

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA

CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS

CURSO DE GRADUAÇÃO TECNOLÓGICA

EM AGRICULTURA FAMILIAR E SUSTENTABILIDADE A DISTÂNCIA

# MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO

*5º semestre*



Ministério  
da Educação



## **Presidente da República Federativa do Brasil**

Luiz Inácio Lula da Silva

## **Ministério da Educação**

*Ministro do Estado da Educação* Fernando Haddad  
*Secretária da Educação Superior* Maria Paula Dallari Bucci  
*Secretário da Educação a Distância* Carlos Eduardo Bielschowsky

## **Universidade Federal de Santa Maria**

*Reitor* Felipe Martins Müller  
*Vice-Reitor* Dalvan José Reinert  
*Chefe de Gabinete do Reitor* Maria Alcione Munhoz  
*Pró-Reitor de Administração* André Luis Kieling Ries  
*Pró-Reitor de Assuntos Estudantis* José Francisco Silva Dias  
*Pró-Reitor de Extensão* João Rodolpho Amaral Flôres  
*Pró-Reitor de Graduação* Orlando Fonseca  
*Pró-Reitor de Planejamento* Charles Jacques Prade  
*Pró-Reitor de Pós-Graduação e Pesquisa* Helio Leães Hey  
*Pró-Reitor de Recursos Humanos* Vania de Fátima Barros Estivaleta  
*Diretor do CPD* Fernando Bordin da Rocha

## **Coordenação de Educação a Distância**

*Coordenador CEAD* Fabio da Purificação de Bastos  
*Coordenador UAB* Carlos Gustavo Martins Hoelzel  
*Coordenador de Pólos* Roberto Cassol  
*Gestão Financeira* Daniel Luís Arenhardt

## **Centro de Ciências Rurais**

*Diretor do Centro de Ciências Rurais* Thomé Lovato  
*Coordenador do Curso de Graduação Tecnológica em Agricultura Familiar e Sustentabilidade a Distância* Ricardo Simão Diniz Dalmolin

## **Elaboração do Conteúdo**

*Professores pesquisadores/conteudistas* Carlos Alberto Ceretta  
Celso Aita

**Equipe Multidisciplinar de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologias da Informação e Comunicação Aplicadas à Educação**

*Coordenadora da Equipe Multidisciplinar* Elena Maria Mallmann  
*Materiais Didáticos* Volnei Antônio Matté  
*Desenvolvimento Tecnológico* André Zanki Cordenonsi  
*Capacitação* Ilse Abegg

**Produção de Materiais Didáticos**

*Designer* Evandro Bertol  
*Designer* Marcelo Kunde

*Orientação Pedagógica* Diana Cervo Cassol

*Revisão de Português* Marta Azzolin  
Samarlene Pilon  
Sílvia Helena Lovato do Nascimento

*Diagramação* Emanuel Montagnier Pappis  
Maira Machado Vogt

*Suporte Moodle* Ândrei Camponogara  
Bruno Augusti Mozzaquatro

**Colaboradores Externos**

*Ilustração e fotografia* Alexandre Doneda  
Eduardo Lorensi de Souza

# SUMÁRIO

## UNIDADE 1

<b>DEGRADAÇÃO DO SOLO</b>	<b>5</b>
Introdução .....	5
Objetivos .....	6
1.1 Degradação química .....	6
1.2 Degradação física .....	12
1.3 Degradação biológica.....	20

## UNIDADE 2

<b>DEGRADAÇÃO FÍSICA DO SOLO</b>	<b>22</b>
Introdução.....	22
Objetivos .....	22
2.1 Introdução à conservação do solo .....	23
2.2 Erosão hídrica: os agentes, as fases, as formas e o processo.....	26
2.3 Fatores que afetam a erosão hídrica .....	33
2.4 Consequências da erosão na produção agropecuária .....	38
2.5 Erosão eólica: agente, fases e formas .....	41

## UNIDADE 3

<b>RECUPERAÇÃO DE SOLOS DEGRADADOS</b>	<b>44</b>
Introdução.....	44
Objetivo .....	44
3.1 Métodos mecânicos .....	44
3.2 Métodos vegetativos.....	56

## UNIDADE 4

<b>SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO</b>	<b>63</b>
Introdução.....	63
Objetivos .....	63
4.1 Manejo em preparo convencional, reduzido, mínimo e plantio direto .....	63
4.2 Implementos utilizados .....	71

## UNIDADE 5

<b>EFEITO DE SISTEMAS DE MANEJO</b>	<b>81</b>
Introdução.....	81
Objetivos .....	81
5.1 Matéria orgânica do solo.....	81
5.2 População de macro e microrganismos do solo .....	82
5.3 Atributos químicos e fertilidade do solo .....	83
5.4 Propriedades físicas do solo .....	85
5.5 Ervas espontâneas.....	86
5.6 Contaminação ambiental.....	86

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>88</b>
-----------------------------------	-----------

## UNIDADE 1

# DEGRADAÇÃO DO SOLO

## INTRODUÇÃO

O solo é um elemento natural fundamental à manutenção da biosfera terrestre. Conforme já foi apresentado a vocês em disciplinas anteriores, o solo apresenta propriedades químicas, físicas e biológicas, as quais estão interligadas em uma estreita relação funcional. Qualquer alteração em uma dessas propriedades leva a um desequilíbrio, afetando as demais, com forte interferência no seu comportamento. O mau uso pelo homem desse recurso natural, muitas vezes considerado como abundante e inesgotável, pode levar a um declínio na sua qualidade e capacidade produtiva, o que é conhecido como degradação do solo.

De acordo com dados do Banco Mundial, a degradação dos solos utilizados na agricultura ocorre a uma taxa de 0,1% ao ano. Dados fornecidos pela Food American Organization (FAO) indicam uma perda de cinco milhões de hectares de terras aráveis por ano, ocasionada pelo mau uso do solo pela agricultura, além das secas, da pressão populacional e de outras ações antrópicas de destruição dos recursos naturais. Além disso, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMD), através do GLSOD (Global Assessment of Soil Degradation – Projeto de Avaliação Mundial da Degradação do Solo), constatou que 15% dos solos do planeta, estão enquadrados como degradados pela atividade do homem. Não obstante, a maioria dessas áreas degradadas está localizada em países menos desenvolvidos, o que representa um sério problema social. Isso porque, quanto menos desenvolvida uma nação, mais dependente ela se torna da agricultura para o seu produto interno bruto e para a obtenção de divisas com exportações.

O GLSOD estima que, no continente Sul Americano, há 244 milhões de hectares de solo degradado, sendo que o desmatamento é responsável por 41%, o pastejo intensivo por 27,9%, as atividades agrícolas por 26,2% e a exploração intensiva da vegetação por 4,9%. No Brasil, ainda não existe nenhum estudo conclusivo da quantidade e distribuição dos solos degradados em escala nacional, porém, estimativas apontam o desmatamento e as atividades agropecuárias como os principais causadores da degradação dos solos brasileiros. Isso mostra que, tanto quanto utilizar o solo, é fundamental que o homem saiba preservá-lo como o seu maior recurso natural.

Considerando esse conjunto de fatores responsáveis pela degradação dos solos, percebe-se a importância do Manejo e Conservação do Solo em atividades agropecuárias na prevenção e recu-

peração de áreas degradadas, mantendo a capacidade produtiva dos solos e a preservação ambiental, garantindo esse recurso natural essencial às gerações futuras.

## OBJETIVOS

- conceituar a degradação do solo;
- verificar a importância da degradação do solo em sistemas agropecuários;
- caracterizar os diferentes tipos de degradação do solo.

### 1.1 DEGRADAÇÃO QUÍMICA

A degradação química refere-se às mudanças nas propriedades químicas do solo através da ação natural ou antrópica, levando à perda na sua capacidade produtiva. As principais formas de degradação química, e as que serão tratadas em nossa disciplina, são as seguintes: perda de nutrientes, perda de matéria orgânica, desbalanço de nutrientes, salinização, acidificação e poluição do solo.

