

Diretrizes do sistema plantio direto no contexto da agricultura conservacionista

Imagem: Fátima De Marchi



José Eloir Denardin¹
Rainoldo Alberto Kochhann²
Antonio Faganello³
Anderson Santi⁴
Norimar D'Ávila Denardin⁵
Sírio Wiethölter⁶

1. Introdução

O agronegócio brasileiro vem sendo reconhecido como atividade moderna, próspera, rentável, competitiva e de magnitude que evidencia o país como potência agrícola mundial. Em 2010, foi creditado a essa atividade 33% do Produto Interno Bruto - PIB, 42% do volume das exportações brasileiras e 37% do total de empregos no país. Na atualidade, o Brasil lidera a produção e exportação de produtos agropecuários, sendo o primeiro produtor e exportador de café, açúcar, álcool e sucos de frutas, e lidera o ranking das exportações de soja (*Glycine max* (L.) Merrill), carnes bovina e de frango, tabaco (*Nicotiana tabacum* L.), couro e calçados de couro. Projeções indicam que o país também será, em curto prazo, o principal polo mundial de produção de algodão e biocombustível. Especificamente em referência às exportações de etanol, em curto e longo prazo, o Brasil figura, potencialmente, como o principal exportador.

¹ Eng. Agr. Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Pesquisador da Embrapa Trigo, Rodovia BR 285, km 294, Caixa Postal 451, 99001-970 Passo Fundo, RS, Brasil. E-mail: jose.denardin@embrapa.br

² Eng. Agr. Ph.D. em Fertilidade do Solo, Pesquisador aposentado da Embrapa Trigo, Rodovia BR 285, km 294, Caixa Postal 451, 99001-970 Passo Fundo, RS. E-mail: rainoldoak@gmail.com

³ Eng. Mec. Mestre em Engenharia Agrícola, Pesquisador da Embrapa Trigo, Rodovia BR 285, km 294, Caixa Postal 451, 99001-970 Passo Fundo, RS, Brasil. E-mail: antonio.faganello@embrapa.br

⁴ Eng. Agr. Mestre em Agronomia, Pesquisador da Embrapa Trigo, Rodovia BR 285, km 294, Caixa Postal 451, 99001-970 Passo Fundo, RS, Brasil. E-mail: anderson.santi@embrapa.br

⁵ Bióloga, Doutora em Microbiologia do Solo, Professora da Universidade de Passo Fundo, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Campus I, BR 285, Bairro São José, 99052-900 Passo Fundo, RS. E-mail: norimar@upf.br

⁶ Eng. Agr. Ph.D. em Fertilidade do Solo, Pesquisador da Embrapa Trigo, Rodovia BR 285, km 294, Caixa Postal 451, 99001-970 Passo Fundo, RS, Brasil. E-mail: sirio.wietholter@embrapa.br

Esse status atingido pelo agronegócio brasileiro, sem dúvida, em considerável proporção pode ser creditado à expressiva adoção do sistema plantio direto no país, que viabilizou duas safras de grãos por ano agrícola e instituiu, técnica e economicamente, a integração lavoura-pecuária na região tropical.

A disponibilidade de aproximadamente 388 milhões de hectares adequados à atividade agropecuária, dos quais 90 milhões ainda não foram explorados, aliada às condições climáticas favoráveis, à abundância de água, ao avanço tecnológico e ao empreendedorismo dos produtores rurais, tem impulsionado o crescimento do agronegócio, transformando-o em uma das principais alavancas propulsoras da economia brasileira. As diversas cadeias produtivas que integram esse setor vêm proporcionando suporte à estabilização da economia nacional, sobretudo em razão da relevante contribuição nos recorrentes saldos positivos da balança comercial. Esses fatores notabilizam o país como ambiente de vocação natural para a agropecuária e para os negócios relacionados às cadeias produtivas de pertinência, destacando o agronegócio como a principal locomotiva da economia brasileira, responsável por um em cada três reais gerados.

Esses dados indicam que a participação brasileira no agronegócio mundial continuará a crescer e que o país será o maior produtor mundial de alimentos na próxima década. Contudo, a expansão desse setor, associada à decorrente mudança de utilização da terra, tem levado a agricultura brasileira a contribuir para a emissão de gases de efeito estufa (gás carbônico - CO₂; gás metano - CH₄; e óxido nitroso - N₂O).

Dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, em Projeções do Agronegócio 2009/10 a 2019/20, evidenciam que soja, carne de frango, etanol, algodão, óleo de soja e celulose constituem indicadores potenciais de ampliação da produção brasileira, em atenção às expressivas demandas interna e externa. Nesse contexto, a produção conjunta dos principais grãos – soja, milho (*Zea mays* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.), arroz (*Oryza sativa* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) –, na safra agrícola de 2019/2020, deverá atingir 233,1 milhões de toneladas, com crescimento de 87,1 milhões de toneladas, ou seja, incremento de 60% em relação à safra agrícola 2009/2010. É estimado que esse crescimento será essencialmente resultante do aumento de produtividade, em detrimento da expansão da área cultivada. Em decorrência, na safra agrícola 2019/2020, a atual área cultivada, que é da ordem de 60 milhões de hectares, será acrescida de apenas 10 milhões de hectares.

Esse cenário, do ponto de vista produtivo e da produção da riqueza nacional, é extremamente positivo, pois o Brasil necessita continuar estimulando o desenvolvimento, a partir da produção crescente de produtos agropecuários, objetivando gerar divisas com exportações e, sobretudo, atender às demandas da população brasileira. Por outro lado, a questão ambiental, associada à redução da taxa de emissão de gases de efeito estufa, também é necessidade fundamental ao desenvolvimento do Brasil, o que estabelece novos imperativos para os produtores rurais e o governo. Será necessário enfrentar os desafios de estimular o crescimento e reduzir a taxa de emissão de gases de efeito estufa. Para tanto, a agricultura brasileira dispõe de tecnologias redutoras ou mitigadoras da taxa de emissão desses gases e que podem ser implementadas pelos produtores rurais nos processos de exploração agropecuária. Nesse contexto, a adoção do “sistema plantio direto”, coerentemente com os preceitos do conservacionismo, da conservação do solo e da agricultura conservacionista, assume destaque, por viabilizar relações entre o homem e os elementos da biosfera ou os recursos naturais, das quais emerge sustentabilidade, isto é, benefícios de natureza econômica, social e ambiental, tanto para a atual, como para as futuras gerações.

O “sistema plantio direto” é um dos complexos tecnológicos que compõe os compromissos voluntários assumidos pelo Brasil na COP-15 (15ª Conferência das Partes da Convenção do Clima das Nações Unidas), realizada em dezembro de 2009, em Copenhague, e que preveem a redução das emissões de gases de efeito estufa projetada para 2020, entre 36,1% e 38,9%. Esses valores projetam reduções da ordem de um bilhão de toneladas de CO₂

equivalente. Os compromissos assumidos foram ratificados na Política Nacional sobre Mudanças do Clima (Lei nº 12.187/09) e regulamentados pelo Decreto nº 7390/10. Para efeito dessa regulamentação, no caso específico da agricultura, foi estabelecido o “Plano Setorial para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura”, o que se convencionou chamar de “Plano ABC - Agricultura de Baixa Emissão de Carbono”.

Nesse plano, estão previstas diversas ações de capacitação de técnicos e produtores rurais, variadas estratégias de pesquisa, transferência de tecnologia e fortalecimento da assistência técnica e extensão rural, incentivos econômicos e, entre outras, linhas de crédito rural.

Desse modo, a contribuição do “sistema plantio direto” na mitigação de gases de efeito estufa se dará pela expansão de sua área de adoção em 8 milhões de hectares até 2020. As outras tecnologias previstas nesse plano, com as respectivas metas, são: Recuperação de Pastagens Degradadas (adoção em 15 milhões de hectares); Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (aumentar a adoção em 4 milhões de hectares); Fixação Biológica de Nitrogênio (aumentar a adoção em 5,5 milhões de hectares); Florestas Plantadas (ampliar a área plantada em 3 milhões de hectares); e Tratamento de Dejetos Animais (aumentar o volume tratado em 4,4 milhões de metros cúbicos).

Os objetivos deste material didático são de conceituar e fundamentar o “sistema plantio direto”, contextualizando-o no âmbito do conservacionismo, da conservação do solo e da agricultura conservacionista, expondo seus efeitos sobre a fertilidade do solo e apresentando requisitos para sua implementação, alicerçados na estruturação e manejo de modelos de produção diversificados, em rotação, sucessão e/ou consorciação de culturas, e na especificação de máquinas e implementos agrícolas apropriados.

2. Conceitos e fundamentos inerentes ao manejo conservacionista do solo

2.1. Por que conceituar fundamentos em manejo conservacionista do solo

A importância de se estabelecer conceitos quando se aborda um determinado tema ou estudo, com ênfase para aquele voltado ao ensino e à capacitação, é das mais destacadas, pois conceito diz respeito à primeira operação mental. Conceituar algo constitui o primeiro passo indispensável para entendê-lo.

Os mestres, os livros e muitos outros materiais didáticos se mostram eficientes, e, por conseguinte, claros e inteligíveis, se conceituarem suficientemente o objeto alvo. Conceitos nada mais são do que a reunião dos elementos constitutivos do juízo e, finalmente, do raciocínio. Conceitos fazem parte do dia-a-dia, tanto da vida pessoal, quanto da vida profissional. Portanto, antes da abordagem de cunho aplicativo ou prático e de julgamento do objeto alvo, é primordial e prudente atribuir-lhe valor e significado.

O entendimento do significado de palavras e de termos desconhecidos, principalmente de natureza técnica, aplicados a algo sem a devida relação etimológica, indiscutivelmente requer minuciosa e detalhada conceituação.

Nas ciências, a terminologia técnica universal, normalmente é formada por palavras etimologicamente associadas ao fato que representam.

Exemplos de palavras ou termos técnicos que guardam significado etimológico

- etimologia (*étimo + logo + ia*): corresponde ao estudo da origem e da formação das palavras;
- cardiologia (*cárdio + logo + ia*): corresponde ao estudo do coração;
- cardiologista (*cárdio + logo + ista*): corresponde ao profissional especializado nos tratamentos relativos ao coração;
- quimioterapia (*químio + terapia*): corresponde à terapia ou ao tratamento de certas doenças por meio de compostos químicos;
- fitopatologia (*fito + pato + logo + ia*): corresponde ao estudo das doenças das plantas;
- mineralogia (*mineral + logo + ia*): corresponde ao estudo dos minerais;
- pedologia (*pedo + logo + ia*): corresponde ao estudo do solo;
- pedólogo (*pedo + logo*): corresponde ao profissional especializado em solo; etc.

Na ciência do solo, entretanto, há inúmeros casos em que se emprega um vocábulo ou uma expressão a fatos sem a correspondente relação entre o significado da palavra ou das palavras que o compõe e a respectiva expressão do fato.

Exemplos de expressões ou vocábulos técnicos que não guardam significado etimológico

- Capacidade de campo do solo: o que um estudante, em seu primeiro contato com a ciência do solo, entenderia por “capacidade de campo do solo”, na ausência do conceito que atribui a essa expressão significado diverso daquele determinado pela etimologia das palavras que a compõe? Capacidade de campo do solo corresponde ao potencial de água no solo ideal para o desenvolvimento das plantas.
- Preparo convencional do solo: o que um leigo entenderia por “preparo convencional do solo”, sem a

manifestação de seu conceito, que empresta a esta expressão sentido diferente daquele expresso pelo significado das palavras que o descreve? Preparo convencional do solo corresponde ao preparo do solo efetuado por uma aração seguida por uma ou mais gradagens.

- Perfil e horizonte de solo: como um novato em ciência do solo interpretaria a afirmativa de que “o perfil de solo possui horizontes”, se na percepção do significado das palavras é o horizonte que possui perfil?
- Plantio Direto ou Semeadura Direta: No caso do presente estudo, o que é possível inferir às expressões “plantio direto” e “semeadura direta” e, inclusive, às expressões “plantio direto na palha”, “sistema plantio direto” e “sistema plantio direto na palha”, sem o estabelecimento e a exposição de conceito ou atribuição de significado a cada uma destas expressões? As expressões “plantio direto” ou “semeadura direta” se originaram de uma inadequada tradução, do inglês para o português, das expressões *no tillage*, *no-till* e *zero tillage*. A correta tradução dessas expressões para a língua portuguesa seria “sem amanhã”, visto que, a palavra *tillage*, em inglês, significa “amanhã” em português, ou seja, preparo do solo para a semeadura.

Esses casos são exemplos típicos de terminologia em que o significado técnico da expressão ou do vocábulo só é compreensível quando acompanhado de conceito que empresta valor às palavras que o compõe.

A assimilação de conceitos propicia a geração de novas ideias, subsidia e facilita a projeção e a comunicação de estruturas mais complexas, colabora para a avaliação e a interpretação de diagnósticos abrangentes e auxilia o processo de aprendizagem, integrando conhecimentos novos e antigos. Conceituar é valorizar e considerar o conhecimento prévio ou consolidado como base, e mecanismo para a evolução do aprendizado e de sua aplicação. O aprendizado significativo ou fundamentado necessariamente envolve a assimilação de conceitos. Entender, interpretar e julgar conceitos é dotar o aprendiz de poder para inovar as “receitas” ou os processos dos quais o objeto alvo é constituído.

2.2. Ecossistema e agroecossistema

Ecossistema designa o conjunto formado por todos os fatores bióticos (animais, vegetais e microrganismos) e abióticos (ar, água, luz, calor, solo, minerais etc.) que atuam simultaneamente em um determinado meio. Ecossistema é entendido como comunidade de organismos que interagem entre si e com o meio ao qual pertencem, organizados em produtores, decompositores e compositores. Ecossistema pode ser interpretado como o conjunto de relações mútuas entre fauna (animais), flora (vegetais) e microrganismos em interação com fatores geológicos, atmosféricos e meteorológicos.

Do ponto de vista da termodinâmica, ecossistema é um sistema aberto, com fluxos de entrada e saída de energia e matéria, constituindo ciclos naturais em equilíbrio dinâmico e em permanente relacionamento com os sistemas do entorno.

Equilíbrio dinâmico, no rigor científico, não é equilíbrio pleno. Pode-se afirmar que é apenas um estado de estabilidade da matéria e não da energia, pois a energia dissipada para a estabilização da matéria é perdida e não mais recuperada. De outro modo, equilíbrio dinâmico, em sistemas termodinamicamente abertos, é a estabilidade atingida pela matéria quando as trocas de matéria e energia se mantêm constantes ao fim de um determinado período ou ciclo. No equilíbrio dinâmico a taxa de ganhos de matéria é igual à taxa de perdas de matéria, e as reações se caracterizam pela reversibilidade. Para toda reação, que em um determinado sentido causa desequilíbrio, há outra reação em sentido contrário que resgata o equilíbrio. No momento em que qualquer reação deixar de ser reversível, o equilíbrio dinâmico se desfaz.

