRADO, P.V. (Coord.). **Atualização em plantio direto**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. Cap. 8, p.163-179.
- \_\_\_\_\_. Propriedades físicas do solo. In: IAPAR. **Plantio direto no estado do Paraná**. Londrina, 1981. p.19-32. (IAPAR. Circular, 23).
- VOSS, M.; SIDIRAS, N. Nodulação da soja em plantio direto em comparação com plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.7, p.775-782, jul. 1985.
- WAQUIL, J.M.; VIANA, P.A.; CRUZ, I.; SANTOS, J.P. Levantamento de pragas subterrâneas e sua importância na redução da população de plantas de milho - II. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE INSETOS DE SOLO, 3., 1991, Chapecó, SC. **Resumos...** Chapecó: IAPAR, 1991. p.28.