#### 1.1.1 Perda de nutrientes

Apesar de o solo, normalmente, ser um reservatório abundante de nutrientes, muitos fatores podem provocar a sua exaustão ou torná-los indisponíveis às plantas, com destaque para:

- **Remoção pelas culturas:** Em áreas de exploração agrícola, onde há produção de grãos, frutos, ou outros, os nutrientes absorvidos pelas plantas são acumulados no tecido vegetal e nos órgãos de reserva (grãos, frutos, tubérculos, etc). Através da colheita, seja dos órgãos de reserva ou da parte vegetativa, esses nutrientes são exportados para fora da área de cultivo, não sendo mais disponível para os próximos cultivos. Por isso, existe a lógica de que a cada cultivo o homem deve adicionar nutrientes ao solo, via fertilizantes. Ou seja, necessita repor, pelo menos o que foi retirado do solo pelas plantas e que foi exportado através dos grãos, da pastagem, dos frutos, da madeira, etc. Normalmente, a mineralização dos nutrientes presentes nos resíduos culturais remanescentes da colheita, durante a sua decomposição pelos microrganismos do solo, não é suficiente para garantir uma produtividade eficiente dos cultivos subsequentes. Portanto, caso não seja feita uma adubação de manutenção e de reposição adequadas, os nutrientes estocados no solo vão sendo absorvidos e exportados pelos cultivos sucessivos e a reserva do solo em nutrientes vai diminuindo, tornando-o progressivamente menos produtivo.

É preciso que o homem entenda que o solo tem uma reserva de nutrientes, capaz de dar condições para que as plantas e os animais do solo possam sobreviver naturalmente. Ou seja, as plantas e organismos absorvem os nutrientes e, após encerrar o seu ciclo, os nutrientes retornam para o solo. Isso significa dizer que os nutrientes apenas passam do solo às plantas e demais organismos e depois retornam ao solo, sendo, portanto, ciclados no sistema solo-planta. Entretanto, quando o homem utiliza o solo para produzir culturas comerciais, os produtos dessas culturas, principalmente os grãos, são retirados do sistema e, por isso, tanto é necessário repor, quanto conservar os nutrientes que existem no solo.

- **Perdas por volatilização e lixiviação:** em relação a esses dois processos, o nitrogênio é o nutriente mais afetado. A mineralização do nitrogênio presente na matéria orgânica do solo, em adubos orgânicos, ou até mesmo na uréia, resulta em formas minerais de N como o amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), sendo que o  $\text{NH}_4^+$  está em equilíbrio com a amônia ( $\text{NH}_3$ ) (ver apostila de Biologia do Solo – Ciclo do Nitrogênio). A amônia ( $\text{NH}_3$ ) é uma forma volátil de nitrogênio, a qual pode ser perdida para a atmosfera caso a adubação nitrogenada não seja feita de forma adequada. Já o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) pode ser perdido por lixiviação no perfil do solo, devido a sua baixa capacidade de sorção nos grupos funcionais do solo, constituindo-se, além da perda desse nutriente às plantas, um problema ambiental que é a contaminação da água do lençol freático. Além disso, em condições de anaerobiose, como em solos alagados, o nitrato pode ser convertido em formas gasosas de N no processo de desnitrificação, realizado por bactérias anaeróbicas. Uma dessas formas gasosas é o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), um dos principais gases causadores do efeito estufa. Portanto, a desnitrificação representa perda de nitrogênio à atmosfera, com redução na disponibilidade de N às plantas, além de um problema ambiental.
- **Imobilização pelo solo:** A imobilização será tratada aqui como a ligação ou retenção no solo de alguns nutrientes, com uma energia tal que não permite sua liberação para utilização às plantas e demais organismos vivos. Aqueles nutrientes que estão adsorvidos com baixa energia podem ser mais facilmente liberados para a solução do solo, de onde as plantas e demais organismos vivos os retiram para suprirem as suas demandas. Se, por um lado, o fato de alguns nutrientes serem adsorvidos no solo com maior energia pode parecer algo negativo, por não disponibilizar os nutrientes às plantas, por outro lado, isso garante a capacidade do solo de manter a vida na terra ao longo do tempo.

No Brasil, o fósforo é um dos elementos que sofre maiores influências do solo, no que se refere a sua disponibilidade às plantas. Isso porque o fósforo pode ser retido com alta energia no solo, dificultando sua liberação às plantas, porque, no Brasil, temos solos muito intemperizados, com altos teores de óxidos e com pH do solo baixo (solo ácido), nos quais o fósforo pode ser adsorvido especificamente nos grupos funcionais desses minerais e tornar-se indisponível para as plantas. Com isso, caso a adubação desses solos não seja feita corretamente e, além disso, o pH do solo não seja corrigido através da calagem, o fósforo pode se tornar um nutriente limitante à produção nessas áreas. Por isso, na maioria das lavouras, o fósforo é um dos nutrientes aplicados em maiores quantidades e sobre o qual os produtores e técnicos mais se preocupam.

- **Imobilização pelos organismos do solo:** Novamente, nesse caso, o nitrogênio é o nutriente que mais se destaca e, por isso, será exemplificado aqui. Quando materiais orgânicos com elevada relação carbono/nitrogênio (relação C/N) são adicionados ao solo, poderá ocorrer imobilização de nitrogênio do solo pelos microrganismos que realizam a sua decomposição, diminuindo a sua disponibilidade para as plantas. Após a morte microbiana e reciclagem, parte do N presente no corpo dos microrganismos mortos poderá ser remineralizado pelos microrganismos que permanecem vivos. Todavia, a remineralização do N que é imobilizado é apenas parcial.
- **Perdas por erosão:** Essa forma de perda é, muitas vezes, a mais severa de todas. Através da força da água pela enxurrada, ocorre o arrastamento dos nutrientes juntamente com as partículas minerais e orgânicas do solo para fora da área de cultivo. Com isso, esses nutrientes perdidos, além de prejudicar o solo agrícola pela diminuição da fertilidade, podem chegar até os mananciais hídricos causando sérios problemas ambientais. O enriquecimento desses mananciais com nutrientes, especialmente com  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{PO}_4^{2-}$ , é denominado de eutrofização e pode resultar no desenvolvimento excessivo de algas. Por serem microrganismos fotossintéticos, aquelas algas, situadas na parte inferior da camada de algas que se forma, terão o acesso à luz prejudicado e irão morrer, o que resulta no acúmulo de carbono orgânico e energia, os quais poderão ser utilizados por microrganismos heterotróficos. Durante a decomposição microbiana das algas mortas, poderá ocorrer a exaustão do  $\text{O}_2$  da água, provocando sérios desequilíbrios ao ecossistema aquático.

### 1.1.2 Perda de matéria orgânica

A capacidade do solo em permitir que uma planta e demais organismos se desenvolvam depende fundamentalmente da matéria orgânica do solo. Outro aspecto fundamental no entendimento da matéria orgânica é que seu teor no solo depende da taxa de decomposição dos materiais orgânicos, a qual depende da quantidade e, principalmente, da qualidade do material orgânico adicionado ao solo. Por isso, a perda de matéria orgânica é uma forma de degradação química de alto impacto sobre o solo. Isso ocorre porque ela afeta diversos atributos do solo e qualquer interferência que leve à sua diminuição resulta na perda de função e degradação do solo. Vários são os fatores que podem levar à perda de matéria orgânica do solo, com destaque para o aumento na decomposição, perda por erosão, remoção de camadas superficiais do solo que mais armazenam matéria orgânica e uso do fogo.

O **aumento na decomposição** da matéria orgânica do solo e dos resíduos culturais ocorre pelo favorecimento à atividade dos microrganismos, o que pode ocorrer por diversas razões. Um exemplo disso é o preparo convencional do solo, onde a aração e a gradagem aumentam o contato dos resíduos culturais com o solo, favorecendo a decomposição microbiana. Além disso, o preparo convencional do solo promove a destruição da agregação do solo, liberando ao ataque microbiano parte da matéria orgânica que estava fisicamente protegida no interior dos agregados.

As perdas de matéria orgânica **por erosão** ocorrem através da ação da enxurrada, simultaneamente com a perda de nutrientes. Nesse processo, ocorre o arraste das partículas orgânicas para fora das áreas de cultivo, juntamente com a água da chuva, levando, também, a uma diminuição nos teores de matéria orgânica no solo cultivado.

A matéria orgânica concentra-se, principalmente, nos horizontes mais superficiais do solo. Por isso, a **remoção de camadas superficiais do solo**, tanto em lavouras, quanto em áreas destinadas à mineração, à construção civil e de estradas e em terraplanagens para a construção de taludes de barragens, resulta em perda de matéria orgânica.