Interferência humana em um determinado ecossistema, com a finalidade de explorá-lo mediante a implantação de sistemas agrícolas produtivos, resulta na alteração da dinâmica dos fluxos de matéria e de energia, na desarticulação da sincronia dos ciclos naturais e no rompimento do equilíbrio dinâmico existente, transformando-o em agroecossistema. Agroecossistema, portanto, pode ser conceituado de modo similar a ecossistema, sendo entendido como o conjunto de relações mútuas entre fauna (animais), flora (vegetais) e microrganismos em interação com fatores geológicos, atmosféricos e meteorológicos, porém acrescido do fator antrópico.

O fator antrópico, presente ativamente no agroecossistema, indistintamente é o promotor da quebra de sincronia dos ciclos naturais e da interrupção do equilíbrio dinâmico anteriormente perceptíveis no ecossistema. Os agroecossistemas, convencionalmente representados por áreas agricultadas ou pelo sistema agrícola produtivo, são ecossistemas transformados por interferência humana, em permanente e estreita relação com os sistemas das interfaces. Portanto, o prefixo “agro” do termo “agroecossistema” representa interferência antrópica ou manifesta a existência de relacionamento entre o homem e os elementos da biosfera ou recursos naturais no âmbito das áreas agricultadas.

Exemplos de equilíbrio dinâmico

A osmose, um fenômeno físico correspondente à passagem de fluídos através de uma membrana semipermeável, é um exemplo clássico de equilíbrio dinâmico. No processo osmótico, o fluído se desloca para um ou para outro lado da membrana semipermeável, buscando, permanentemente equilibrar a concentração hídrica em ambos os lados. Nesse processo se estabelece um balanço entre forças opostas em contínua alteração e reposição. Contudo, a energia dispensada para a busca permanente desse equilíbrio é perdida e não mais recuperada.

Em uma floresta natural, em seu estado de clímax, as taxas de absorção e de liberação de nutrientes pelos seres vivos nela presentes se equivalem, de modo que ao fim de um determinado tempo, não há qualquer alteração mensurável na concentração de nutrientes no sistema. É fácil imaginar que nessa floresta, a todo instante há algum nutriente sendo absorvido por algum ser vivo, e, em contra partida, há algum material orgânico em decomposição, repondo este nutriente no sistema. Essas ações de sentidos contrários promovem, simultaneamente, desequilíbrio e reequilíbrio. Do ponto de vista holístico, pode-se afirmar que “equilíbrio dinâmico” é “desequilíbrio ciclicamente em harmonia ou em sincronia”.

É conhecido que grande porção dos solos sob a floresta amazônica é altamente intemperizado e de baixíssima fertilidade química. A essa constatação pergunta-se: Como é possível um solo tão pobre manter uma floresta tão exuberante? A resposta a esse questionamento reside no conceito de equilíbrio dinâmico em que a exuberância da floresta amazônica não se deve à fertilidade química do solo, mas à fertilidade do sistema no qual ela está inserida. O teor de nutrientes no solo, que é um dos indicadores de fertilidade química, apontam que esta porção de solo é de baixíssima fertilidade, porém os nutrientes não se encontram exclusivamente no solo analisado. Os nutrientes se fazem presentes no solo, mas também na massa vegetativa da floresta, em uma permanente ciclagem ou reciclagem, sem perda de matéria, isto é, em equilíbrio dinâmico. Essa percepção é evidenciada quando ocorre o desmatamento, com substituição da floresta por outra vegetação de menor massa vegetativa, como, por exemplo, uma pastagem. A pastagem, sem a devida compensação das retiradas processadas pelos animais, altera a sincronia da ciclagem ou reciclagem anteriormente existente e, conseqüentemente quebra o equilíbrio dinâmico do sistema, levando-o à degradação.

As interferências promovidas pelo homem na transformação de ecossistemas em agroecossistema são classificadas em:

- de natureza energética - mão de obra, combustível, mecanização agrícola, mobilização de solo etc.; e
- de natureza material - substituição das espécies vegetais e animais, alteração do material orgânico produzido, adição de agroquímicos, retiradas de fitomassa por meio de colheitas etc.

Dependendo da intensidade e do modo como essas interferências são processadas, elas poderão resultar na conservação ou na degradação do agroecossistema e inclusive nos sistemas do entorno.

Dentre a variedade e intensidade de interferências passíveis de serem realizadas pelo homem na transformação de ecossistemas em agroecossistemas, mediante a implementação de sistemas agrícolas produtivos, se destacam quatro, quais sejam:

- mobilização de solo;
- diversidade e arranjo espaço-temporal das espécies introduzidas;
- quantidade e qualidade do material orgânico aportado ao solo e frequência desse aporte; e
- quantidade e qualidade dos agroquímicos aplicados ao solo e frequência dessa aplicação.

Esses quatro tipos de interferência são considerados os desencadeadores primordiais da série de alterações que ocorrem no equilíbrio dinâmico do ecossistema ao ser transformado em agroecossistema. Todas essas intervenções atuam diretamente sobre a biologia do solo, modificando, em maior ou menor grau, sua atividade.

O efeito decorrente em maior evidência é a alteração da taxa de decomposição do material orgânico adicionado ao solo e da própria matéria orgânica presente no solo. A alteração da atividade biológica do solo interfere no ciclo do carbono o qual modifica a quantidade e a qualidade da matéria orgânica resultante no solo. Como consequência, a estrutura do solo e, por extensão, a relação partícula/poro do solo são transformadas, com efeitos diretos sobre as seguintes propriedades do solo:

- armazenamento e disponibilidade de água às plantas;
- armazenamento e difusão de calor;
- fluxo de ar ou de gases;
- permeabilidade ao ar e à água e resistência à penetração de raízes;
- reação do solo - pH; e
- disponibilidade de nutrientes.

Do exposto, denota-se que as intervenções de origem antrópica, ao transformar ecossistema e agroecossistema, são avaliadas como processos de conservação ou de degradação do ciclo hidrológico e, fundamentalmente da fertilidade do solo, ou seja, da fertilidade biológica, física e química do solo.

2.3. Sistema agrícola produtivo e modelo de produção

Com o intuito de destacar a relevância do papel reservado à biodiversidade na produção de carbono orgânico e, conseqüentemente na atividade biológica do solo, estruturação do solo e manutenção e/ou construção da fertilidade do solo, no contexto de uma agricultura tendente à sustentabilidade, é imprescindível conceituar sistema agrícola produtivo e diferenciá-lo de modelo de produção.

Sistema agrícola produtivo é entendido como a interação entre os fatores clima, planta e solo, em que o fator clima participa com o potencial energético, o fator planta com o potencial genético e o fator solo com o potencial fertilidade (Figura 1). Assim, a produtividade agrícola, isto é, a quantidade de produto gerado por unidade de área, é o resultado da interação entre os fatores que compõem o sistema agrícola produtivo, de modo que não tem sentido referir-se, isoladamente, à produtividade do clima, à produtividade da planta ou à produtividade do solo,

visto que não há geração de produto na ausência de qualquer um desses fatores ou sem a interação entre eles.

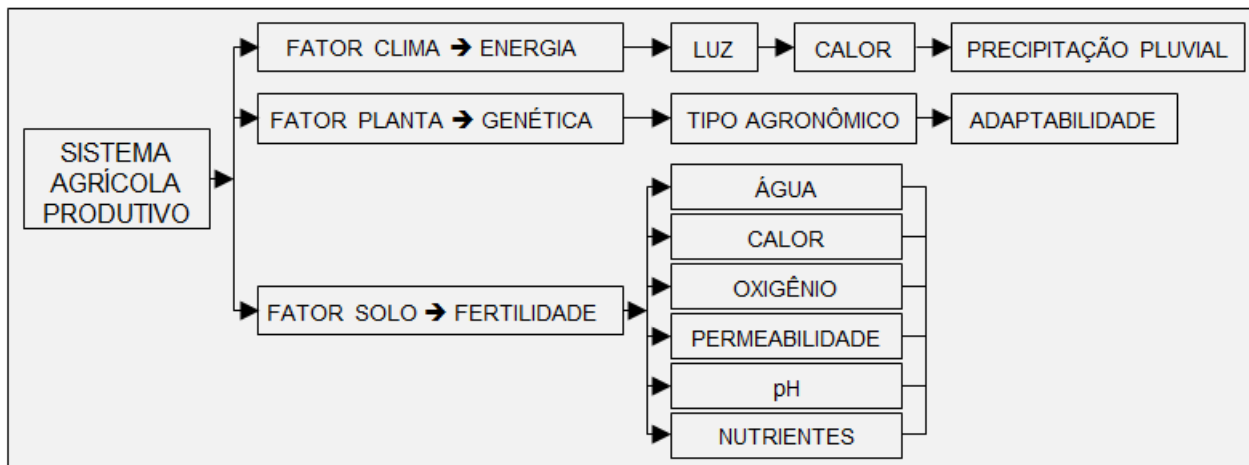


Figura 1. Estrutura conceitual de sistema agrícola produtivo.

A interação desses fatores determina que a produtividade do sistema agrícola não pode ser maior do que aquela potencializada pelo fator mais limitante, sendo essa condição denominada de “lei dos fatores limitantes”. Exemplificando: nenhuma interferência no fator clima ou no fator planta, com vistas a aumentar a produtividade do sistema agrícola produtivo surtirá efeito se o fator solo encontrar-se no limite de sua potencialidade. Desse modo, é possível inferir que o manejo de um sistema agrícola produtivo nada mais é do que a exploração das potencialidades dos fatores de produção que o compõem.

Modelo de produção, por sua vez, compreende o arranjo espaço-temporal das espécies vegetais e/ou animais que compõem os sistemas agrícolas produtivos.

Na Figura 2, percebe-se que o modelo de produção de um sistema agrícola produtivo é que determina a quantidade e a qualidade do material orgânico aportado ao solo, bem como a frequência com que esse aporte ocorre. O modelo de produção interfere na taxa de decomposição do material orgânico aportado ao solo e, conseqüentemente, na quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo gerada no sistema agrícola produtivo. Portanto, são as espécies, vegetais e animais, componentes dos modelos de produção, que determinam a intensidade da atividade biológica do solo. A atividade biológica é que define a qualidade da estrutura do solo. E é a estrutura do solo que rege o nível de fertilidade do solo. De outro modo, o modelo de produção interfere nas propriedades do solo que conferem fertilidade ao solo, a qual é expressa, não apenas pela disponibilidade de nutrientes e reação do solo, mas pela interação das seguintes propriedades:

- armazenamento e disponibilidade de água às plantas;
- armazenamento e difusão de calor;
- fluxo de ar ou de gases;
- permeabilidade;
- reação do solo - pH; e
- disponibilidade de nutrientes.

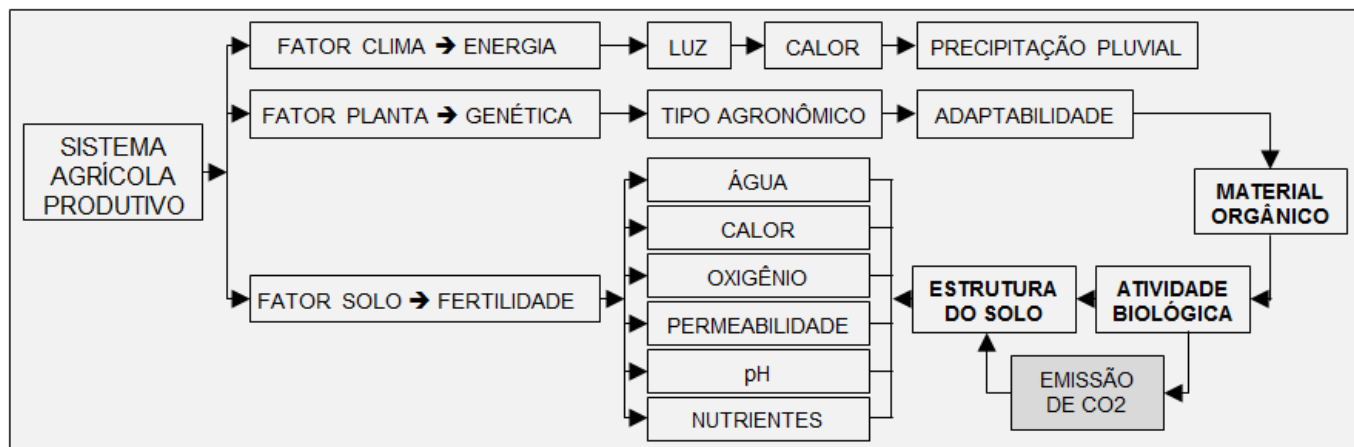


Figura 2. Ciclo do fator planta, enquanto componente do sistema agrícola produtivo, como fonte de ativação da biologia do solo na estruturação do solo e na manutenção e/ou construção de solo biológica, física e quimicamente fértil.

Do exposto na Figura 2, percebe-se que a manutenção e/ou a construção da fertilidade do solo é condicionada pela quantidade, qualidade e frequência do material orgânico produzido e aportado ao solo pelas plantas que compõem o modelo de produção adotado no sistema agrícola produtivo. A estrutura do solo emerge da atividade biológica ao decompor o material orgânico aportado ao solo pelas espécies cultivadas.

Para as regiões subtropical e tropical do Brasil, são requeridos cerca de 8.000 a 12.000 kg/ha de matéria seca por ano agrícola para atender a demanda da atividade biológica do solo na manutenção e/ou construção de solo biológica, física e quimicamente fértil. A fertilidade de solos manejados sob “sistema plantio direto” sem interrupções ao longo do tempo, indubitavelmente está alicerçada nessas relações mútuas entre material orgânico e microrganismos, explícitas no âmbito do sistema agrícola produtivo, que invariavelmente imitam os ciclos naturais percebidos nos ecossistemas. São esses processos articulados e complementares que justificam a diversificação de espécies, vegetais e animais, estruturadas em modelos de produção agrícolas, pastoris, silvícolas, agropastoris, agrossilvícolas, agrossilvipastoris e silvipastoris, em rotação, sucessão e/ou consorciação de culturas, a chave-mestre para o sucesso do “sistema plantio direto”.

Demonstração de como a estrutura do solo atua como fator de fertilidade do solo

Exemplo 1:

1. Colocar um tijolo, ou seja, um bloco de barro moldado e cozido, em estufa a 105 °C, por 24 horas.

Observação: nesse procedimento, o tijolo perderá a água nele retida.

2. Preparar uma solução nutritiva para plantas, devidamente balanceada em termos de pH e de macro e micronutrientes.

3. Emergir o tijolo seco em estufa na solução nutritiva. Observação: nesse procedimento o tijolo será embebido pela solução nutritiva.

4. Recolocar o tijolo na estufa a 105 °C, por 24 horas. Observação: nesse procedimento o tijolo perderá a água nele retida, mas os macro e micronutrientes que se encontravam na solução nutritiva permanecerão adsorvidos ao tijolo.

5. Triturar o tijolo e peneirar o material triturado em malha de 2 mm.

6. Submeter uma amostra do material triturado à análise de fertilidade química do solo.

7. Interpretar o resultado da análise de fertilidade química do solo realizada.

A análise de fertilidade química demonstrará que a amostra representa um solo fértil, pois os valores dos atributos avaliados encontram-se na faixa de suficiência. Contudo, a amostra analisada representa apenas um tijolo triturado que fora embebido em uma solução nutritiva. Embora o tijolo contenha atributos químicos na faixa de suficiência, e o laudo da análise indique que se trata de um solo fértil, é evidente que as plantas não encontrariam, no tijolo, propriedades físicas adequadas para se desenvolverem. A experiência, portanto, demonstra que a fertilidade de um solo não se resume aos aspectos de natureza química. As propriedades físicas do solo também são fatores integrantes da fertilidade do solo.

Exemplo 2:

1. Tomar, entre as mãos, uma porção de solo úmido, com cerca de 0,5 kg, representativa da camada de 0 a 20 cm de profundidade de uma área agricultada.

2. Coletar uma pequena amostra dessa porção de solo, medir o pH em água e anotar o valor obtido.

3. A seguir apertar ou pressionar a porção de solo úmido entre as mãos, ao nível máximo possível. Esse procedimento compactará o solo, ou seja, alterará drasticamente a estrutura da porção de solo.

4. Colocar a porção de solo compactada em um saco plástico, fechar o saco hermeticamente para evitar perda de água, e reservá-la, por 48 horas, em temperatura ambiente.

5. Após esse período, abrir o saco plástico, de imediato coletar uma pequena amostra dessa porção de solo, medir o pH em água e anotar o valor obtido.

6. Interpretar os valores de pH obtidos.

O valor de pH obtido na segunda leitura é igual, inferior ou superior ao da primeira leitura? O valor de pH na segunda leitura é inferior ao da primeira leitura. A causa reside no fato de que a compactação da porção de solo alterou a estrutura do solo e as propriedades físicas do solo, aumentando a relação partícula/poro e reduzindo a permeabilidade do solo ao ar. Por essa razão, a troca gasosa do gás carbônico gerado pela respiração dos microrganismos no interior da porção de solo compactado pelo oxigênio presente na atmosfera diminuiu, concentrando gás carbônico no interior do solo. Como o gás carbônico apresenta caráter ácido, o solo, após a compactação, apresenta maior acidez, ou seja, menor valor de pH. Assim, a experiência demonstra que, com base na premissa de que a alteração do pH do solo modifica a disponibilidade de nutrientes no solo, a simples alteração da estrutura do solo, além de afetar as propriedades físicas do solo, também afeta o complexo químico do solo.

2.4. Conservacionismo

Conservacionismo é a gestão da utilização dos elementos da biosfera ou dos recursos naturais, de modo a produzir benefícios à população humana, mantendo suas potencialidades necessárias às gerações futuras. O conservacionismo compreende ações de preservação, manutenção e restauração ou recuperação dos elementos da biosfera ou dos recursos naturais, sob as seguintes conceituações:

- Preservação compreende o resguardo de recursos naturais que não admitem interferências de natureza antrópica. Preservação refere-se a ações direcionadas à defesa de ecossistemas que não devem sofrer qualquer intervenção ou alteração pelo homem, seja direta, pela exploração de seus componentes, seja indireta, pelo impacto resultante da exploração de sistemas do entorno. Áreas de Preservação Permanente (APP), por exemplo, são ecossistemas que devem ser preservados ou resguardados,

mediante o impedimento da exploração de seus componentes e a prevenção de impactos decorrentes da exploração de sistemas vizinhos.

- Manutenção compreende a utilização de recursos naturais, mediante correção e ajuste de suas deficiências, sem reduzir suas potencialidades originais. Manutenção refere-se a ações orientadas à exploração de recursos naturais, por meio de interferências de natureza antrópica que alteram suas peculiaridades e corrigem suas deficiências, sem comprometer suas potencialidades naturais. Sistemas agrícolas produtivos, por exemplo, são agroecossistemas, sob a exploração humana, submetidos a variados níveis de interferência, porém sem danos à potencialidade original dos recursos naturais que o compõem.
- Restauração ou recuperação compreende a reabilitação de recursos naturais a exercerem suas funções originais, suprimindo-se primeiramente os fatores que concorrem para sua degradação. Restauração ou recuperação refere-se a ações direcionadas à restituição das funções primitivas de recursos naturais anteriormente degradados por interferência antrópica. A taxa de emissão de gases de efeito estufa, em agroecossistemas explorados em monocultura com intensa mobilização de solo, por exemplo, pode ser restaurada ou recuperada mediante a supressão dos fatores que a estão promovendo, e a implantação de ações que reduzem a intensidade de mobilização do solo e elevam e diversificam a adição de material orgânico ao solo.

2.5. Solo

O solo, sob enfoque elementar, é conceituado como um corpo componente da paisagem natural, representado por um elemento volumétrico e constituído por uma matriz de sólidos que abriga líquidos, gases e organismos vivos, compondo um complexo sistema biológico-físico-químico dotado de características e de propriedades resultantes dos efeitos do clima, do relevo, do tempo e da atividade biológica atuantes sobre o material de origem - processos pedogenéticos -, bem como da ação antrópica.

Solo, sob o enfoque funcional, constitui o meio natural onde se desenvolvem as plantas, atuando como elemento de suporte e de disponibilização de água e nutrientes. Entretanto, sob o enfoque funcional e do ponto de vista de sistema agrícola produtivo, o solo é um fator componente e determinante da produtividade desse sistema, em razão de limitações de sua fertilidade.

Sob essas abordagens, solo é recurso natural renovável, patrimônio da coletividade, essencial à vida e à soberania da nação, independente de sua utilização e posse. Contudo, na escala de tempo do ser humano, o solo deve ser tratado como recurso natural não renovável, tendo em vista que taxas de erosão induzidas pela atividade antrópica podem superar em muito as taxas de erosão natural, de renovação e de reposição de solo.

A utilização do solo, portanto interfere nos demais recursos naturais ou elementos da biosfera, na produção agrícola, na segurança alimentar, na saúde humana, na emergência de ambiência, enfim, no desenvolvimento econômico, social e ambiental de uma nação.

2.6. Conservação do solo

Conservação do solo é a ciência que estuda, desenvolve e apregoa ações de preservação, manutenção e restauração ou recuperação das propriedades biológicas, físicas e químicas do solo, mediante o estabelecimento de critérios para sua ocupação e utilização, sem comprometer suas potencialidades originais ou primitivas.

2.7. Agricultura conservacionista

Agricultura conservacionista é a arte de cultivar a terra, em conformidade com o conceito de conservacionismo e os fundamentos da ciência da conservação do solo. Agricultura conservacionista é entendida como a agricultura conduzida sob a proteção de um complexo de tecnologias de caráter sistêmico, objetivando preservar, manter e restaurar ou recuperar os elementos da biosfera ou recursos naturais, mediante o manejo integrado do solo, da água e da biodiversidade, devidamente compatibilizados com o uso de insumos externos. Agricultura conservacionista compreende um conjunto de práticas agrícolas ou de preceitos que minimiza alterações na estrutura, composição e biodiversidade do solo.

Apesar da elevada variabilidade da composição e dos regimes de gestão dos agroecossistemas, todas as formas de se praticar agricultura conservacionista compartilham de três preceitos fundamentais:

- redução ou supressão de mobilização de solo;
- manutenção de resíduos culturais na superfície do solo; e
- diversificação de espécies, em rotação, consorciação e/ou sucessão de culturas.

Em determinadas condições de solo, clima e espécies componentes de sistemas agrícolas produtivos, a agricultura conservacionista requer um conjunto mais amplo e mais rigoroso de práticas ou de preceitos conservacionistas, como:

- erradicação da queima de restos culturais;
- redução ou supressão de mobilização de solo;
- manutenção de resíduos culturais na superfície do solo;
- diversificação de espécies, em rotação, consorciação e/ou sucessão de culturas;
- promoção de cobertura permanente de solo, seja com plantas vivas, seja com plantas mortas ou resíduos culturais e, se necessário, pelo cultivo de adubos verdes ou de plantas de cobertura;
- manejo integrado de pragas (insetos praga, doenças e plantas daninhas);
- controle de tráfego mecânico, animal e humano sobre o solo agrícola; e
- aplicação precisa de insumos agrícolas.

Para as condições de clima subtropical e tropical, esse conjunto de preceitos, condicionado pelo conservacionismo, estudado, desenvolvido e apregoadado pela conservação do solo e preconizado pela agricultura conservacionista é ainda mais amplo e rigoroso, compreendendo:

- obediência à aptidão agrícola das terras - preservação de ecossistemas sensíveis, como áreas de preservação permanente (margens de mananciais hídricos - nascentes, córregos, rios, lagos e reservatórios), áreas de topo de montanhas e de morros, áreas de encostas acentuadas, restingas, mangues, reservas legais etc.;

- respeito à capacidade de utilização do solo - textura, profundidade, relevo, pedregosidade e drenagem do solo, suscetibilidade à erosão, disponibilidade de água e de nutrientes para as plantas etc.;
- erradicação da queima de restos culturais;
- redução ou supressão de mobilização de solo;
- manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo;
- diversificação de espécies, em rotação, consorciação e/ou sucessão de culturas;
- diversificação de sistemas de produção - agrícolas, pastoris, silvícolas, agropastoris, agrosilvícolas, agrossilvipastoris ou silvipastoris;
- adição de material orgânico ao solo, em quantidade, qualidade e frequência compatíveis com a demanda biológica do sistema solo;
- promoção de cobertura permanente de solo, seja com plantas vivas, seja com plantas mortas ou resíduos culturais e, se necessário, pelo cultivo de adubos verdes ou de plantas de cobertura;
- redução ou supressão do intervalo de tempo entre colheita e semeadura - processo colher-semear;
- manejo integrado de pragas - insetos praga, doenças e plantas daninhas;
- controle de tráfego mecânico, animal e humano sobre o solo agrícola;
- aplicação precisa de insumos agrícolas - época de aplicação e dose específicas, com espacialização na área alvo e posicionamento no perfil do solo;
- implantação de práticas mecânicas e/ou hidráulicas, para manejo de enxurrada e controle de erosão, como semeadura em contorno, terraços em nível, terraços em desnível com canais escoadouros revestidos, canais divergentes revestidos, culturas em faixas, vertical-mulching, cordões vegetados, taipas ou barreiras de pedra, quebra-vento, adequação de estradas etc...

Esse conjunto de preceitos, preconizado pela agricultura conservacionista, constitui a base de sustentação da atividade agrícola, conservando o solo, a água, o ar e a biota dos agroecossistemas, prevenindo poluição, contaminação e degradação dos ecossistemas e demais sistemas do entorno, reduzindo o uso de combustíveis fósseis e amenizando a taxa de emissão de gases de efeito estufa. Portanto, a agricultura conservacionista é percebida como agricultura eficaz na utilização dos elementos da biosfera ou dos recursos naturais. Por essa razão, a agricultura conservacionista é contemplada como mecanismo de transformação, organização ou reorganização de agroecossistemas e de promoção de sustentabilidade agrícola, tendo por objetivo gerar competitividade para o agronegócio, atender às necessidades socioeconômicas, garantir segurança e qualidade alimentar e preservar o ambiente.

2.8. Plantio direto e sistema plantio direto

2.8.1. Plantio direto

O termo “plantio direto” ou “semeadura direta” expressa simplesmente o ato de depositar no solo sementes, plantas ou partes de plantas na ausência de mobilização de solo por aração ou escarificação e gradagem, e manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo. Esse termo é fiel ao conceito dos termos *zero-tillage*, *no-tillage*, ou *no-till* (sem preparo de solo ou sem amanho do solo) oriundos da Inglaterra e dos EUA, de onde essa técnica foi introduzida em 1969, sob o enfoque de simples método alternativo de preparo reduzido de solo.

O termo “plantio direto na palha” contempla o mesmo conceito de “plantio direto”, ressaltando a necessidade de manutenção dos resíduos de planta da cultura antecessora na superfície do solo. Esse aspecto, entretanto, não assegura diversificação de espécies ou de modelos de produção, cobertura permanente de solo e nem aporte de material orgânico ao solo em quantidade, qualidade e frequência requeridas pela demanda biológica do solo. Portanto, “plantio direto”, “semeadura direta” e “plantio direto na palha” englobam apenas dois preceitos da agricultura conservacionista: redução ou supressão da mobilização intensa de solo e manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo (Figura 3).

Para as condições de solo e clima das regiões subtropical e tropical do Brasil, esses preceitos são insuficientes para promoverem conservacionismo em agroecossistemas e, por consequência, em ecossistemas do entorno. Nessas regiões é necessário discernimento para eleger um conjunto de preceitos preconizados pela agricultura conservacionista mais abrangente e mais eficaz do que simplesmente o abandono da mobilização de solo e a manutenção de resíduos culturais na superfície do solo (Figura 3).

2.8.2. Sistema plantio direto

“Sistema plantio direto” é um termo genuinamente brasileiro. Surgiu, em meados dos anos 1980, em consequência da percepção de que a viabilidade do “plantio direto”, de modo contínuo e ininterrupto, nas regiões subtropical e tropical, requeria um conjunto de tecnologias ou de preceitos da agricultura conservacionista mais amplo do que simplesmente a redução ou supressão da mobilização do solo e a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo. O “plantio direto” necessitava ser entendido e praticado como “sistema de manejo” e não como simples prática ou método alternativo de preparo reduzido do solo.

Nesse contexto, o termo “sistema plantio direto” passou a ser consensualmente conceituado como um complexo de preceitos da agricultura conservacionista destinado à exploração de sistemas agrícolas produtivos, compreendendo mobilização de solo apenas na linha ou cova de semeadura ou de plantio, manutenção de resíduos culturais na superfície do solo e diversificação de espécies estruturada em modelos de produção agrícola ou agropastoril, via rotação, sucessão e/ou consorciação de culturas. No início dos anos 2000, esse conceito foi ampliado, passando a incorporar o preceito colher-semear, que representa a redução ou supressão do intervalo de tempo entre uma colheita e a semeadura subsequente.