O **uso do fogo**, através da queima de restos culturais, leva a uma diminuição da matéria orgânica no solo, além de afetar o fornecimento de carbono e energia à biota do solo. O fogo já foi muito utilizado na região Sul do Brasil para eliminação da "resteva", remanescente após a colheita dos cultivos agrícolas, a fim de facilitar a semeadura das culturas subsequentes em preparo convencional do solo. Atualmente, com o sistema de plantio direto, felizmente para o ambiente e para o homem, a utilização do fogo foi praticamente banida da agricultura, ficando restrita quase que exclusivamente à renovação de pastagens.

### 1.1.3 Desbalanço de nutrientes

À semelhança do homem, as plantas são organismos que necessitam de todos os nutrientes essenciais e em quantidades diferenciadas. A adubação constitui uma das principais práticas agrícolas voltadas à obtenção de produtividade e qualidade ótimas dos cultivos agrícolas. Porém, para que ela seja sustentável, é necessário produzir adequadamente e com o menor impacto ambiental possível. Para que isso ocorra, é necessário um fornecimento balanceado de nutrientes pela adubação, evitando perdas para o ambiente, bem como o desperdício de recursos financeiros. Neste aspecto, a análise de solo é uma ferramenta primordial, porque, através dela, determina-se a quantidade de nutrientes contidos no solo, potencialmente disponível às plantas e, a partir disso, recomenda-se a quantidade adequada de fertilizantes a ser utilizado nos diferentes modos de cultivo, bem como para as diferentes espécies. Além disso, o manejo adequado da adubação, através da escolha de formas de aplicação, de fontes adequadas de nutrientes e da época de fornecimento destes às plantas, também influencia muito na eficiência dessa prática, diminuindo as perdas para o ambiente. A utilização de plantas de cobertura e a rotação de culturas são outras práticas de extrema importância no balanço de nutrientes, através da ciclagem destes. Esses tópicos serão abordados com mais detalhes na unidade 3 da apostila.

### 1.1.4 Salinização

A salinidade do solo, em termos agrícolas, pode ser inferida como a existência de altos níveis de sais no solo, os quais podem prejudicar significativamente os cultivos agrícolas. A sensibilidade ao teor de sais no solo é muito variável para cada tipo de planta, sendo que algumas são mais tolerantes que outras. O excesso de sais compromete o sistema radicular das plantas, dificultando o crescimento e a absorção de água, principalmente pelo elevado potencial osmótico do meio e o desbalanceamento dos nutrientes assimilados pelas plantas.

A ocorrência de solos salinos se dá em regiões de baixa precipitação, alto déficit hídrico, ou que tenham deficiências naturais de drenagem interna. Para praticar a agricultura nas áreas de elevado déficit hídrico, é necessário a utilização de irrigação, a qual é considerada como a principal causa da salinização antrópica dos solos. Isso ocorre, porque, ao irrigar e cultivar o solo, os sais presentes na água de irrigação e, principalmente, nos fertilizantes, podem se acumular nos horizontes mais superficiais do solo, principalmente naqueles que possuem limitação de drenagem natural. Em casos mais graves, caso não seja feita uma drenagem artificial, o solo pode até virar desértico. Além disso, o excesso de sais no solo pode provocar a dispersão das argilas, pela saturação da CTC, o que

contribui para o impedimento da drenagem natural. No Brasil, esse problema é mais frequente na região Nordeste, onde os índices pluviométricos são mais baixos e a prática da irrigação é uma realidade para uma boa produção agrícola.

#### **1.1.5 Acidificação**

A acidez do solo, de maneira geral, está associada à presença de alumínio (Al) e manganês (Mn) em concentrações tóxicas, além de baixos teores de cátions básicos, como cálcio (Ca) e magnésio (Mg). Além disso, outro indicativo da acidez é a quantidade de íons hidrogênio ( $H^+$ ) presentes no solo, expresso pelo pH. Como a acidez condiciona o estado geral do solo, ela serve de base para o crescimento das plantas, em decorrência da sua íntima relação com as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo.

A acidificação pode ocorrer naturalmente na formação dos solos, bem como pode ser intensificada pela ação antrópica. No intemperismo das rochas, para a formação do solo, há uma grande liberação de Al, o qual se adsorve nos grupos funcionais, pelo fato de prevalecer sobre os cátions do solo (Ca, Mg, K, entre outros), causando a acidez. Outra fonte de acidificação dos solos é a decomposição de resíduos vegetais pelos microrganismos do solo onde, através da oxidação microbiana até nitrato ( $NO_3^-$ ), do amônio produzido durante a decomposição e mineralização do N orgânico, ocorre a liberação de  $H^+$  diminuindo o pH. Além disso, a absorção de nutrientes catiônicos pela planta também libera  $H^+$  para o solo, a fim de manter a eletroneutralidade. Não obstante, a aplicação de fertilizantes pelo homem, como o sulfato de amônio, quando utilizado com certa frequência, também pode acidificar o solo, devido à conversão do amônio do fertilizante até  $NO_3^-$  pelas bactérias nitrificadoras, conforme comentado anteriormente. Portanto, em solos utilizados para a agricultura, na grande maioria dos casos, a correção da acidez do solo com calcário é uma prática obrigatória para o adequado crescimento das plantas. Além disso, de tempos em tempos, a calagem é uma prática necessária em áreas sob cultivo, para contornar a reacidificação do solo, resultante tanto de processos naturais como induzidos pelo homem, especialmente através da aplicação de insumos.

#### **1.1.6 Poluição do solo**

Com a grande expansão urbana e industrial ocorrida nas últimas décadas, aumentou a preocupação com a poluição do solo e das águas. O aumento da população, aliado ao aumento na produção de bens de consumo, acaba gerando uma infinidade de resíduos contaminantes, os quais muitas vezes são descartados no ambiente sem o devido cuidado. Além disso, a agricultura apresenta papel importante no

questo contaminação do solo. Isso ocorre devido ao grande uso de moléculas de pesticidas, em que, além do potencial toxicológico do princípio ativo do produto, eles possuem outros elementos tóxicos ao ambiente, bem como podem gerar derivados que podem ser até mais nocivos, ambientalmente, do que o seu próprio princípio ativo.

Não obstante, o solo tem servido como substrato para o descarte de diferentes materiais como lodos de estação de tratamento de esgotos, efluentes industriais, compostos de lixo domiciliar urbano, resíduos industriais e resíduos provenientes da agricultura, especialmente dejetos de origem animal. Esses resíduos, muitas vezes, podem ser utilizados como fertilizantes às culturas, pela presença de material orgânico e mineral. Porém, muitas vezes, junto ao material orgânico e mineral, podem também estar presentes metais pesados, microrganismos patogênicos, além de outras substâncias prejudiciais ao ambiente. Portanto, embora o solo seja um ambiente natural para o descarte de resíduos, isso deve ser feito muito criteriosamente para não gerar um ambiente poluído que comprometa a qualidade da água para consumo humano e animal, bem como, o adequado crescimento das plantas.

## **1.2 DEGRADAÇÃO FÍSICA**

De maneira análoga à degradação química do solo, a degradação física refere-se à perda ou transformação das propriedades físicas do solo, através da ação natural ou antrópica, levando à redução na sua capacidade produtiva. As principais formas de degradação física do solo e que serão tratadas em nossa disciplina são as seguintes: selamento superficial, compactação e adensamento, danos à estrutura, alterações na porosidade e permeabilidade, erosão, inundação e drenagem de áreas úmidas.

### **1.2.1 Selamento superficial**

O selamento superficial do solo é uma forma de degradação física decorrente do impacto das gotas de chuva ou da água de irrigação sobre o solo (**Figura 1.1**). Esse impacto gerado causa uma desagregação do solo próximo à superfície, levando à formação de uma fina camada adensada. Com isso, a infiltração de água é diminuída e há o escoamento superficial das águas da chuva e irrigação, o que pode levar à erosão. Além disso, essa crosta formada na superfície do solo constitui uma barreira física para a germinação de sementes podendo, muitas vezes, dificultar ou impedir sua emergência (**Figura 1.2**).

Uma das principais formas de impedir ou diminuir a probabilidade de ocorrer o selamento superficial é a manutenção de cobertura vegetal sobre o solo, onde os resíduos vegetais deixados

sobre a superfície atuam dissipando a energia cinética das gotas de chuva. Com isso, o impacto da gota de água da chuva sobre o solo é menor, fazendo com que ocorra maior infiltração de água e conseqüentemente menor chance de erosão, bem como permite maior armazenamento de água no solo para disponibilizar às plantas durante todo o seu crescimento. O plantio direto, que será visto nas próximas unidades, é uma boa prática para evitar essa forma de degradação física do solo.