O processo colher-semear constitui prática relevante na ampliação da biodiversidade, na diversificação de modelos de produção e, conseqüentemente no aumento do número de safras por ano agrícola, mantendo cobertura permanente de solo e aportando ao solo material orgânico em quantidade, qualidade e frequência compatíveis com a demanda biológica do solo. Esse preceito pode ser avaliado como primordial, tanto na manutenção, quanto na restauração ou recuperação da fertilidade do solo.

O termo “sistema plantio direto na palha” abriga o mesmo conceito de “sistema plantio direto”, apenas enfatizando a presença obrigatória de palha na superfície do solo, condição esta já implícita na palavra “sistema”. O termo “sistema plantio direto” engloba “plantio direto”, “semeadura direta”, “plantio direto na palha” e “sistema plantio direto na palha”. Assim, enquanto “plantio direto” atende a apenas dois preceitos da agricultura conservacionista (redução ou supressão da mobilização intensa de solo e manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo), “sistema plantio direto”, em razão da palavra “sistema”, atende a, pelo menos, seis preceitos da agricultura conservacionista, quais sejam (Figura 3):

- mobilização de solo apenas na linha ou cova de semeadura ou de plantio;
- manutenção de resíduos culturais na superfície do solo;

- ampliação da biodiversidade, mediante diversificação de espécies estruturadas em modelos de produção agrícola, pastoril, silvícola, agropastoril, agrossilvícola, agrossilvipastoril ou silvipastoril, em rotação, sucessão e/ou consorciação de culturas;
- redução ou supressão do intervalo de tempo entre colheita e semeadura (processo colher-semear);
- manutenção da cobertura permanente do solo; e
- aporte de material orgânico ao solo em quantidade, qualidade e frequência compatíveis com a demanda biológica do solo.

“Plantio direto” é, portanto, apenas um processo componente do “sistema plantio direto”, pois “sistema plantio direto” apregoa reduzir ou suprimir mobilizações intensas de solo, manter os resíduos culturais na superfície do solo, ampliar a biodiversidade mediante diversificação de espécies estruturadas em variados modelos de produção em rotação, sucessão e/ou consorciação de culturas, implementar o processo colher-semear, manter o solo permanentemente coberto e aportar ao solo material orgânico em quantidade, qualidade e frequência compatíveis com a demanda biológica do solo. Contudo, “sistema plantio direto”, contextualizado no âmbito da agricultura conservacionista, requer discernimento para a implementação de práticas mecânicas ou hidráulicas para controle da erosão hídrica, uso de insumos de forma precisa, controle de tráfego mecânico, animal e humano sobre o solo agrícola e, entre outras, adoção do manejo integrado de pragas.

O “sistema plantio direto” é, assim, uma estratégia de exploração de sistemas agrícolas produtivos que contempla o mais amplo complexo de processos tecnológicos preconizados pela agricultura conservacionista. Portanto, é relevante destacar que agricultura conservacionista não é sinônimo de “sistema plantio direto”, pois este contempla apenas parte dos preceitos da agricultura conservacionista.

Do exposto, é notório e evidente que esse abrangente complexo de benefícios atribuído ao “sistema plantio direto” não é passível de ser creditado ao “plantio direto”, dada a ampla diferença que apresentam em relação à amplitude de preceitos da agricultura conservacionista que contemplam.

Preceitos da Agricultura Conservacionista	Agrupamento de Preceitos da Agricultura Conservacionista
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Preservação de ecossistemas frágeis - margens de nascentes, córregos, rios, lagos e reservatórios; topos de montanhas e morros; encostas acentuadas; restingas; mangues; reservas legais... 	} Aptidão Agrícola das Terras
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Respeito às limitações do solo - textura, profundidade, relevo, drenagem, pedregosidade, drenagem, suscetibilidade à erosão, disponibilidade de água e nutrientes... 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aração e/ou gradagem do solo ▪ Incorporação ao solo de resíduos de cultura 	} Preparo Convencional do Solo
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Escarificação do solo ▪ Semi-incorporação de resíduos de cultura 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mobilização de solo apenas na linha ou cova de semeadura ou de plantio ▪ Manutenção de resíduos de cultura na superfície do solo 	} Plantio Direto ou Semeadura Direta
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mobilização de solo apenas na linha ou cova de semeadura ou de plantio ▪ Manutenção de resíduos de cultura na superfície do solo ▪ Diversificação de espécies, em rotação, sucessão e/ou consórcio de culturas, estruturada em sistemas de produção agrícola, pastoril, silvícola, agropastoril, agrosilvícola, agrossilvipastoril ou silvipastoril ▪ Promoção de cobertura permanente do solo ▪ Implantação do processo colher-semear ▪ Adição de material orgânico ao solo em quantidade, qualidade e frequência compatíveis com a demanda biológica do solo 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Semeadura em contorno ▪ Culturas em faixas ▪ Terraço ▪ Canal escoadouro ▪ Canal divergente ▪ Cordão vegetado ▪ Taipa de pedra ▪ Mulching vertical ▪ Quebra-vento ▪ Estrada rural... 	} Obras Mecânica ou Hidráulica
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Manejo de insetos praga ▪ Manejo de doenças ▪ Manejo de plantas daninhas 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Uso suficiente e exato de insumos agrícolas ▪ Manejo de tráfego mecânico, animal e humano sobre o solo agrícola 	} Agricultura de Precisão

Figura 3. Preceitos da agricultura conservacionista.

3. Conceito, manutenção e restauração ou recuperação da fertilidade do solo em “sistema plantio direto”

3.1. Resgate do conceito de fertilidade do solo

A busca por aumento de produtividade, alicerçada no conceito de fertilidade do solo expresso exclusivamente por atributos de natureza química e pelo uso intensivo de corretivos e de fertilizantes minerais, nitidamente está perdendo força e sendo substituída pela implementação das diretrizes da agricultura conservacionista, cenário em que o resgate do enfoque amplo do conceito de fertilidade do solo, expresso a partir do primeiro século depois de Cristo e reduzido ao longo do século IX, assume relevância. A otimização de sistemas agrícolas produtivos, embasada em gestões incompatíveis com a promoção da fertilidade biológica, física e química do solo e descomprometida com a busca pelo equilíbrio dinâmico do agroecossistema e de seu entorno, mostra-se dessincronizada ante a expectativa de alcance de uma agricultura tendente à sustentabilidade. Nesse contexto, o resgate da base conceitual de fertilidade do solo, na qual biologia e propriedades físicas do solo e prevenção de perdas de qualquer ordem, seja por erosão, lixiviação, volatilização e eluviação, desempenham papéis preponderantes, constitui referencial para a gestão conservacionista de sistemas agrícolas produtivos.

A fertilidade do solo, antes da era cristã, era considerada nutrimento dado pelo solo às plantas. Nutrimento era relacionado ao revolvimento do solo, ao pousio das terras cultivadas, à diversificação de culturas e à adubação do solo com dejetos. Em 42 d.C., a fertilidade passou a ser interpretada como resultante da integração das faces biológica, física e química do solo, sendo entendida como capacidade contínua e renovável do solo, garantida pelo cultivo da terra com técnicas apropriadas, como adubação e diversificação de culturas. Naquela época, afirmava-se: "O agricultor deve cultivar plantas em benefício da terra, pois os legumes a enriquecem". Essa percepção de fertilidade do solo serviu de base para os povos tirarem da terra seu sustento por cerca de 1.700 anos. A partir do século XVIII, despontou a teoria humista, na qual se acreditava que o húmus era o alimento das plantas. Segundo essa teoria, que perdurou até o início do século XIX, a fertilidade do solo dependia, exclusivamente, do teor de húmus do solo e era avaliada pela cor do solo. Em 1804, surgiu a noção atual de fertilidade do solo, expressa pelo princípio da restituição, demonstrando que o alimento das plantas não era o húmus e sim os sais solúveis contidos nele. Esse princípio contempla duas enunciações: a fertilidade do solo depende da disponibilidade de elementos solúveis no solo; e a fertilidade do solo pode ser regenerada pela adição ao solo desses elementos ou de substâncias capazes de liberá-los na forma solúvel, para restituir o que as colheitas exportam. Porém, foi em 1842 que essas duas enunciações foram consolidadas em postulados de extraordinária importância científica para o estabelecimento da teoria mineralista. A teoria mineralista reduziu o conceito de fertilidade à capacidade do solo de fornecer nutrientes às plantas, em quantidade e proporção adequadas, e de prevenir a presença de elementos tóxicos para o seu desenvolvimento.

Como, na época, mobilização intensa de solo e diversificação de culturas eram práticas rotineiras, as faces biológica e física da fertilidade do solo deixaram de ser enfatizadas, passando-se a tratar a fertilidade do solo enfaticamente sob o ponto de vista químico. Assim, os estudos voltaram-se para a identificação e a quantificação dos elementos nutritivos das plantas, que se tornaram indicadores da fertilidade do solo, transformando a noção de que "a fertilidade é o efeito da riqueza do solo em elementos minerais solúveis" em meta da pesquisa agrônoma. Com base nessa teoria, a ciência da fertilidade do solo evoluiu e consolidou seu conceito atual que é restritivo às propriedades químicas do solo, pois as mobilizações de solo, processadas safra após safra, com arações, subsolagens, escarificações, gradagens etc., ao padronizarem ou homogeneizarem fisicamente o solo da camada arável, induziram a percepção de que a ação da biologia do solo na estruturação e/ou condicionamento

do solo para o desenvolvimento das plantas se tornara dispensável.

Na atualidade, cerca de 40 anos após a adoção do plantio direto, é notória a necessidade de reintegrar, ao conceito vigente de fertilidade do solo, aspectos relativos à biologia e à física do solo, que por mais de 200 anos tiveram seus efeitos obscurecidos pelas recorrentes mobilizações de solo e pela predominância da prática de monocultivos.

A fertilidade do solo, subsidiada pelos fundamentos do conservacionismo, da conservação do solo e da agricultura conservacionista, requer abrangência maior do que a habitual, expressa apenas pela reação do solo (pH), disponibilidade de nutrientes às plantas e nível de matéria orgânica (figuras 1 e 2). As propriedades físicas do solo, armazenamento e disponibilidade de água, armazenamento e difusão de calor, fluxo de oxigênio, permeabilidade do solo ao ar e à água e resistência mecânica do solo à penetração de raízes constituem elementos indissociáveis da fertilidade do solo.

Mobilização intensa e sucessiva da camada arável do solo, ao elevar a atividade biológica e acelerar a decomposição ou oxidação da matéria orgânica e fracionar e desarranjar os agregados do solo, embora padronize ou homogeneíze fisicamente o solo da camada arável, altera a estrutura do solo, tornando os agregados menores e menos estáveis. Esses processos de redução de diâmetro, de desordem e de desestabilização de agregados na camada arável, sem o devido aporte de material orgânico ao solo, promovem progressiva redução e descontinuidade dos poros do solo e elevação da densidade do solo, com reflexos negativos diretos na permeabilidade do solo ao ar e à água e na resistência mecânica do solo à penetração de raízes. A camada superficial do solo torna-se vulnerável à formação de crostas, que resultam em redução da taxa de infiltração de água no solo, em aumento da enxurrada e da erosão hídrica, e, até mesmo, em obstáculo à emergência de plântulas. A camada subsuperficial do solo, em decorrência de processos físico-químicos, torna-se densa e/ou compactada, contribuindo para a redução da quantidade de água disponível às plantas e para a redução dos fluxos descendente e ascendente de água no perfil, fatos que restringem o desenvolvimento radicular das plantas e, inclusive, antecipam déficits hídricos às plantas em curtos períodos sem chuva. Em consequência desse complexo de ações e reações integradas, o pH do solo tende à acidez, alterando a disponibilidade de nutrientes para as plantas e tornando o solo menos fértil.

As propriedades físicas do solo, em sistemas agrícolas produtivos submetidos a esse nível de mobilização de solo, são modificadas, padronizadas ou homogeneizadas a cada safra agrícola, pela ação dos implementos de preparo de solo. Em razão da recorrência dessas alterações, nesses sistemas as propriedades físicas do solo são desconsideradas como fatores indicadores do nível de fertilidade do solo. Ao contrário, sob “sistema plantio direto”, as propriedades físicas do solo deixam de ser recorrentemente modificadas pelos implementos agrícolas e tornam-se dependentes do tipo de estrutura do solo que é mantida e/ou desenvolvida ao longo das safras agrícolas. Como o tipo de estrutura do solo é, em grande proporção, produto da ação biológica do solo, em resposta à gestão e ao tipo de sistema agrícola produtivo e de modelo de produção adotados, e determinante das propriedades físicas do solo, que interferem nos atributos químicos do solo, a acepção do termo “fertilidade do solo” assume a interação das faces biológica, física e química e não mais simplesmente à expressão de indicadores pertinentes à teoria mineralista ou a aspectos de natureza química.

Em áreas sob “sistema plantio direto”, onde a mobilização intensa de solo deixa de ser realizada em cada safra agrícola, são a atividade biológica e as propriedades físicas do solo, expressas pela estrutura do solo, que determinam o condicionamento do solo para a semeadura e o desenvolvimento das espécies cultivadas. Sob esse ponto de vista, a estrutura do solo é amplamente dependente da quantidade, da qualidade e da frequência de adição de material orgânico ao solo. O material orgânico ativa a biologia do solo no processo de decomposição,

tanto do material orgânico adicionado como da própria matéria orgânica presente no solo; o processo de decomposição determina o tipo de estrutura a ser assumida pelo solo e, em consequência, define as propriedades físicas de solo ao longo do tempo; e a estrutura e as propriedades físicas do solo condicionam o desenvolvimento das raízes das plantas para extraírem da solução do solo os nutrientes requeridos. Portanto, a simples avaliação do nível de nutrientes no solo, tradicionalmente processada mediante análise química de amostras de solo, não necessariamente expressa o real estado de fertilidade de um solo manejado sob “sistema plantio direto”. O solo poderá apresentar os parâmetros químicos nos níveis adequados, porém não deter estrutura ou propriedades físicas apropriadas para o desenvolvimento satisfatório do sistema radicular das plantas e suficiente absorção dos nutrientes requeridos.

Nas regiões subtropical e tropical do Brasil, a quantidade de material orgânico requerida pela biologia de solos cultivados sob “sistema plantio direto”, para mantê-los com estrutura adequada ao estabelecimento e desenvolvimento das plantas, oscila entre 8.000 e 12.000 kg/ha por ano. Essa quantidade deve ser provida pelos restos culturais das espécies econômicas cultivadas ou pelo cultivo de plantas de cobertura de solo ou adubos verdes. A relação palha:grão das principais espécies cultivadas é inferior à unidade, ou seja, a massa de resíduos culturais é inferior a massa de grãos produzida por unidade de área. A cultura de soja, por exemplo, ao produzir 3.600 kg/ha de grãos, seguramente não gera 3.600 kg/ha de resíduo cultural. Da mesma forma, a cultura de milho, ao produzir 8.000 kg/ha de grãos, não gera 8.000 kg/ha de palha. Portanto, nenhuma dessas espécies, cultivada em monocultivo e com esse nível de produtividade, satisfaz a quantidade de material orgânico requerido pela biologia do solo para promover e manter a estrutura do solo como fator condicionante da fertilidade do solo.

A qualidade de material orgânico aportado ao solo está na dependência de sua relação carbono:nitrogênio (C:N). Quando a relação C:N do material orgânico se aproxima da relação C:N idealmente requerida pelos microrganismos componentes da biologia do solo, que é da ordem de 30:1, sob condição igualmente ideal de umidade e aeração para a vida dos microrganismos, a taxa de decomposição é máxima, resultando na rápida transformação do material orgânico adicionado ao solo em CO₂. De outro modo, quanto mais a relação C:N se aproximar de 30:1, menor será o potencial de sequestro de carbono pelo solo e, conseqüentemente, maior será a taxa potencial de emissão de gases de efeito estufa. Além do aspecto relativo à emissão de gases de efeito estufa, a biologia do solo, ao decompor material orgânico de baixa relação C:N, não promove e nem estabiliza eficientemente os agregados e a estrutura do solo. Exemplificando: sistemas agrícolas produtivos que contemplem modelos de produção estruturados por espécies de baixa relação C:N, como soja, canola (*Brassica napus* L.), nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), ervilhaca (*Vicia sativa*) e outras leguminosas, requerem elevada quantidade e/ou frequência de aporte de material orgânico ao solo para promoverem estrutura de solo condicionadora de solo fértil. A opção, portanto é estabelecer diversificação de espécies, em rotação, sucessão e/ou consorciação de culturas, que promova elevada relação C:N.

A frequência de aporte de material orgânico ao solo está associada à relação C:N do material orgânico, às condições de clima (umidade e temperatura), à intensidade de mobilização de solo (incorporação e semi-incorporação de material orgânico ao solo ou manutenção do material orgânico na superfície do solo) e à quantidade de material orgânico aportado ao solo. Todos esses fatores interferem diretamente na atividade biológica do solo, ou seja, na taxa de decomposição do material orgânico.

Um método simples para verificar se a frequência de aporte de material orgânico ao solo, proporcionada por um determinado modelo de produção, está adequada, é observar, ao fim do ciclo de uma cultura, se ainda há, na superfície do solo, presença de resíduos culturais da espécie anteriormente cultivada. Nesse momento, a detecção da presença de material orgânico ainda não decomposto indica que a frequência de aporte de material orgânico ao solo está sendo adequada, pois antes de findar a decomposição do material orgânico aportado pela

safras anteriores, uma nova adição de material orgânico está sendo processada.

Em referência a avaliação da ocorrência ou não de sequestro de carbono ou de mitigação dos gases de efeito estufa, proporcionada por uma determinada espécie vegetal, um método expedito de avaliação é comparar o período correspondente ao ciclo completo da cultura com o período correspondente à decomposição plena de seus restos culturais mantidos na superfície do solo. Se o período de decomposição do material orgânico da cultura for inferior ao de seu ciclo de vida, significa que essa espécie, sob o manejo considerado, não apresenta potencial para sequestrar carbono e nem para mitigar a taxa de emissão de gases de efeito estufa. Portanto, modelos de produção que geram material orgânico em quantidade e qualidade aquém da demandada biológica do solo, não constituem práticas conservacionistas promotoras de fertilidade do solo e nem mitigadoras de gases de efeito estufa.

Sob esse enfoque, é evidente que às características estruturais das plantas - raiz e palha - está reservada a quantidade e a qualidade de carbono orgânico produzido, fatores estes responsáveis pela intensidade da atividade biológica do solo, pela qualidade estrutural do solo e, conseqüentemente, pela definição do padrão de fertilidade do solo. A integração do trinômio biologia, física e química do solo, para a promoção da fertilidade do solo, está indissociavelmente vinculada ao modelo de produção estabelecido, que, por sua vez, é dependente das características estruturais e comportamentais das espécies que o compõe. Em adição, esse trinômio está na dependência também de interferências sinérgicas que equipamentos agrícolas de manejo de solo promovem, fundamentalmente, em referência ao aprofundamento do sistema radicular das plantas cultivadas.

Portanto, o resgate do conceito de fertilidade do solo suscita preocupações relativas ao enfoque da gestão conservacionista de sistemas agrícolas produtivos e à mitigação da taxa de emissão de gases de efeito estufa, em que o pousio das terras ao longo da safra de inverno, amplamente praticado no Brasil, necessita ser extinto e substituído por modelos de produção diversificados e associados à mecanização agrícola, para viabilizar aprofundamento de raízes e, conseqüentemente, promover e estabilizar a estrutura do solo. Esse novo enfoque enfatiza um repensar de que o resgate do conceito de fertilidade do solo passe a emergir de fatores intrínsecos do solo e de características estruturais e comportamentais da diversidade de espécies presentes, que qualificam a intervenção antrópica substanciada na preservação, manutenção e restauração ou recuperação dos elementos da biosfera ou dos recursos naturais.

3.2. Componentes da fertilidade do solo

O nível de fertilidade do solo, ao contemplar aspectos biológicos, físicos e químicos, é regido, fundamentalmente, pela estrutura do solo. A estrutura do solo governa os atributos determinantes da capacidade de armazenamento e de disponibilidade de água, da capacidade de armazenamento e de difusão de calor, da difusão de oxigênio, da permeabilidade ao ar e à água, da resistência à penetração de raízes, do nível de acidez e da disponibilidade de nutrientes (figuras 1 e 2).

A estrutura do solo é conceituada como a relação entre o volume realmente ocupado pelas partículas do solo e o volume aparente do solo, variando com as dimensões dos poros existentes entre as partículas. De outro modo, estrutura do solo é o arranjo espacial das partículas que o compõe, decorrente de processos pedogenéticos, dos quais a ação biológica assume relevância, e/ou de ações antrópicas relativas ao manejo. Sob o enfoque de sistema agrícola produtivo, a estrutura do solo resgata o conceito amplo de fertilidade do solo, não o limitando exclusivamente a aspectos químicos, genericamente considerados como reação do solo (pH) e teor de nutrientes.

A agregação e a estabilidade dos agregados do solo, que determinam o tipo e a qualidade da estrutura do solo,

são diretamente dependentes da quantidade e da qualidade da matéria orgânica do solo. A matéria orgânica interage com minerais do solo, formando complexos organominerais que resultam na formação de partículas secundárias de diversos tamanhos e formas. Em decorrência de a quantidade e a qualidade da matéria orgânica do solo ser resultante da quantidade, da qualidade e da frequência de aporte de material orgânico ao solo, infere-se que as espécies vegetais integrantes dos modelos de produção constituem o fator primordial responsável pelo desenvolvimento da fertilidade do solo. Portanto, o carbono orgânico aportado ao solo, oriundo da fitomassa da parte aérea e das raízes das plantas, de mucilagens e de exsudatos radiculares e da biomassa microbiana do solo, potencializa essa interação, formando e estabilizando agregados. A formação de agregados, por sua vez, diminui a ação dos microrganismos decompositores, contribuindo para o acúmulo de compostos orgânicos no solo, de sequestro de carbono e, em decorrência, de mitigação da taxa de emissão de gases de efeito estufa, principalmente em solos não mobilizados.

A magnitude do fluxo de material orgânico aportado pelo modelo de produção aplicado ao sistema agrícola produtivo, bem como a qualidade da fonte de carbono adicionado, determina a intensidade da atividade biológica no solo, a quantidade e a qualidade de compostos orgânicos secundários derivados e, conseqüentemente, influi nas propriedades do solo emergentes do ciclo do carbono, como nível de matéria orgânica, agregação, porosidade, aeração, infiltração de água, retenção de água, capacidade de troca de cátions, balanço de nitrogênio etc. Em síntese, o modelo de produção aplicado ao sistema agrícola produtivo, que confere qualidade, quantidade e periodicidade ao aporte de carbono ao solo, associado ao modo de manejo dos resíduos culturais, que interfere na taxa de decomposição do material orgânico adicionado, é que, em essência, promove, mantém ou degrada a fertilidade do solo.

3.3. Gestão da fertilidade do solo

O caráter de sustentabilidade que se pretende imprimir aos agroecossistemas, fundamentado no atendimento de necessidades socioeconômicas, na segurança alimentar da humanidade e na preservação dos recursos naturais, está na dependência da obtenção de um novo equilíbrio dinâmico dos fluxos de entrada e de saída de energia e de matéria do sistema e da conseqüente qualidade das relações estabelecidas com os sistemas do entorno. Em decorrência, elementos indicadores de sustentabilidade de um agroecossistema podem ser representados por atributos que expressam o grau de organização e de disciplina dos processos implicados no sistema e da qualidade resultante das relações com os sistemas vizinhos.

Do ponto de vista da fertilidade do solo, relevante indicador do caráter de sustentabilidade de agroecossistemas está associado à dinâmica dos fluxos de adição e de decomposição do material orgânico aportado ao solo pelos modelos de produção, em decorrência da gestão do sistema agrícola produtivo, fundamentada na preservação, manutenção e restauração ou recuperação dos elementos da biosfera ou dos recursos naturais.

Nesse cenário de tomada de decisão em referencia à gestão de um sistema agrícola produtivo, destacam-se os aspectos relativos à diversidade e ao arranjo espaço-temporal das espécies que compõem o modelo de produção, à intensidade de mobilização do solo, à quantidade, à qualidade e ao posicionamento no solo dos agroquímicos empregados, com ênfase para corretivos e fertilizantes, e à prevenção de perdas por erosão, lixiviação, volatilização e eluviação. Enquanto a intensidade de mobilização do solo e a quantidade, qualidade e posição dos agroquímicos no solo estão associadas à taxa de decomposição do material orgânico aportado ao solo, a diversidade e o arranjo espaço-temporal das espécies, determinados pelo modelo de produção adotado, estão associados à quantidade e à qualidade da matéria orgânica resultante no solo.

A taxa de perda de matéria orgânica do solo é altamente influenciada pela mobilização do solo, por mesclar

resíduos culturais e nutrientes na camada revolvida, oxigenar o solo e, conseqüentemente, estimular a ação de microrganismos decompositores. Em um mesmo solo, o preparo convencional pode duplicar a taxa de decomposição do material orgânico aportado ao solo em relação ao “sistema plantio direto”. Sistema agrícola produtivo em que a gestão contempla mobilização intensa de solo, remoção ou queima de resíduos culturais e modelo de produção que envolve espécies de baixa produtividade de resíduos culturais e/ou pousio sazonal, e, conseqüentemente, resulta em baixa produtividade de fitomassa, normalmente gera taxa anual de aporte de material orgânico ao solo inferior a taxa anual potencial de decomposição. Essa condição determina, inclusive, decomposição da matéria orgânica estável do solo, implicando em redução do conteúdo de carbono do solo, desestabilização estrutural do solo e, por conseqüência, degradação da fertilidade do solo.

Fertilização recorrente do solo, exclusivamente em superfície, contribui para concentração de raízes na camada superficial do solo, restringido a ação biológica estruturadora de solo a uma zona restrita de indubitável risco ao pleno desenvolvimento das plantas cultivadas em períodos de baixa disponibilidade hídrica.

Em síntese, os processos implicados na fertilidade do solo, sem dúvida, estão associados à gestão de modelos de produção que promovam maximização do aporte de material orgânico ao solo e minimização de perdas. Nesse sentido, é relevante considerar que, além dos resíduos culturais produzidos pela parte aérea das plantas, há o material orgânico aportado pelas raízes, que, incontestavelmente, assume papel preponderante na construção da fertilidade biológica, física e química do solo. Modelos de produção que contemplam espécies de abundante e agressivo sistema radicular, como gramíneas forrageiras perenes, que alocam maior fração de carbono fotossintetizado para as raízes do que espécies anuais, são mais eficientes em elevar o estoque de matéria orgânica no solo e em induzir fertilidade ao solo. Mobilização profunda de solo restrita à linha de semeadura, com concomitante deposição de corretivos e fertilizantes em profundidade, constitui prática promotora de aprofundamento de raízes e, conseqüentemente, de ampliação da camada de solo fértil.

3.3.1. Ações vegetativas para construção de fertilidade do solo

É inquestionável que o arranjo temporal da diversidade de espécies que devem compor modelos de produção, com o intuito de otimizar sistemas agrícolas produtivos e induzir fertilidade ao solo, é diretriz dependente de mercado e de tecnologia de produto gerada pelo melhoramento genético vegetal, que contemple a exploração das limitações impostas pelo clima e pelo solo. As crescentes demandas geradas pela agricultura não permitem mais a prática do pousio das terras. O melhoramento genético vegetal, além de criar cultivares de espécies comerciais de variados ciclos e com maior flexibilidade de época de cultivo, apresenta potencial para criar cultivares ativas na promoção da fertilidade do solo. A atividade das espécies melhoradas em relação às espécies espontâneas refere-se: à produção de fitomassa; à ciclagem e reciclagem de nutrientes, a partir de formas normalmente indisponíveis; à tolerância à acidez, a elementos tóxicos e à carência ou ao excesso de água; e, entre outras, a estresses bióticos. Assim, a exploração de sistemas agrícolas produtivos, mediante estruturação de modelos de produção que integrem espécies e cultivares melhoradas para tais características e comportamentos, certamente, é protagonista de emergência de fertilidade do solo.

A ampliação da biodiversidade e a diversificação de modelos de produção nas regiões de clima subtropical e tropical do Brasil, visando expandir a adoção do “sistema plantio direto” em oito milhões de hectares, em atendimento aos objetivos do Plano ABC, estão na dependência da adoção de modelos de produção estruturados para produzir grãos, fibras, pastagem e/ou floresta, mediante instituição do processo concatenado e ininterrupto colher-semear. Nesse cenário, a produção de grãos, em oito milhões de hectares na safra agrícola de inverno, não constitui alternativa dependente, exclusivamente, de solução tecnológica, estando diretamente associada à disponibilidade de mercado com logística adequada para recebimento, segregação, armazenamento,

processamento e transporte destes grãos. Por outro lado, na atualidade, os sistemas integrados, agropastoril, agrossilvipastoril e silvipastoril, são percebidos como de maior viabilidade econômica para diversificar e intensificar modelos de produção nessa magnitude de área, em razão da disponibilidade de mercado seguro para carne, leite e madeira, e da carência de pastagem ao longo da safra agrícola de verão, na região de clima subtropical, e da safra agrícola de inverno, na região de clima tropical.