**Figura 1.1** – Selamento superficial do solo (Foto: A. Doneda, 2009).



**Figura 1.2** – Plântula de soja com dificuldade para emergir em função do selamento superficial do solo (Foto: A. Doneda, 2007).

### 1.2.2 Compactação e adensamento

A compactação do solo pode ser definida como a redução do espaço poroso do solo e, conseqüentemente, do seu volume, através de uma pressão externa. Quanto ao espaço poroso, ocorre a redução principalmente dos macroporos, afetando as propriedades físico-hídricas. A pressão externa no solo pode ser causada pelo tráfego intenso de máquinas sobre o solo (**Figura 1.3**), implementos agrícolas, pressão do casco de animais, entre outros. A profundidade em que ocorre a compactação é variável de acordo com o seu agente causador. Para implementos agrícolas, em geral, é de acordo com a profundidade de ação do implemento (20 – 30 cm aproximadamente). Já, para animais, em torno de 5 a 10 cm. No plantio direto, tem-se observado que, quando ocorre a compactação, esta ocorre numa camada entre 8 a 12 cm de profundidade.

A compactação do solo acarreta sérios problemas às áreas agricultáveis. Dentre eles, está a diminuição na infiltração de água, o que aumenta a suscetibilidade à erosão. Além disso, a camada compactada dificulta a penetração das raízes, ocasionando a deformação delas, bem como diminui a área de exploração por água e nutrientes às plantas. Para minimizar a compactação do solo, algumas práticas podem ser adotadas, como: a) evitar operações agrícolas e tráfego de máquinas com o solo demasiadamente úmido; b) dar preferência a máquinas agrícolas com rodados mais largos, o que aumenta a área de contato com o solo, diminuindo a pressão ocasionada pelos pneus; c) evitar deixar os animais em pastejo por muito tempo na mesma área, bem como em dias com excesso de umidade no solo; d) reduzir a intensidade de preparo do solo, evitando a formação do “pé de arado”.

O adensamento do solo pode ocorrer tanto pela pedogênese, como pela ação antrópica. As duas formas também levam à redução do volume do solo, porém diferindo da compactação por não ser ocasionado por pressão externa e sim pela dispersão das partículas do solo. Na pedogênese, o adensamento é verificado, principalmente, nos horizontes de transição. Já na ação antrópica, a calagem excessiva pode dispersar o solo nas camadas mais superficiais, devido ao pH ficar maior do que o ponto de carga zero, gerando cargas negativas, o que faz com que ocorra a dispersão de partículas do solo. Quando em contato com as camadas mais profundas no perfil do solo, essas partículas, ao encontrar um pH mais baixo, floculam, obstruindo os poros e gerando uma camada adensada. Essa camada adensada ocasiona os mesmos problemas que a compactação do solo.



**Figura 1.3** – Compactação do solo ocasionada por pneu de trator (Foto: A. Doneda, 2009).

### 1.2.3 Danos à estrutura

A estrutura pode ser definida como a forma, dimensão e arranjo das partículas sólidas do solo juntamente com os poros que estão associados a elas. De maneira mais simplificada, é o arranjo das partículas e sua aglomeração, formando agregados. A estrutura do solo, ao contrário da textura, pode ser afetada por práticas agrícolas ou outras que acarretem em mobilização do solo. Essa propriedade é muito importante, pois determina a maior ou menor facilidade de trabalho do solo, a permeabilidade à água, a resistência à erosão e condições de desenvolvimento às plantas, sendo que um solo mal estruturado pode levar a uma baixa produtividade dos cultivos agrícolas. As práticas de manejo do solo podem afetar a estrutura do solo através do trabalho mecânico, de modificações nos teores de matéria orgânica, da drenagem e da rotação de culturas, entre outros.

Mobilizações excessivas do solo e situações adversas de preparo como, por exemplo, aração em terreno muito seco ou muito úmido, pode causar prejuízos à estrutura os quais podem ser detectados em curto e, dependendo da intensidade, até em longo prazo. Além disso, práticas de manejo que levam a uma diminuição do teor de matéria orgânica do solo também são nocivas a uma boa estruturação deste. Isso ocorre devido ao fato de a matéria orgânica atuar como agente cimentante na formação de agregados do solo, que são os precursores de uma boa estruturação. Portanto, a adoção de práticas conservacionistas de manejo do solo, como o plantio direto, por exemplo, que diminui a mobilização do solo e promove um incremento no teor de matéria orgânica, é de extrema importância na manutenção de uma boa estrutura dos solos agrícolas.

#### **1.2.4 Influência na porosidade**

A porosidade do solo é a proporção de espaços ocupados pelos líquidos e gases, em relação ao restante do volume do solo. É originária do arranjo aleatório das partículas sólidas do solo, como os minerais e a matéria orgânica. Apresenta grande importância, pois é onde circula a solução e o ar do solo, bem como onde ocorrem os seus processos dinâmicos. Os solos que são cultivados, normalmente, apresentam menor porcentagem de porosidade quando comparados aos não cultivados. Isso ocorre, porque, no cultivo do solo, sempre, de alguma forma, realiza-se uma mobilização do solo, por menor que seja. A perda de porosidade normalmente está associada à redução do teor de matéria orgânica, à compactação e ao impacto das gotas de chuva, sendo que esses fatores levam a uma diminuição na agregação e, conseqüentemente, com agregados menores, menor o tamanho dos poros. Práticas agrícolas que promovam uma melhoria na estrutura do solo beneficiam a porosidade, evitando a degradação.

#### **1.2.5 Influência na permeabilidade**

A permeabilidade é a capacidade do solo em deixar passar o ar e a água pelo seu perfil. Essa propriedade está diretamente ligada com a porosidade do solo. Por isso, práticas agrícolas que promovam a desagregação do solo, com a conseqüente diminuição no tamanho dos poros, levam a uma diminuição da permeabilidade. Nessa situação, o solo fica mais suscetível à erosão, com redução na oxigenação e no fornecimento de água às plantas.

#### **1.2.6 Erosão**

A erosão é considerada como a principal forma de degradação do solo e pode ser conceituada como o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas minerais e/ou orgânicas do solo pela ação da água ou do vento. Esse processo ocorre naturalmente nos ecossistemas, porém, a ação antrópica pode acelerar sua ocorrência, até atingir níveis prejudiciais ao homem e ao ambiente.

As práticas agrícolas intensivas, que não utilizam um sistema adequado de manejo e conservação do solo, podem levar a uma intensificação dos processos erosivos, devido à exposição do solo ao sol, ao vento e à chuva. Com isso, ocorre a destruição dos agregados, formação de camadas compactadas, diminuição da permeabilidade e infiltração e isso tudo acaba levando à ocorrência da erosão. Um exemplo é o que ocorreu com a intensificação da agricultura no Sul do Brasil nas décadas de 60 e 70, quando as matas nativas deram lugar às lavouras de produção de grãos através do preparo convencional do solo. Como o solo ficava descoberto, a ação das chuvas ocasionava erosão, o que, em muitos casos, acabava até mesmo inutilizando algumas para o cultivo, devido à excessiva degradação.

Não obstante, com o uso intenso de mecanização, a compactação foi outro problema encontrado e, além de seus efeitos diretos sobre os cultivos agrícolas, foi mais um fator que favoreceu a erosão. O terraceamento foi uma prática que amenizou a ocorrência de erosão no cultivo convencional da época, porém a compactação do solo tornava-se cada vez mais evidente. A partir da década de 90, com a grande difusão do plantio direto, iniciou-se uma nova era na agricultura para reverter o problema da erosão decorrente do preparo convencional do solo. Ou seja, a aração e gradagem, que resultam em grandes revolvimentos do solo, não mais foram utilizadas como tradicionalmente era realizado (detalhes na unidade 4).

No Rio Grande do Sul, no final da década de 80, estimou-se que, em termos médios, a perda de solo pela erosão era da ordem de  $40 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . Já no Brasil, nessa mesma época, estimou-se que eram perdidos anualmente, em média, 600 milhões de toneladas de solo agrícola devido à erosão, com uma perda associada de nutrientes equivalente a 1,5 bilhões de dólares.