Na região de clima tropical, de modo genérico, a ampliação da biodiversidade e a diversificação de modelos de produção, podem ser promovidas pela implementação da cultura de milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), cultivada para cobertura de solo ou para a integração lavoura-pecuária, em sucessão à cultura de soja. Contudo, em razão do regime pluvial dessa região, caracterizado por rigoroso déficit hídrico nos meses de junho, julho e agosto, esse modelo de produção apresenta limitações, tanto em cobertura de solo quanto em quantidade e qualidade de pastagem ofertada neste período invernal (Tabela 1). Outra opção é a adoção do binômio safra/safrinha, constituído pela sequência de culturas soja/milho, viabilizado pela redução do ciclo destas espécies, em mais de 30 dias, via melhoramento genético ao longo da década de 1990. Essas inovações tecnológicas resultantes da conjugação do melhoramento genético e do “sistema plantio direto” são apontadas como responsáveis por parte do expressivo aumento da produção de grãos do país, sem a correspondente expansão da área cultivada. Embora esse binômio imprima à agricultura tropical maior competitividade econômica, de modo similar à sucessão soja/milheto, apresenta limitada cobertura de solo no período de estabelecimento da safra agrícola de verão subsequente.

A partir dos anos 2000, o binômio soja/milho passou a ser aprimorado mediante o consórcio da cultura de milho safrinha com espécies e cultivares de braquiária (*Brachiaria* spp.), buscando viabilizar a integração lavoura-pecuária com oferta de pastagem e cobertura permanente de solo ao longo do período invernal (Tabela 1).

Esse novo modelo de produção em adoção, denominado de Sistema Santa Fé, singularmente estruturado por sucessão e consorciação de culturas anuais e semiperenes (soja/milho + pastagem), em “sistema plantio direto”, é caracterizado pelo cultivo de três safras agrícolas por ano em uma mesma gleba de terra, com apenas duas operações de semeadura, em razão do consórcio da cultura de milho safrinha com braquiária, implantado imediatamente em sequência à colheita da soja. Destacam-se como vantagens desse modelo de produção: instituição do processo colher-semear, que suprime períodos de entressafra agrícola; manutenção do solo permanentemente coberto com plantas vivas e/ou mortas e/ou restos culturais; adição de material orgânico ao solo, mesmo no período de intenso déficit hídrico, em quantidade acima de o que a biologia do solo potencialmente decompõe anualmente; e economicidade, decorrente da diversidade de exploração que valoriza a integração lavoura-pecuária com oferta de pastagem no período de déficit hídrico. O Sistema Santa Fé, portanto, além da braquiária que constitui opção de destaque entre as espécies cultivadas, com potencial para promover emergência de fertilidade no solo em razão da quantidade e da qualidade de fitomassa que aporta ao solo, assume relevância de cunho econômico, por viabilizar produção animal no período de déficit hídrico, como a terceira safra agrícola anual.

Na região de clima subtropical, de modo similar à região de clima tropical, a ampliação da biodiversidade e a diversificação de modelos de produção, em “sistema plantio direto”, são viabilizadas pelo cultivo de espécies anuais de inverno produtoras de grãos e de pastagens. Contudo, a expansão e a interiorização de indústrias de laticínios e abatedouros tem estimulado a expansão da integração lavoura-pecuária em detrimento à produção de grãos. Nesse sentido, espécies cultivadas, exclusivamente, como promotoras de cobertura de solo ao longo da safra agrícola de inverno são substituídas por espécies de aptidão forrageira. O incremento de área para o cultivo de espécies de inverno produtoras de grãos encontra-se, na atualidade, sensivelmente limitado por questões de mercado e da respectiva logística indispensável para imprimir estabilidade econômica a esse segmento da agricultura.

Tabela 1. Exemplos de modelos de produção, conduzido sob “sistema plantio direto” mediante o processo colher-semear, explicitando o ciclo das espécies componentes ao longo dos anos agrícolas, na região de clima tropical do Brasil.

Gleba	Ano agrícola																																		
	1			2					3					4					5																
	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
1	Soja			Milheto					Soja			Consórcio Milho + Braquiária					Soja			Milheto			Soja			Consórcio Milho + Braquiária									
2	Soja			Consórcio Milho + Braquiária					Soja			Milheto			Soja			Consórcio Milho + Braquiária					Soja			Milheto									
ou																																			
1	Soja			Milho safrinha		Pousio			Soja			Consórcio Milho + Braquiária					Soja			Milho safrinha		Pousio			Soja			Consórcio Milho + Braquiária							
2	Soja			Consórcio Milho + Braquiária					Soja			Milho safrinha		Pousio			Soja			Consórcio Milho + Braquiária					Soja			Milho safrinha		Pousio					
ou																																			
1	Soja			Milho safrinha		Pousio			Soja			Consórcio Milho + Braquiária					Soja			Milheto			Soja			Milho safrinha		Pousio							
2	Soja			Consórcio Milho + Braquiária					Soja			Milheto			Soja			Milho safrinha		Pousio			Soja			Consórcio Milho + Braquiária									
3	Soja			Milheto					Soja			Milho safrinha		Pousio			Soja			Consórcio Milho + Braquiária					Soja			Milheto							

Obs.: Braquiária (*Brachiaria spp*); milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.); milho (*Zea mays* (L.)); e soja (*Glycine max* (L.) Merrill).

No atual nível de disponibilidade de tecnologia para a região subtropical, o processo colher-semear pode ser viabilizado pela ampliação do número de safras agrícolas por ano, principalmente, em decorrência da multissazonalidade e da amplitude do ciclo de híbridos ou variedades de milho, que flexibilizam a estruturação de modelos de produção. Contudo, considerando a ocorrência de chuva em todos os meses do ano e a formação de geada nos meses de inverno, não é possível reproduzir ou adotar literalmente o Sistema Santa Fé, como modelo representativo do processo colher-semear. Nesse contexto, o consórcio milho-braquiária, em um modelo intensivo de produção de grãos e pastagem, com possibilidade de permitir até três safras agrícolas por ano em uma mesma gleba de terra, é plenamente viável mediante produção de grãos de milho no período de setembro a janeiro e de pastagem no período de janeiro a maio, com cultivo de espécies de inverno em sequência (Tabela 2). Em adição, e de modo similar à região de clima tropical, a integração lavoura-pecuária, com ênfase para a pecuária leiteira, denota viabilidade econômica para intensificar e diversificar modelos de produção, pois nessa região, ao mesmo tempo em que há estrutura de mercado para leite, há carência de pastagem no período que transcorre a safra agrícola de verão - em média de novembro a maio -, quando os animais são forrageados com feno e concentrados, que encerram custos sensivelmente mais elevados do que as pastagens.

Do exposto depreende-se que a evolução de modelos de produção, tanto na região de clima tropical como na região de clima subtropical do Brasil, fundamentada no “sistema plantio direto” e no uso de culturas oriundas de programas de melhoramento vegetal orientados à criação de cultivares com flexibilidade para compor novos modelos de produção, e associada à correção de deficiências químicas do solo e à nutrição equilibrada das plantas, segundo princípios da agricultura de precisão, possivelmente, esteja tornando a agricultura brasileira na mais moderna e eficiente agricultura conservacionista praticada no mundo. Percebe-se, portanto, que é a interação entre modelos de produção diversificados e “sistema plantio direto” que otimiza o sistema agrícola produtivo e imprime caráter de sustentabilidade ao agroecossistema.

3.3.2. Ações mecânicas na construção da fertilidade integral do solo

A viabilização da adoção em larga escala de modelos de produção constituídos por diversidade de espécies capazes de promover fertilidade do solo requer da mecanização agrícola evoluções concomitantes, compatíveis e sincronizadas.

Semeadoras para plantio direto devem assumir caráter de versatilidade quanto à semeadura de múltiplas espécies e, inclusive, de consórcios de espécies - grãos e pastagens, por exemplo - e permitir variados espaçamentos entre linhas e uso de múltiplos elementos rompedores de solo para ampliar a adoção do processo colher-semear. Nesse sentido, a implementação de modelos de produção com potencial para induzir emergência de fertilidade em solo demanda semeadoras equipadas com elementos rompedores de solo tipo haste sulcadora de espessura da ordem de 10 mm, para operar em profundidade de até 200 mm e permitir deposição de corretivos e fertilizantes até essa profundidade e, conseqüentemente, promover aprofundamento de raízes.

Tabela 2. Exemplo de modelo de produção, conduzido sob “sistema plantio direto” mediante processo colher-semear, explicitando o ciclo das espécies componentes ao longo dos anos agrícolas, na região de clima subtropical do Brasil.

Gleba	Ano agrícola																																		
	1				2				3				4				5																		
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J
1	Milho				Sorgo				Aveia branca				Soja				Aveia preta				Consórcio Milho + Braquiária				Trigo				Soja				Nabo forrageiro		
2	Soja				Aveia preta				Consórcio Milho + Braquiária				Trigo				Soja				Nabo forrageiro		Milho		Sorgo		Aveia branca								
3	Consórcio Milho + Braquiária				Trigo				Soja				Nabo forrageiro		Milho		Sorgo		Aveia branca		Soja		Aveia preta												
4	Soja				Nabo forrageiro		Milho		Sorgo		Aveia branca		Soja		Aveia preta		Consórcio Milho + Braquiária				Trigo														

Obs.: Aveia branca (*Avena sativa* (L.)); aveia preta (*Avena strigosa* (L.)); braquiária (*Brachiaria spp*); milho (*Zea mays* (L.)); nabo forrageiro (*Raphanus sativus* (L.)); soja (*Glycine max* (L.) Merrill); sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* (L.)); e trigo (*Triticum aestivum* (L.)).

4. Área manejada sob “sistema plantio direto” no Brasil

Diante do cenário evolutivo do “plantio direto” ou “semeadura direta” e do “sistema plantio direto” no Brasil e de irrefutáveis avanços tecnológicos alcançados, frutos de parcerias entre pesquisa, ensino, extensão, agroindústria, produtores rurais e organizações específicas (Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha - FEBRAPD, Associação de Plantio Direto no Cerrado - APDC e Clubes Amigos da Terra - CATs), bem como de fomento à pesquisa, à difusão e à transferência de tecnologia, a expansão de área cultivada sob esses processos conservacionistas no Brasil tem sido intensa e singular quando comparada a outros países e à adoção de outras tecnologias agrícolas. Em razão da inexistência de estatística oficial, uma estimativa da área cultivada sob “plantio direto” ou “semeadura direta” no Brasil, no ano de 2006, segundo a FEBRAPD e a APDC, é da ordem de 25,5 milhões de hectares.

Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, relativos à magnitude das áreas cultivadas nas safras de verão e de inverno, no ano agrícola 2009/2010, com as principais espécies vegetais produtoras de grãos em todo o país, denotam que essa área está sendo cultivada, predominantemente, sob “plantio direto” e não sob “sistema plantio direto”. Essa dedução está fundamentada nos dados estatísticos de que dos 37,6 milhões de hectares cultivados na safra agrícola de verão, com as culturas de soja e milho, apenas 10,4 milhões de hectares são cultivados na safra agrícola de inverno, com trigo, aveia branca (*Avena sativa* L.), cevada (*Hordeum vulgare* L.), triticale (*X triticosecale* Wittmack), centeio (*Secale cereale* L.), feijão (*Phaseolus vulgaris* (L.)) e milho safrinha. Esse cenário indica que, no país, a área cultivada em rotação, sucessão e/ou consorciação de culturas ou com, pelo menos, duas safras por ano agrícola, e, conseqüentemente, com a possibilidade de estar sendo manejada sob “sistema plantio direto”, o qual preconiza, dentre os seis preceitos da agricultura conservacionista, a diversificação de espécies, não ultrapassa a 10,4 milhões de hectares. De outro modo, denota-se que, no Brasil, a área cultivada sob “sistema plantio direto” é, de no máximo, 10,4 milhões de hectares. Em adição, esses dados demonstram que no Brasil há cerca de 27,2 milhões de hectares em pousio vegetado ou não, no período de inverno.

A partir dessa análise, é possível inferir que o objetivo do Plano ABC, em incorporar oito milhões de hectares de lavoura manejada sob “sistema plantio direto” até 2020, poderá ocorrer, simplesmente, pela conversão de áreas atualmente manejadas sob “plantio direto” em áreas manejadas sob “sistema plantio direto”, mediante diversificação de espécies, estruturada em modelos de produção agrícolas, agropastoris, agrossilvícolas, agrossilvipastoris, pastoris, silvipastoris ou silvícolas, em rotação, sucessão e/ou consorciação de culturas. Contudo, a ampliação da área cultivada sob “sistema plantio direto” em oito milhões de hectares, ou seja, elevá-la de 10,4 para 18,4 milhões hectares objetivando atender a demanda criada pelo Plano ABC - Agricultura de Baixa Taxa de Emissão de Carbono, não constitui alternativa dependente exclusivamente de solução tecnológica. O aumento da produção e da diversificação de grãos produzidos na safra agrícola de inverno está na dependência de mercado, alicerçado por logística apropriada para recebimento, armazenamento, segregação, processamento e transporte destes grãos. Por sua vez, modelos de produção agropastoris (integração lavoura-pecuária) ou agrossilvipastoris (integração lavoura-pecuária-floresta) são percebidos como de maior potencial para viabilizar, economicamente, a diversificação de espécies e o atendimento dos preceitos preconizados pelo “sistema plantio direto”, pois ao mesmo tempo em que há mercado seguro para produtos pecuários, há carência de pastagem no período de verão, na região subtropical, e no inverno, na região tropical, quando os animais são alimentados com feno e concentrados que encerram custos sensivelmente mais elevados do que as pastagens.

5. Estratégias para implantação do “sistema plantio direto”

5.1. Sistematização da lavoura

Lavouras, onde se pretende implantar o “sistema plantio direto”, normalmente apresentam sulcos ou depressões no terreno, resultantes de processos erosivos naturais ou acelerados decorrentes dos métodos de manejo anteriormente praticados. Essas irregularidades apresentam a inconveniência de concentrar enxurrada e provocar transtornos ao tráfego de máquinas e implementos agrícolas na lavoura, além de constituírem manchas de solo de menor fertilidade em relação ao restante da área, cujas consequências são: na ocorrência de chuvas intensas, com superação da taxa de infiltração de água no solo, forma-se enxurrada, elevando os riscos de perda de solo, de material orgânico, de nutrientes e de outros agroquímicos por erosão hídrica, que contribuem para ocorrência de prejuízos econômicos e poluição dos sistemas do entorno; a obstrução do tráfego de máquinas e implementos agrícolas na lavoura afeta a qualidade e o rendimento operacional das atividades agrícolas, como pulverização, semeadura e colheita; e as manchas de solo de menor fertilidade são tratadas de forma similar à lavoura como um todo, recebendo quantidades iguais de insumos e de horas-máquina em relação ao restante da área, sem proporcionar produtividade equivalente, constituindo pontos de contribuição para elevação do custo de produção, aumento de riscos de danos mecânicos às máquinas e aos implementos agrícolas e redução do rendimento e da lucratividade.