Vários são os prejuízos causados pela erosão, tanto para o homem quanto para o meio ambiente. Juntamente com o arraste das partículas minerais e orgânicas do solo há o transporte, para fora da área de cultivo, de nutrientes, sementes, defensivos agrícolas, entre outros, os quais, além de representarem um prejuízo à produção agropecuária, podem causar também a contaminação dos recursos hídricos. Com isso, os custos de produção são aumentados, devido à maior necessidade de fertilizantes e corretivos, além de reduzir o rendimento operacional das máquinas. Não obstante, a qualidade e disponibilidade de água para o consumo humano e animal também podem ser afetadas pela erosão do solo. Isso se deve à poluição e assoreamento dos mananciais, o que pode provocar enchentes nos períodos mais chuvosos e escassez de água nos períodos mais secos.

Os custos na construção de barragens e dragagens dos cursos e reservatórios de água podem ser aumentados devido ao assoreamento, causando prejuízos ao bom desenvolvimento de espécies aquáticas, além de reduzir o potencial de geração de energia elétrica, especialmente no Brasil, cuja geração depende principalmente da água. Estradas e encostas também são alvos da erosão, principalmente em locais próximos a áreas agrícolas e de cidades, podendo causar sérios prejuízos.

Devido à grande importância da erosão dentro da disciplina de Manejo e Conservação do Solo, a unidade 2 irá abordar exclusivamente essa forma de degradação do solo, detalhando-se as formas de ocorrência e consequências, entre outros.

### **1.2.7 Inundação**

A inundação artificial de áreas pelo homem para construção de barragens, açudes, represas, entre outros, também pode ser considerada como uma forma de degradação do solo. A inundação altera o equilíbrio natural do solo, desencadeando uma série de transformações nas características químicas, físicas, biológicas e eletroquímicas. No momento que o solo é inundado, a água substitui o ar nos poros, comprimindo o ar remanescente dentro desses, levando à destruição dos agregados. Dessa forma, o solo adquire um estado semifluído, onde não é possível distinguir sua estrutura. Além disso, a população microbiana nos solos alagados é composta por microrganismos aeróbios nas camadas mais superficiais (oxidadas) e microrganismos anaeróbios nas camadas mais profundas (reduzidas). Quanto às alterações eletroquímicas, ocorre a diminuição do potencial redox, mudanças nos valores de pH e aumento da condutividade elétrica.

### **1.2.8 Drenagem de áreas úmidas**

A drenagem de áreas úmidas, banhados, várzeas, entre outros, para a prática da agricultura, pecuária ou outros fins, também é uma forma de degradação do solo. Assim como a inundação, a drenagem também interfere nas propriedades do solo. Além das mudanças nas características naturais do solo dessas áreas, a drenagem leva a uma destruição da biodiversidade local, bem como interfere diretamente no ciclo hidrológico.

### **1.2.9 Arenização**

A arenização pode ser entendida como o retrabalhamento de depósitos arenosos, pouco ou não consolidados, o que resulta em dificuldades na fixação de cobertura vegetal devido à intensa mobilidade através da água e do vento. Exemplo desse fenômeno e forma de degradação pode ser encontrado nos areais do sudoeste do Rio Grande do Sul. As condições edafo-climáticas da região, com constituição arenítica predominante, constituída de classes de solos de textura arenosa, contribuem para a ocorrência desse processo. Esses solos, altamente friáveis, com predominância de grãos de quartzo, muitas vezes com ausência total de agregação, são extremamente frágeis.

Inicialmente, a arenização ocorreu por causas naturais, porém, com a ocupação humana e a prática da agropecuária, o processo foi intensificado, devido ao mau uso do solo. Os areais do Rio Grande do Sul ocupam uma grande faixa, abrangendo os municípios de Alegrete, Cacequi, Itaqui, Maçambará, Manoel Viana, Quaraí, Rosário do Sul, São Francisco de Assis e Unistalda. Esses areais têm como substrato o arenito da Formação Botucatu, onde, sobre ele, assentam-se os depósitos arenosos não consolidados, originários da deposição pela água e pelo vento. Devido à grande fragilida-

de desses solos, eles são muito propensos à erosão, tanto hídrica quanto eólica (Figuras 1.4 e 1.5). Portanto, caso não seja adotado um manejo conservacionista nas práticas agropecuárias, esse fenômeno poderá agravar-se cada vez mais.



**Figura 1.4** – Arenização do solo no município de Manoel Viana, RS (Foto: E. L. de Souza, 2009).



**Figura 1.5** – Camada de solo erodida pela ação da água e do vento em Manoel Viana, RS (Foto: E. L. de Souza, 2009).

### 1.3 DEGRADAÇÃO BIOLÓGICA

Os atributos biológicos são os primeiros a serem afetados com a degradação do solo e, normalmente, os últimos a serem recuperados. Inicialmente, a degradação provoca uma redução na capacidade do solo em sustentar a vida dos organismos produtores e consumidores, em razão da diminuição na qualidade de seu habitat. As condições adversas, proporcionadas pela degradação, trazem prejuízos às plantas e aos organismos do solo, além de afetar negativamente os processos realizados por esses, resultando em severas consequências funcionais. Todas as práticas antrópicas sobre o solo levam a uma mudança na comunidade biológica, seja positiva ou negativa, pela interferência no habitat, como já mencionado. Por exemplo, adubação, calagem, retirada de nutrientes pela colheita, plantio direto, plantio convencional, queimadas, ausência de plantas de cobertura do solo em períodos ociosos nas lavouras, entre outras, são práticas que afetam os organismos do solo.

Normalmente, a adubação, seja ela química ou orgânica, promove um aumento na comunidade biológica do solo devido ao maior aporte de nutrientes e carbono. Porém, alguns processos biológicos importantes como, a fixação simbiótica de nitrogênio e associações micorrízicas, podem ser inibidos por doses elevadas de fertilizantes nitrogenados e fosfatados, respectivamente, como foi discutido na Disciplina de Biologia do Solo. Solos com teores mais elevados de matéria orgânica, como no plantio direto, favorecem os organismos, pelo maior aporte de carbono e nutrientes. Já o plantio convencional, pela intensa mecanização e consequente perda de matéria orgânica, é, normalmente, prejudicial à biota do solo.

Os resultados do trabalho realizado por Giacomini et al. (2006), constituem um bom exemplo para ilustrar o efeito do manejo do solo sobre os microrganismos. Os autores avaliaram os teores de carbono e nitrogênio total no solo e as quantidades de C e N na biomassa microbiana, comparando dois solos não cultivados (campo nativo e mata), a dois sistemas de sucessão/rotação de culturas, os quais foram conduzidos sob preparo convencional do solo e plantio direto (**Tabela 1.1**). As maiores diferenças entre os tratamentos para todas as variáveis analisadas ocorreram na camada 0-5 cm, onde os valores para a mata superaram os demais tratamentos. Tais resultados evidenciam que a grande diversidade de plantas e a cobertura vegetal na mata aumentam os teores de matéria orgânica, favorecendo a biomassa microbiana, quando comparado ao solo cultivado, independentemente do sistema de manejo.

Outro aspecto a ser salientado na tabela 1 é que, comparando-se na camada de 0-5 cm os dois sistemas de preparo do solo (plantio direto x preparo convencional) percebe-se que, mesmo não

diferindo significativamente, no plantio direto há uma tendência de maiores valores para as variáveis em relação ao preparo convencional. Esse resultado evidencia que o plantio direto apresenta condições mais favoráveis aos microrganismos do solo do que o preparo convencional. Pode-se inferir que essa diferença em favor do plantio direto tenderá a ser maior quanto maior for o tempo de implantação do sistema. Por outro lado, quanto maior o tempo de trabalho do solo através do sistema de preparo convencional, com aração e gradagem, maior deverá ser a degradação biológica do solo.