A eliminação desses obstáculos pode ser viabilizada de inúmeras formas. O emprego de moto niveladora ou plaina tracionada é altamente eficiente. Entretanto, escarificações e/ou arações seguidas por gradagens são práticas que podem solucionar, em grande parte, tais problemas. No caso de campos naturais há implementos específicos para a sistematização da superfície do terreno.

5.2. Correção da acidez do solo

Há possibilidade de o “sistema plantio direto” ser estabelecido em solos sem as condições ideais de acidez e sem o adequado teor de nutrientes. Contudo, a uniforme incorporação de calcário na camada de 0 a 20 cm do perfil do solo, mediante aração e gradagem, eliminando gradiente químico nesta camada, constitui requisito de relevância para sucesso do sistema, principalmente nos primeiros anos após a implementação. A partir da estabilização das condições biológicas, físicas e químicas do solo, promovidas, basicamente, pelo sinergismo entre os preceitos da agricultura conservacionista preconizados pelo “sistema plantio direto”, os efeitos do gradiente químico, acentuado pelo próprio sistema, são amenizados. Assim, a correção da acidez do solo, em conformidade com a indicação da análise de solo, deve atingir, de forma homogênea, toda a camada de 0 a 20 cm do perfil do solo.

Com o passar do tempo, ocorre reacidificação do solo, tendo como consequência redução do pH e aumento do alumínio trocável. Esses atributos devem ser monitorados a cada três anos mediante análise de solo em amostras coletadas na camada de 0 a 10 cm ou 0 a 20 cm do perfil do solo. Esse aspecto adquire importância à medida que a rotação de culturas contempla gramíneas, uma vez que plantas dessa família são exigentes em nitrogênio, que dependendo da fonte de suprimento usada, aliada à decomposição dos resíduos culturais, constitui a principal causa da reacidificação do solo.

5.3. Descompactação do solo

5.3.1. Características de um solo adensado e/ou compactado

A degradação da estrutura do solo, normalmente é expressa pela redução e/ou descontinuidade da porosidade.

Tais alterações físicas no perfil de solo são consequências do emprego de técnicas inadequadas de manejo de solo e de culturas no sistema agrícola produtivo. Os métodos de preparo de solo que mobilizam a camada arável são os principais promotores dessas alterações físicas, uma vez que fracionam mecanicamente os macroagregados e debilitam sua estabilidade, pela elevação da taxa de oxidação da matéria orgânica. Os processos de fracionamento e de desestabilização de macroagregados, associados à eluviação de argilas dispersas e ao intenso tráfego de máquinas agrícolas na lavoura, aproximam as partículas constituintes do solo entre si, resultando na redução e/ou descontinuidade da porosidade do solo, conseqüentemente, elevando a massa de sólidos por unidade de volume, ou seja, aumentando a densidade do solo.

A ocorrência desses processos na camada superficial do solo manifesta-se por meio do encrostamento superficial, o qual reduz a taxa de infiltração de água no solo, aumenta a enxurrada e a erosão hídrica e dificulta a livre emergência de plântulas. Na camada subsuperficial do solo, esses processos são detectados pela presença de uma camada de maior densidade, normalmente, chamada de camada adensada e/ou compactada. Essa camada reduz a capacidade de armazenamento de água, reduz a disponibilidade da água estocada para as plantas, reduz a taxa de mobilização de água no perfil do solo, reduz a taxa de troca gasosa do solo com a atmosfera e limita o desenvolvimento radicular das plantas. Solo que apresenta essas propriedades, além de ser altamente suscetível à erosão, mesmo em períodos curtos de estiagem, promove perda de produtividade por déficit hídrico.

A cobertura vegetal permanente de solo, seja por plantas vivas, seja por plantas mortas ou por restos culturais, associada à redução da intensidade de mobilização do solo, constituem as técnicas mais eficazes para solucionar e prevenir o encrostamento superficial do solo. Contudo, para solucionar o problema da camada compactada são necessárias técnicas mais complexas.

Diagnóstico da camada compactada: a camada adensada e/ou compactada resultante do manejo agrícola inadequado, normalmente situa-se entre 5 a 20 cm da superfície do solo. O método mais apropriado para detectar a presença da camada adensada e/ou compactada é o exame morfológico de raízes de plantas, realizado, preferencialmente, no estágio de máximo desenvolvimento vegetativo da cultura. Na camada adensada e/ou compactada, a densidade de raízes é reduzida e as raízes podem apresentar deformações, como tortuosidade, não característica da planta, e perda da seção cilíndrica, assumindo forma achatada. Essa sintomatologia é resultante de esforços da planta para superar as restrições impostas pelas condições físicas do solo.

O método mais difundido e mais simples para a detecção de camada adensada e/ou compactada, independente da época de verificação, é o do exame do perfil do solo em pequenas trincheiras. Em trincheiras, com dimensões de 30 cm de lado por 40 cm de profundidade, abertas em vários pontos da lavoura, a camada adensada e/ou compactada pode ser identificada por meio do aspecto morfológico da estrutura do solo e/ou pela resistência relativa que o solo oferece ao toque com qualquer instrumento pontiagudo. Os toques com o instrumento pontiagudo, na parede da trincheira, são efetuados a partir da superfície do solo até o limite inferior da trincheira, identificando-se as profundidades onde inicia e termina a maior resistência do solo ao toque. Para que a camada adensada e/ou compactada seja identificada pela análise morfológica da estrutura do solo, é indispensável o conhecimento da estrutura natural do solo em observação, especialmente quanto ao tipo de estrutura e à forma das unidades estruturais do solo. A estrutura natural do solo pode ser conhecida realizando-se esse mesmo procedimento em áreas adjacentes à lavoura, ainda sob vegetação natural e pertencentes a mesma unidade de solo.

O penetrômetro é instrumento que pode ser utilizado para identificar e localizar camada adensada e/ou compactada em um perfil de solo. Esse aparelho é basicamente constituído por uma haste metálica e um manômetro, mecânico ou eletrônico. O princípio de funcionamento desse aparelho, para localização de camada

adensada e/ou compactada, baseia-se no registro da variação da força necessária para introdução da haste no solo. Na medida em que a haste é introduzida no solo, o manômetro indica variações de força despendida, registrando a profundidade inicial e final da camada adensada e/ou compactada.

5.3.2. Operação de descompactação do solo

A operação de descompactação do solo tem por objetivo reduzir a densidade do solo e elevar a porosidade e a estabilidade de agregados do solo. Conseqüentemente, a descompactação facilita o enraizamento das plantas, eleva a permeabilidade e a taxa de infiltração de água no solo e aumenta a capacidade de armazenamento de água no solo, facilitando o fluxo de água e as trocas gasosas no perfil e reduzindo a enxurrada e a erosão hídrica.

Implemento de discos ou de hastes, capaz de operar à profundidade maior do que o limite inferior da camada adensada e/ou compactada, pode descompactar o solo. Entretanto, implementos de hastes (escarificadores) são mais indicados pelo menor poder de rompimento de agregados e pela menor superfície de contato com o solo, no limite da profundidade de operação. Escarificadores equipados com hastes inclinadas para frente, formando ângulo de 20 a 25 graus com a superfície do solo, e com ponteiros estreitos (largura máxima de 7 cm), são mais indicados pela maior facilidade de penetração no solo e por exigirem menor potência de tração. Contudo, essa operação, exclusivamente, mecânica na descompactação de um solo apresenta efeito efêmero, por não propiciar estabilidade aos agregados do solo.

O sucesso da operação de descompactação depende dos seguintes fatores essenciais:

Umidade do solo: a operação de descompactação do solo é eficaz quando realizada com o solo na faixa de umidade equivalente à friabilidade. Em campo, essa faixa de umidade pode ser facilmente identificada. Coleta-se, a 10 cm de profundidade, um torrão de solo de, aproximadamente, 2 a 5 cm de diâmetro e exerce-se sobre ele leve pressão entre os dedos polegar e indicador. Se o torrão desagregar-se, sem oferecer grande resistência e sem moldar-se ao formato dos dedos, o solo encontra-se com umidade na faixa de friabilidade.

Profundidade de trabalho: o implemento descompactador deve ser regulado para operar, aproximadamente, a 5 cm abaixo do limite inferior da camada adensada e/ou compactada.

Espaçamento entre hastes do escarificador: na operação de descompactação do solo é indispensável a interação entre as hastes do escarificador. Cada haste possui capacidade limitada de ruptura do solo. Portanto, o espaçamento entre hastes determina o grau de descompactação do solo pelo implemento. De modo geral, essa interação é obtida quando o espaçamento entre hastes for igual a 1,2 vez a profundidade de operação. Essa relação é válida para condição de solo com umidade na faixa de friabilidade e para hastes com ponteiros de, aproximadamente, 7 cm de largura. Para ponteiros mais largos ou equipadas com asas laterais, a relação é maior, podendo ser 1,5, 2,0 ou até mesmo 2,5 vezes a profundidade de operação. Entretanto, a largura da ponteira está diretamente relacionada com a intensidade de mobilização do solo e com o tamanho de torrões gerados durante a operação de descompactação. Quanto mais larga a ponteira, maior será a intensidade de mobilização e de entorramento do solo.

Adição de material orgânico ao solo descompactado: o rompimento da camada compactada pelo implemento agrícola, por si só, não garante os efeitos benéficos esperados por essa técnica. Em seqüência imediata à operação mecânica de descompactação, é indispensável estabelecer uma cultura com abundante sistema radicular e elevada produção de fitomassa. O abundante sistema radicular dessas culturas tem por função preencher a macroporosidade gerada pela operação mecânica de descompactação e, em consequência,

promover a reagregação do solo e a estabilização dos agregados, assegurando redução da densidade do solo. A partir dessa safra, é fundamental estabelecer modelos de produção que contemplem diversificação de espécies com potencial para aportar ao solo massa vegetativa anual superior a 8.000 kg/ha de matéria seca.

5.4. Espécies vegetais para estruturar modelos de produção em rotação, sucessão e/ou em consorciação de culturas

O “sistema plantio direto” tem por objetivo propiciar geração de produtos e, conseqüentemente, de renda. Assim, o modelo de produção constitui requisito fundamental para viabilizar o “sistema plantio direto” como negócio agrícola sustentável. Portanto, o tipo e a frequência das espécies contempladas no planejamento do modelo de produção devem atender, tanto aos aspectos técnicos, que objetivam o conservacionismo, como aos aspectos econômicos.

O planejamento de um modelo de produção deve considerar, além do potencial de rentabilidade, o histórico e o estado atual da lavoura, atentando para aspectos de fertilidade do solo, de exigência nutricional e de suscetibilidade a fitopatógenos de cada cultura, de infestação de pragas, doenças e plantas daninhas e de disponibilidade de implementos para manejo de culturas e de resíduos culturais. A alternância de espécies vegetais de diferentes famílias e, até mesmo, cultivares, com diferenciado grau de suscetibilidade a pragas e a doenças e com variado comportamento ante a problemas relacionados com o controle de plantas daninhas, são aspectos desejados no planejamento do modelo de produção, por potencializar redução de uso de insumos e, conseqüentemente, sustentabilidade agrícola.

No Brasil, a diversidade de espécies passível de integrar modelos de produção é ampla, sendo o planejamento dependente das características regionais. O arranjo de espécies, no tempo e no espaço, além de permitir a obtenção dos benefícios técnicos preconizados, aliado à diversidade de cultivares e sua possível integração com a pecuária e a floresta, deve permitir escalonamentos de épocas de semeadura, épocas de colheita e épocas de desfrute, permitindo maximização das oportunidades de comercialização dos produtos.

Na implantação do “sistema plantio direto”, em sequência às práticas de sistematização do terreno e da correção da fertilidade do solo, é indispensável o cultivo de espécies com a propriedade de produzir fitomassa em quantidade, qualidade e frequência compatíveis com a demanda biológica do solo. Nesse sentido, para a continuidade eficiente do sistema, é indispensável que o modelo de produção seja diversificado e gere quantidades mínimas de matéria seca da ordem de 8.000 a 12.000 kg/ha/ano.

5.5. Máquinas e implementos agrícolas

O “sistema plantio direto” pode ser implementado em variadas situações de lavoura, dependendo do modelo de produção a ser estabelecido. As situações mais comumente observadas são: semeadura sobre culturas submetidas à colheita de grãos; semeadura sobre culturas pastejadas; e semeadura sobre culturas destinadas à cobertura de solo ou à adubação verde.

Culturas destinadas à produção de grãos: a preocupação com o manejo de resíduos culturais tem início no momento da colheita. O triturador ou espalhador de palha da colhedora é o equipamento que determina as maiores ou menores facilidades para as operações agrícolas subsequentes. A regulação, tanto para trituração como para distribuição dos resíduos na superfície do solo, é função direta do tipo de cultura que está sendo colhida, da espécie que se pretende implantar em sequência e do tipo de equipamento disponível para realização da semeadura.

As regulagens associadas ao triturador de palha são extremamente simples e abrangem afiação das facas do rotor e do pente de espera, o grau de transpasse das facas do rotor com as do pente de espera e o ajuste do defletor e das aletas. Enquanto o poder de corte do pente do rotor e do pente de espera, associado ao grau de transpasse entre os pentes, determina maior ou menor intensidade de trituração de restos culturais, o posicionamento do defletor e das aletas determina maior ou menor uniformidade de distribuição da palha na superfície do solo. As regulagens do defletor e das aletas devem atentar para que a palha triturada seja distribuída na superfície do solo em faixa equivalente à largura da barra de corte da colhedora.

Culturas destinadas ao pastejo: no “sistema plantio direto”, a integração agricultura e pecuária é, perfeitamente, viável mediante utilização de áreas de lavoura com culturas específicas para pastejo. Nessas circunstâncias, cuidados especiais devem ser tomados quanto ao manejo de piquetes e de animais, evitando-se o pastejo em condições de solo úmido, buscando-se prevenir compactação do solo e retirada excessiva de fitomassa.

A cultura selecionada para pastejo deve ser de desenvolvimento rápido e uniforme e ser implantada em elevada densidade de plantas, de modo que garanta produção abundante de fitomassa e promova cobertura total da superfície de solo, evitando contato direto da pata do animal com o solo desnudo.

O estágio da planta para início do pastejo é variável com a espécie, sendo, porém, de relevante importância para garantir a eficiência da prática. A recuperação da cultura pastejada assume importância, principalmente em vista do manejo empregado, necessário para o estabelecimento da cultura subsequente.

Para o estabelecimento da cultura subsequente, é importante observar o estado físico do solo e tomar cuidados especiais com a semeadora a ser empregada. Pequenas trincheiras devem ser abertas na área, observando-se a profundidade e o grau de compactação promovido pelo pisoteio animal. A semeadora, principalmente no caso de solos argilosos, deve ser equipada com haste sulcadora estreita e de ação profunda na linha de semeadura, regulada para eliminar a compactação promovida pelo pisoteio de animais e depositar fertilizante abaixo da semente.

Culturas destinadas à cobertura de solo: no planejamento de modelos de produção nem sempre é possível contar, exclusivamente, com espécies geradoras de renda direta, como produtoras de grãos e de forragem. Em face de problemas técnicos, principalmente afetos à degradação da estrutura física do solo, em determinados modelos de produção há necessidade de inclusão de espécies que cumpram papel fundamental na manutenção e/ou construção de solo fértil e, conseqüentemente, na manutenção da produtividade e da economicidade do sistema agrícola produtivo.

Espécies destinadas a esse fim devem ser selecionadas pela capacidade de solucionar o problema técnico detectado, pela possibilidade de produção de sementes, pela elevada taxa de crescimento e uniformidade do desenvolvimento vegetativo, pelo potencial de produção de fitomassa, pela propriedade de ciclar e reciclar ou incorporar nutrientes no solo, pela habilidade do sistema radicular em recuperar a estrutura física do solo e pelas facilidades para manejo, especialmente em referência à compatibilidade de ciclo com as demais espécies do modelo de produção e aos riscos de se tornarem planta daninha.

Essas espécies, quando não conduzidas à produção de grãos, normalmente devem ser manejadas no estágio de floração plena, no qual a planta acumula a maior quantidade de fitomassa. No caso de cereais de inverno, o manejo anterior a esse estágio de desenvolvimento pode promover rebrotes da cultura, o que provoca a necessidade de dessecações posteriores. O manejo posterior a esse estágio pode incorrer no fato de a planta já possuir sementes fisiologicamente maduras, que podem se transformar em plantas daninhas no modelo de

produção estabelecido.

Diferentes métodos e implementos agrícolas podem ser empregados para efetuar o manejo de culturas de cobertura de solo. Os métodos mais difundidos são rolagem, com rolo faca, e dessecação, com herbicidas de ação total. Contudo, a roçadora, a segadora e a grade de discos, entre outros implementos, também podem efetuar o manejo dessas culturas de forma satisfatória. Enquanto a eficiência do manejo com rolo faca, com roçadora, com segadora e com grade de discos é totalmente dependente do estágio de floração plena da cultura alvo, a dessecação com herbicidas de ação total, normalmente, independe, podendo ser realizada em qualquer estágio de desenvolvimento anterior à floração plena. Desse modo, o rolo faca, a roçadora, a segadora e a grade de discos, quando operados no estágio correto de desenvolvimento da cultura, constituem eficientes mecanismos de manejo. Contudo, a seleção do mecanismo, a exemplo da regulagem do triturador de palha, está diretamente associada ao tipo de cultura que está sendo manejada, à espécie que se pretende implantar em sequência e às características da semeadora disponível para a realização da semeadura.

O rolo faca, embora apresente como desvantagens o elevado custo para aquisição e risco de compactação superficial do solo, maneja a cultura mediante amassamento uniforme das plantas na superfície do solo. A semeadura da cultura subsequente, nessas circunstâncias, deve transcorrer no mesmo sentido da operação de rolagem, e a semeadora deve ter a mesma largura do rolo faca. A roçadora, além de destacar a parte aérea das raízes da planta, tem como desvantagem a má distribuição do material roçado na superfície do solo e o esfacelamento das plantas, contribuindo para a rápida decomposição da matéria seca. A segadora simplesmente secciona a parte aérea das raízes, deixando a parte aérea inteira e completamente destacada na superfície do solo, o que provoca transtornos à operação de semeadura subsequente. A grade de discos, mesmo com pequeno travamento, tem como inconveniência a mobilização superficial do solo, podendo favorecer a germinação de plantas daninhas e o desencadeamento de processos erosivos. A dessecação com herbicida de ação total, afora o impacto ambiental, tem como vantagem, além de a operação ser independente do estágio de desenvolvimento da cultura, permitir a operação de semeadura com as plantas da cultura de cobertura de solo ainda em pé, o que facilita, sensivelmente, o desempenho da semeadora. Nessa situação, as plantas desseçadas são amassadas, por ocasião da semeadura, em parte pelo trator e em parte pela própria semeadora, mediante a utilização de dispositivos associados à semeadora.

6. Consideração final

O “sistema plantio direto”, por contemplar preceitos da agricultura conservacionista estreitamente associados à retenção de matéria orgânica no solo e por ser adaptável à qualquer região agrícola do Brasil, distingue-se como ferramenta fundamental, considerada propícia, inquestionável, irrepreensível e de valor inestimável para a conservação do solo e a redução da taxa de emissão de gases de efeito estufa.

7. Referências

7.1. Literatura recomendada

ARAUJO, A. M.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um latossolo vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 28, p. 337-345, 2004.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. ed. rev. e atualiz. Porto Alegre: Metrópole, 2008, p. 7-18.

BORGES, G. de O. Resumo histórico do plantio direto no Brasil. In: Plantio direto no Brasil. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1993. p. 13-18. Editado por EMBRAPA-CNPT, Fundacep Fecotrigo, Fundação ABC.

BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Produtividade de milho, espaçamento e modalidade de consorciação com *Brachiaria brizantha* em sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, p. 163-171, 2007.

CAIRES, E.F.; GARBUIO, F.J.; ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A. Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.30, p.87-98, 2006.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M. de. Variabilidade espacial de MO, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 394-400, 2007.

CECCON, G. Estado da arte na produção de palha com milho safrinha em consórcio com *Brachiaria*. *Revista Plantio Direto*, n.102, p.3-7, 2007.

D'AGOSTINI, L.R. Fertilidade do solo: (re)emergindo sistêmica. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 6., 2006, Passo Fundo. Fertilidade em solo... (re)emergindo sistêmica: resumos e palestras. Passo Fundo: Embrapa Trigo: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2006. 6 p. 1 CD ROM.

DENARDIN, J. E. Fertilidade em solo! Como construí-la? Como mantê-la? In: WORKSHOP INTEGRADA VERÃO 2008, 5., 2008, Londrina. Recuperação da fertilidade do solo - elevando a produtividade dos sistemas agrícolas produtivos com agricultura de precisão e assessoria dirigida. Trabalhos apresentados... Londrina: Integrada Cooperativa Agroindustrial, 2008. p. 66-78.

DENARDIN, J.E. Solo: constituição e degradação. In: MARCANTONIO, G. (Org.). Solos e irrigação. Porto Alegre: UFRGS / FEDERACITE, 1992. p.13-28.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A. Desafios à caracterização de solo fértil em manejo e conservação do solo e da água. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 6., 2006, Passo Fundo. **Fertilidade em solo... (re)emergindo sistêmica**: resumos e palestras. Passo Fundo: Embrapa Trigo: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2006. 8 p. 1 CD ROM.

DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A. Requisitos para a implantação e a manutenção do sistema plantio direto.

Organizado por EMBRAPA TRIGO, Centro Nacional de Pesquisa de Trigo, FECOTRIGO, Fundação Centro de Experimentação e Agropecuária, Fundação ABC. Plantio direto no Brasil. Passo Fundo, 1993, p.19-27.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; BACALTCHUK, B.; SATTTLER, A.; DENARDIN, N. D'A.; FAGANELLO, A.; WIETHÖLTER, S. Sistema plantio direto: fator de potencialidade da agricultura tropical brasileira. In: ALBUQUERQUE, A.C.S.; SILVA, A.G. da, ed. téc. Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas. Brasília: Embrapa Informações Tecnológica, 2008. p. 1251-1273, cap. 1, parte 15, v. 1.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, N. D'A. Sistema agrícola produtivo: fator de promoção da fertilidade integral do solo. In: WORKSHOP SOBRE O SISTEMA PLANTIO DIRETO NO ESTADO DE SÃO PAULO, 2005, Campinas. [Anais...]. Piracicaba: Fundação Agrisus: FEALQ; Campinas: IAC, 2007. p. 156-167.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A. Dia Nacional da Conservação do Solo: a agricultura desenvolvida no Brasil é conservacionista? **Boletim Informativo Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha**, Ponta Grossa, n. 40, p. 6-7, abr./jun. 2010.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A.; SATTTLER, A. **Evolução da área cultivada sob sistema plantio direto no Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 32 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 29).

DENARDIN, J. E.; SCHAEFFER, R.; FAGANELLO, A.; KOCHHANN, R. A. **Heterogeneidade física de um latossolo argiloso manejado sob sistema plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. 16 p. html (Embrapa Trigo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento online, 70). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p_bp70.htm>. Acesso em: 24 out. 2012.

DERPSCH, R.; BENITES, J.R. Agricultura conservacionista no mundo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004. Santa Maria. Manejo: integrando a ciência do solo na produção de alimentos. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2004. 1CD-ROM.

ERNANI, P.R. Uso de gesso agrícola nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Lages: UDESC-CAV/SBCS-NRS-CFS, 1993. 15p. (Boletim Técnico, 1).

ESTADOS@ Unidades da Federação: lavoura temporária 2009. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/>>. Acesso em: 1 nov. 2010.

FAGANELLO, A.; DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; SATTTLER, A. Efeito de elementos rompedores de solo em semeadoras para plantio direto na resistência do solo à tração mecânica. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. 21 p. html. (Embrapa Trigo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento online, 69). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p_bp69.htm>. Acesso em: 23 out. 2012.

GOEDERT, W. Avanços e desafios em pesquisa, desenvolvimento e inovação em fertilidade do solo e nutrição mineral das plantas. Boletim Informativo/SBCS, Viçosa, v.31, p.33-37, 2006.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. F.; SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R.; FREITAS, F. C. L.; VIVIAN, R. Influência de herbicidas e de sistemas de semeadura de *Brachiaria brizantha* consorciada com milho. **Planta Daninha**, Campinas, v. 23, n. 1, p. 59-67, 2005.

KLEIN, V.A.; ESCOSTEGUY, P.A.V.; BOLLER, W.; FIOREZE, I.; VIEIRA, M.L.; DURIGON, F.F.; FAVERO, F.

Equipamento para incorporação de calcário em solos sob plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31. Livro de resumos. Porto Alegre: SBCS-NRS, 2007. p.157.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H. Implantação, condução e resultados obtidos com o sistema Santa Fé. In: _____; STONE, L. F.; _____. (Ed). Integração lavoura-pecuária. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. cap. 15, p. 408-441.

KLUTHCOUSKI, J.; AIDAR, H.; STONE, L. F.; COBUCCI, T. Integração lavoura-pecuária e o manejo de plantas daninhas. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 106, jun. 2004. Encarte Técnico. MANUAL de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10 ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul - Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 400 p.

KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, J.E.; FAGANELLO, A. Adubação profunda no sistema plantio direto. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO, 3., 1999, Cruz Alta. Resumos de palestras. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1999. p. 67-69.

NICOLODI, M. Desafios à caracterização de solo fértil em química do solo. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 6., 2006, Passo Fundo. **Fertilidade em solo... (re)emergindo sistêmica**: resumos e palestras. Passo Fundo: Embrapa Trigo: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2006. 8 p. 1 CD ROM.

NICOLODI, M.; GIANELLO, C.; ANGHINONI, I. Repensando o conceito da fertilidade do solo no sistema plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 16, n. 101, set./out., p. 24-32, 2007.

NIMER, E. Climatologia do Brasil. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 1989. 442p.

NUERNBERG, N.J.; RECH, T.D.; BASSO, C. Usos do gesso agrícola. Florianópolis: EPAGRI, 2002. 31p. (Boletim Técnico, 122).

PERUZZO, G.; ROMAN, E.S.; WIETHÖLTER, S. Efeito de calcário e de gesso no rendimento de algumas culturas. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 1. Anais. Pelotas: NRS-SBCS, 1994. p.27-29.

PÖTTKER, D.; AMBROSI, I.; BEN, J.R.; KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, J.E. Calagem em plantio direto. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT/Projeto METAS, 1998. 40p. (Projeto METAS. Boletim Técnico, 4).

QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van; GALLO, P.B.; MASCARENHAS, H.A.A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.28, n.3, p.375-383, 1993.

RAIJ, B. van. Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo. São Paulo: ANDA, 1988. 88p.

RAIJ, B. van.; FURLANI, P.R.; QUAGGIO, J.A.; PETTINELLI JÚNIOR, A. Gesso na produção de cultivares de milho com tolerância diferencial a alumínio em três níveis de calagem. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.22, p.101-108, 1998.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C. **Matéria orgânica do solo na integração lavoura-pecuária em Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2005. 58 p. html. (Embrapa Agropecuária Oeste. Boletim de pesquisa e

desenvolvimento online, 29). Disponível em:

<<http://www.cpa0.embrapa.br/publicacoes/ficha.php?tipo=BP&num=29&ano=2005>>. Acessado em: 18 out. 2012.

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, p.85-91, 2000.

SERRÃO, E. A. D.; SIMÃO NETO, M. **Informações sobre duas espécies de gramíneas forrageiras do gênero *Brachiaria* na Amazônia: *B. decumbens* Stapf e *B. ruziziensis* Germain et Evrard.** Belém: Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuária do Norte, 1971. 31 p. (IPEAN. Série: Estudos sobre forrageiras na Amazônia, v. 2., n. 1).

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Núcleo Regional Sul. Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre, 2004. 400 p.

SPERA, S.T.; SANTOS, H.P. dos; TOMM, G.O.; KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, J.E. Efeito de sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas em atributos físicos de solo, no Rio Grande do Sul. In: WORLD CONGRESS ON CONSERVATION AGRICULTURE, 2., 2003, Fóz do Iguaçú. Producing in harmony with nature: extended summary e posters. Fóz do Iguaçú: Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha; Confederación de Asociaciones Americanas para la Agricultura Sustentável, 2003. p. 518-521.

SUMNER, M.E. Uso atual do gesso no mundo em solos ácidos. In: Seminário sobre o uso do gesso na agricultura, 2., Uberaba, 1992. Anais Uberaba, Nagy, 1992. p.7-40.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p. 743-755, 2009.



Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Mercedes Concórdia Carrão-Panizzi
Membros: Douglas Lau, Flávio Martins Santana, Gisele Abigail M. Torres, João Carlos Haas (vice-presidente), Joseani Mesquita Antunes, Leandro Vargas, Maria Regina Cunha Martins, Renato Serena Fontaneli

Expediente

Referências bibliográficas: Maria Regina Martins
Editoração eletrônica: Márcia Barrocas Moreira Pimentel

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A.; SANTI, A.; DENARDIN, N. D.; WIETHÖLTER, S.
Diretrizes do sistema plantio direto no contexto da agricultura conservacionista. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012. 15 p. html. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 141). Disponível em:
<http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do141.htm>.