TRATAMENTOS	C TOTAL			C BIOMASSA			N TOTAL			N BIOMASSA		
	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
	g kg <sup>-1</sup>			mg kg <sup>-1</sup>			g kg <sup>-1</sup>			mg kg <sup>-1</sup>		
1. T/S – PC <sup>1</sup>	21,3	20,9	17,3	259	102	137	1,83	1,66	1,38	29,3	13,1	15,9
2. T/S – PD	23,0	15,0	13,7	440	253	229	1,69	1,33	1,11	32,5	12,1	7,5
3. T/S/A/S/AE/M – PC	22,2	21,2	18,2	230	243	161	1,81	1,76	1,45	25,1	23,3	23,9
4. T/S/A/S/AE/M – PD	27,2	19,1	17,6	430	295	164	2,36	1,50	1,33	35,1	15,7	18,0
5. Campo	27,9	20,3	21,3	546	241	432	1,88	1,43	1,45	43,4	32,9	32,1
6. Mata	36,7	19,6	14,6	967	327	127	3,68	2,16	1,48	80,9	17,4	11,6
Tukey 5%	5,3	5,7	1,8	300	218	253	0,91	0,66	0,29	20,1	ns	26,4

<sup>1</sup>PC = preparo convencional; PD = plantio direto; T = trigo; S = soja; A = aveia; AE = aveia + ervilhaca; M = milho; ns = não significativo

**Tabela 1.1** – Carbono total e nitrogênio total no solo e carbono e nitrogênio da biomassa microbiana do solo sob diferentes sistemas de preparo e de culturas e sob campo nativo e mata nativa (Fonte: adaptado de S. J. Giacomini et al., 2006).

A queima de resíduos vegetais presentes na superfície do solo pode levar, também, a uma diminuição na quantidade e na diversidade da comunidade biológica. Isso porque os resíduos culturais, além de fornecerem carbono e nutrientes aos microrganismos presentes nas camadas mais superficiais do solo também atuam como isolante térmico, protegendo os microrganismos de variações bruscas na temperatura.

A adição de elementos ou compostos tóxicos no solo como, por exemplo, metais pesados e xenobióticos, através da ação do homem em práticas agrícolas, além de resíduos industriais e de mineração, também degradam a biota do solo. Por isso que a ocorrência e os tipos de organismos do solo, com destaque para os microrganismos, têm sido empregados como indicadores da qualidade do solo, quando este é utilizado pelo homem.

## UNIDADE 2

# DEGRADAÇÃO FÍSICA DO SOLO

## INTRODUÇÃO

Na unidade 1, foi bastante discutida a erosão como o principal fenômeno de degradação física e geral dos solos pela agricultura. Devido à magnitude desse problema para os agricultores e para a sociedade com um todo, a unidade 2 será dedicada exclusivamente ao estudo dos processos erosivos do solo.

A erosão é responsável por grandes perdas de solo, matéria orgânica, nutrientes, fertilizantes, sementes, entre outros. Por isso, a erosão leva à perda de qualidade e produtividade do solo. Inclusive, deve-se ressaltar que o plantio direto, embora tenha contribuído enormemente para a diminuição da erosão, ainda precisa de muita atenção na sua prática, porque tem sido observada muita erosão superficial em lavouras, especialmente após chuvas mais intensas e isso deve ser evitado o mais fortemente possível.

Atualmente, as margens de lucro das atividades agropecuárias são cada vez mais reduzidas e a forte vinculação da agricultura com a qualidade do ambiente torna imprescindível a busca da maximização e compatibilização da eficiência técnica dos processos produtivos com a preservação ambiental. Partindo-se desse pressuposto, o conhecimento, a prevenção e o controle da erosão, são práticas indispensáveis na agricultura atual. Para isso, os cursos superiores ligados às atividades agropecuárias têm um importante papel na formação de técnicos com competência para orientar os agricultores nessa área. É fundamental que todos tenham a exata noção de que o solo e a água são indissociáveis no ambiente, o que significa dizer que o mau uso do solo implicará, necessariamente, o comprometimento da qualidade e quantidade de água disponível ao homem e animais.

Nessa unidade, veremos os tipos e consequências da erosão na agropecuária, cujo conhecimento constitui fator primordial para a tomada de decisão e para o planejamento dos sistemas conservacionistas.

## OBJETIVOS

- introduzir a conservação do solo;
- verificar as consequências dos processos erosivos para a agricultura e o ambiente;
- caracterizar os diferentes tipos de erosão quanto ao seu agente, fases, formas e processos de ocorrência.

## 2.1 INTRODUÇÃO À CONSERVAÇÃO DO SOLO

Nas civilizações antigas, com uma população diminuta, a alimentação proveniente da natureza era farta e, aparentemente, infinita. Pequenos povoados, normalmente, se instalavam em locais onde havia abundância de água e alimentos, ou eram nômades. Porém, quando havia exaustão dos alimentos presentes naquele ambiente específico, os povoados eram deslocados para locais com maior disponibilidade de recursos. Isso significa dizer que o homem, em seus processos nômades ou quando cultivava o solo, deixando-o em pousio por alguns anos antes de retornar para seu uso, estava utilizando a fertilidade natural do solo, ou seja, a reserva de nutrientes que eram disponíveis às plantas.

A partir do momento em que as plantas diminuía o seu crescimento, pela degradação física ou diminuição na disponibilidade de nutrientes, o homem procurava outra área nova para o cultivo. Disso tudo, resultava um cenário no qual as primeiras plantações para subsistência eram feitas sem a reposição dos nutrientes extraídos e, muitas vezes, sem práticas conservacionistas. Com o passar do tempo, as áreas tornavam-se inférteis e inapropriadas para o cultivo, fazendo com que houvesse a migração dos povoados para outras áreas mais favoráveis. Por isso que, somente após o homem começar a adicionar nutrientes no solo, na forma de fertilizantes de origem industrial ou de adubos orgânicos produzidos na propriedade, foi possível passar de um modelo de agricultura itinerante para uma agricultura com o cultivo continuado de espécies em uma mesma área.

A crescente necessidade de produção de alimentos, em função do aumento expressivo da população e do surgimento das grandes cidades, levou à abertura de grandes extensões de matas e florestas para a implantação de lavouras e pastagens com a finalidade de introduzir mais cultivos para grãos e forragem para animais. No Brasil, essa situação foi observada de forma mais intensa na década de 60, com o surgimento da Revolução Verde, com cunho extremamente produtivista através do uso massivo de insumos e da mecanização agrícola. Os baixos conhecimentos técnicos da época levaram a uma enorme agressão ao ambiente e suas consequências são vivenciadas pelo homem ainda na atualidade. As matas eram derrubadas e, após, realizava-se um preparo intenso do solo para a implantação das culturas comerciais, com destaque para a soja na região sul do Brasil.

Muitas vezes, o preparo do solo e a semeadura eram feitos sem obedecer a declividade das lavouras, com ausência de terraceamento. Além do preparo convencional do solo, através de aração e gradagem, ainda era utilizada a prática da queimada dos resíduos culturais para facilitar a semeadura. Um exemplo típico dessa situação no Rio Grande do Sul consistia em queimar os resíduos culturais das cultu-

ras de inverno para que, com as máquinas disponíveis na época, fosse possível uma adequada semeadura da cultura da soja, especialmente, em sucessão ao trigo. As consequências negativas desse tipo de manejo do solo, com queimadas frequentes e preparo convencional do solo, foram o rápido declínio na matéria orgânica e desagregação do solo, tornando-o altamente susceptível à ocorrência da erosão.

A adoção de práticas conservacionistas como o terraceamento e o cultivo em nível resolviam, em parte, o problema da erosão. Porém, em áreas com relevo mais acidentado, a força da enxurrada acabava destruindo os terraços e transportando grandes quantidades de solo, nutrientes, sementes, entre outros, para as partes mais baixas das lavouras, tendo, normalmente, como destino final os cursos de água das bacias hidrográficas. Com isso, outro problema que começou a ser agravado foi o assoreamento dos mananciais hídricos, bem como a poluição desses pelos nutrientes e agroquímicos utilizados nas áreas de produção. Enfim, vários foram os problemas enfrentados por esse modelo de produção, forçando a busca de alternativas para evitar uma degradação ainda maior do ambiente e da agricultura. Inclusive, grande parte dos problemas de inundação em áreas urbanas e meio rural, que se verifica nos últimos anos, são consequências da erosão e consequente depósito de partículas no fundo dos rios, diminuindo o volume de água capaz de ser retido no leito natural desses rios.

No final da década de 60, com a crescente preocupação pelas consequências negativas da erosão sobre o ambiente e a produtividade agrícola, surgiram os primeiros trabalhos de pesquisa com o plantio direto e o caminho para uma agricultura mais conservacionista. O plantio direto, que somente iria se difundir em relação à maioria das lavouras na década de 90, controlou em grande parte os problemas causados pela erosão, freando o avanço da degradação de muitas áreas e possibilitando a recuperação de áreas já degradadas. Várias foram as vantagens decorrentes da adoção do plantio direto, causando uma renovação no campo, e isso será visto com detalhes na unidade 4. Porém, como a natureza, felizmente, sempre tem mecanismos naturais para reagir a tudo aquilo que o homem faz, surgiram algumas coisas que o homem, obviamente, considera negativas como plantas invasoras resistentes a herbicidas, compactação do solo, doenças, pragas, entre outros.

A maioria dos problemas resultantes da utilização do plantio direto decorre da má condução do sistema como, por exemplo, a retirada de terraços indiscriminadamente, quando o melhor seria seu redimensionamento e sua adequação na forma, em função do plantio direto. Outro problema consiste na semeadura feita no sentido de maior comprimento da área que, muitas vezes, ocorre no sentido do desnível do terreno, levando à erosão. Isso se constitui

numa das atitudes mais condenáveis do homem no uso do solo, em áreas sob plantio direto. Esses problemas principais, aliados à falta de um sistema adequado de rotação de culturas e à adoção de diversas outras práticas de manejo inadequadas, ainda continuam sendo entraves a um plantio direto adequado.

Atualmente, a conservação do solo é bastante ampla, estando associada à agricultura conservacionista, na qual se busca a preservação dos recursos naturais através de um manejo integrado do solo, da água e da biodiversidade. Para isso, vários fatores devem ser observados como: a) uso do solo de acordo com a sua capacidade de uso; b) preservação de banhados, nascentes, entre outros; c) redução da mobilização do solo; d) manutenção dos resíduos culturais sobre a superfície do solo; e) utilização de rotação de culturas, aliada ao uso de plantas de cobertura; f) diversificação dos sistemas agropecuários, como sistemas agropastoris, agroflorestais e agrosilvipastoris; g) adoção de um sistema de manejo integrado de pragas, doenças e plantas invasoras; h) controle no uso de máquinas e equipamentos; i) uso racional e moderado de agroquímicos.

Todos esses fatores combinados levarão a uma agricultura conservacionista que, feita corretamente, será ambientalmente aceitável e garantirá o uso do solo e a disponibilidade de água às gerações futuras. Por isso, é necessário que o plantio direto, cada vez mais tecnificado, também incorpore esse conceito e imprima um maior caráter de sustentabilidade à agricultura. Embora ainda existam alguns problemas e entraves no plantio direto, para os quais a pesquisa tem apresentado alternativas melhores, ele é a forma de manejo do solo que mais se assemelha às condições naturais e, por isso, deve ser cada vez mais aprimorado para atender aos interesses do homem e da natureza.

Portanto, para que se tenha uma agricultura cada vez mais conservacionista, é necessário um grande investimento em pesquisa e educação, a fim de desenvolver ainda mais o sistema plantio direto. Além disso, os profissionais formados por instituições de ensino técnico ou superior devem desempenhar um importante papel nesse processo, que é a transferência ao produtor rural das tecnologias geradas. Com isso, será possível atingir uma agricultura mais racional e produtiva com segurança alimentar e preservação do ambiente.

## 2.2 EROSÃO HÍDRICA: OS AGENTES, AS FASES, AS FORMAS E O PROCESSO

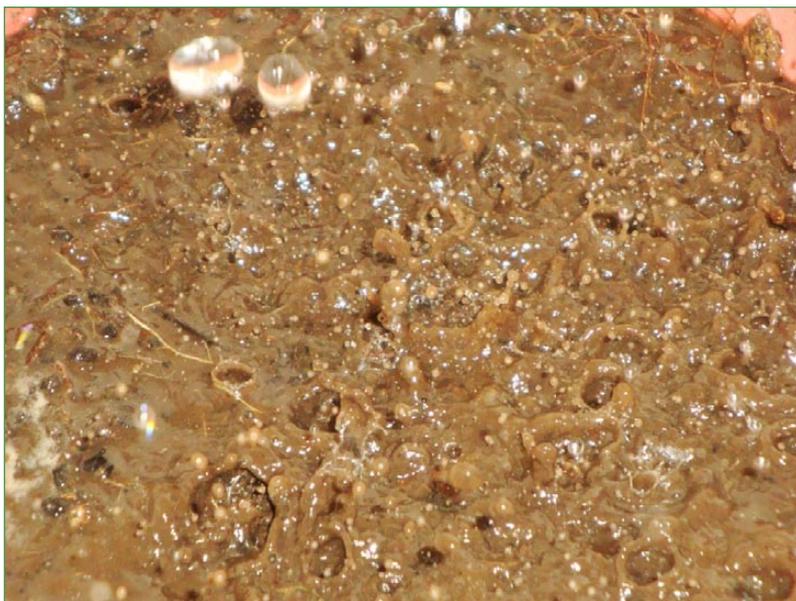
### 2.2.1 Os agentes

A erosão hídrica é aquela causada pela ação da água, principalmente da chuva, sendo, no Brasil, a forma mais comum de ocorrência.

### 2.2.2 As fases e o processo

O processo que leva à erosão hídrica pode ser dividido em três fases: desagregação, transporte e deposição.

A **desagregação** ocorre quando a chuva atinge a superfície do solo e ocasiona o umedecimento dos agregados, com consequente diminuição de suas forças coesivas. Durante a ocorrência da chuva, os agregados são desintegrados em partículas menores pelo impacto das gotas sobre o solo (**Figura 2.1**). A desagregação vai aumentando à medida que aumenta a energia cinética da chuva, a qual se dá em função da intensidade, da velocidade e do tamanho das gotas.



**Figura 2.1** – Impacto das gotas de chuva sobre o solo causando desagregação  
(Foto: A. Doneda, 2009).

O **transporte** das partículas de solo começa a ocorrer no momento em que a intensidade da chuva excede a capacidade de infiltração da água do solo. A capacidade de infiltração decresce com o tempo de ocorrência da chuva, tanto pelo umedecimento do solo, como pelo efeito do selamento superficial. Simultaneamente ao transporte, também vai ocorrendo a enxurrada, a qual vai aumentando sua velocidade à medida que o volume de água e sólidos e a declividade do terreno aumentam. Quando a enxurrada aumenta e vai ganhando força, a capacidade de gerar atrito e desagregação

é intensificada, como é ilustrado na **figura 2.2**. Observa-se que, no início (parte mais elevada do terreno), a área de ação da erosão é pequena e aumenta com o declive do terreno.



**Figura 2.2** – Aumento da ação da enxurrada com o declive do terreno (Foto: A. Doneda, 2008)

Quando a carga de sedimentos é maior que a capacidade de transporte da enxurrada, ocorre a **deposição** das partículas de solo nas partes mais baixas do declive (**Figura 2.3**). A ordem de deposição das partículas pela ação da água da chuva está inversamente relacionada ao seu tamanho. Primeiramente se depositam as partículas maiores e, posteriormente, as menores que, pelo fato de percorrerem maiores distâncias em direção às partes mais baixas do terreno, poderão atingir os cursos hídricos.

Portanto, para um bom controle e prevenção da erosão, é necessário não somente impedir a enxurrada, mas também e, principalmente, amenizar o efeito das gotas de chuva sobre a dispersão dos agregados do solo, o que é o primeiro passo, ou seja, o que desencadeia o processo erosivo.



**Figura 2.3** – Deposição nas partes mais baixas do relevo das partículas de solo transportadas pela erosão (Fotos: A. Doneda, 2009)

### 2.2.3 Formas

As principais formas de ocorrência da erosão hídrica são a erosão laminar, a erosão em sulcos, as voçorocas e a erosão em túnel. Embora existam outras formas de erosão, nesta disciplina serão enfocadas apenas aquelas de maior importância para a agricultura.

#### 2.2.3.1 Erosão laminar

A erosão laminar (**Figura 2.4**) é a primeira evidência clara de que houve a desagregação e o transporte de partículas do solo e resíduos de plantas. Nessa forma de erosão, ocorre a remoção de finas camadas de solo, podendo, muitas vezes, nem ser notada pelo agricultor. Daí a necessidade da atenção à observação no campo, porque a água sempre escoar por canais preferenciais e, por menor que

seja a erosão laminar, irá favorecer seu agravamento, porque será onde a água irá escoar, preferencialmente, nos próximos eventos de chuvas. Por isso, a erosão laminar pode ser considerada como a mais perigosa das formas de erosão, uma vez que a água, quando se acumula na superfície do solo, move-se morro abaixo, tomando o caminho de menor resistência do solo e ganha velocidade à medida que a lâmina de água e o declive do terreno aumentam.

A desagregação e posterior deslocamento do material ocorrem superficialmente, sem a formação de sulcos ou quando esses ocorrem são pouco profundos. A quantidade de sedimentos transportados pela erosão laminar é dependente da intensidade da enxurrada que, por sua vez, é influenciada pelo tamanho, densidade e arranjo das partículas do solo, além dos obstáculos encontrados no arraste, como plantas, resíduos culturais, entre outros.

Outro aspecto que evidencia as consequências da erosão laminar é o fato de que, no plantio direto, a maior parte dos nutrientes e da matéria orgânica, está concentrada nas camadas mais superficiais do solo, ou seja, o impacto negativo, mesmo da perda de camadas pouco profundas de solo, é muito significativo.



**Figura 2.4** – Erosão laminar (Foto: A. Doneda, 2008).

### **2.2.3.2 Erosão em sulcos**

A erosão em sulcos é resultante de pequenas irregularidades no sentido da declividade do terreno, as quais concentram a enxurrada em alguns pontos que são passíveis de atingir volume e velocidade suficientes para formar sulcos com profundidade variável, podendo ser muito destrutivo, como mostrado na **Figura 2.5**. Normalmente, ocorre pela ação de chuvas de grande intensidade e em terrenos com alta declividade.



**Figura 2.5** – Erosão em sulcos, causada pela semeadura no sentido da declividade (Foto: A. Doneda, 2008).

### 2.2.3.3 *Voçorocas*

As voçorocas são formadas por grandes concentrações de enxurrada que passam ano após ano no mesmo sulco, o qual vai aumentando de tamanho pelo intenso deslocamento de grandes massas de solo, finalizando em enormes cavidades que se estendem em comprimento e profundidade (**Figura 2.6**). Essa é considerada a forma mais impressionante da ação descontrolada da enxurrada sobre o solo, bem como aquela de mais difícil correção, ou mesmo controle, para evitar que aumente sua magnitude.





**Figura 2.6** – Voçorocas (Foto: A. Doneda, 2008).

#### **2.2.3.4 Erosão em túnel**

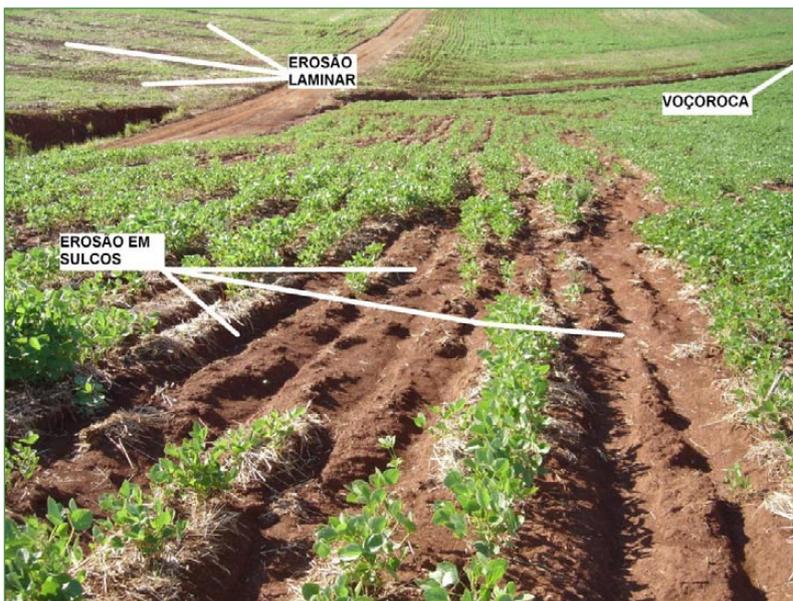
Essa forma de erosão ocorre quando a água infiltra no perfil e encontra uma camada impermeável que não pode transpor como, por exemplo, o horizonte B textural dos Argissolos, (**Figura 2.7**). Com isso, a água desloca-se sobre essa camada adensada, formando um túnel subterrâneo, desaguando na encosta. A partir do local de afloramento da água, forma-se, morro acima, um contínuo processo de desbarrancamento, o qual pode levar à formação de uma voçoroca sobre o túnel construído, que perde sua sustentação e desbarranca.





**Figura 2.7** – Erosão em túnel (Foto: A. Doneda, 2009).

De maneira geral, as formas de erosão laminar, em sulcos e voçorocas podem ocorrer conjuntamente na mesma área (Figura 2.8). Porém, as voçorocas ocorrem em um período de tempo mais longo de ação da enxurrada.



**Figura 2.8** – Ocorrência, na mesma área, de erosão laminar, em sulcos e voçoroca (Foto: A. Doneda, 2008).

## 2.3 FATORES QUE AFETAM A EROSÃO HÍDRICA

Os fatores que afetam a erosão hídrica podem ser exemplificados através da equação de perdas de solo, a qual é expressa por:

$$A = R.K.L.S.C.P$$

Onde:

- **A** = perda de solo em  $t\ ha^{-1}$ ;
- **R** = fator chuva, ou seja, o potencial da chuva em ocasionar erosão;
- **K** = fator erodibilidade do solo, ou seja, a capacidade de cada solo em resistir à erosão;
- **L** = fator comprimento do declive;
- **S** = fator grau de declive;
- **C** = fator uso e manejo do solo;
- **P** = fator práticas conservacionistas.

Através dessa equação, a perda de solo é o produto das seis variáveis e depende da interação entre elas. O entendimento desses fatores e das relações existentes entre eles é fundamental para o manejo da erosão, bem como para a sua prevenção. Dentre os fatores da equação, existem os controláveis e os incontroláveis. Os fatores chuva, grau de declividade e algumas características físicas do solo, não podem ser diretamente controlados, porém, seus efeitos podem ser modificados com práticas conservacionistas como o terraceamento e o plantio direto.

### 2.3.1 Fator chuva (R)

Devido à estreita relação entre o tamanho, a velocidade e a forma das gotas de chuva, o estudo sobre as gotas é importante para determinar a intensidade da chuva, que é a quantidade de chuva que cai por unidade de tempo. O **tamanho das gotas** é variável, desde gotas minúsculas como as da cerração, até gotas com 6 a 7 mm de diâmetro. Em uma chuva, normalmente, ocorrem todos os tamanhos de gotas. Porém, existe uma correlação definida entre o tamanho médio das gotas e a intensidade da chuva, onde quanto maior o diâmetro médio das gotas, maior a intensidade da chuva. A força gravitacional, a resistência do ar e o vento determinam a **velocidade** de queda das gotas de chuva. A força da gravidade é uniforme para todos os tamanhos de gotas, já a resistência do ar é maior quanto menor for o diâmetro médio das gotas. O vento atua diminuindo ou aumentando a velocidade devido à interação de suas forças vetoriais ( $\rightarrow$  ou  $\uparrow$ ), com a força vetorial das gotas de chuva ( $\downarrow$ ). A **forma** das gotas está relacionada com o tamanho. Gotas pequenas são esféricas devido à maior tensão superficial.

Já gotas grandes são elípticas devido à menor tensão superficial, fazendo com que se rompam pela ação da resistência do ar, sendo que, por isso, não existem gotas maiores que 7 mm. A intensidade da chuva, por fim, é determinada pela seguinte equação:

$$I = V/T$$

Onde:

- I = intensidade da chuva;
- V = volume de chuva;
- T = tempo de ocorrência da chuva.

Quanto maior for a intensidade da chuva, maior será a energia cinética e, conseqüentemente, maior a desagregação do solo e a erosão. A associação entre a intensidade e a duração da chuva determina a precipitação total. Para chuvas de mesma intensidade, quanto maior a duração, maior será o volume de água e maior o potencial em causar erosão.

A quantidade total e a frequência das chuvas são importantes na ocorrência da erosão. Isso ocorre porque o solo tem um limite de absorção de água e, quando a chuva excede esse limite, ocorre o escoamento da água sobre a superfície do solo causando a erosão. A frequência das chuvas se refere ao intervalo de tempo entre duas chuvas consecutivas. Assim, quanto menor esse intervalo, maior o teor de umidade no solo e menor o potencial de absorção de água por ele, o que provoca maior escoamento superficial e maior erosão.

### 2.3.2 Fator erodibilidade do solo (K)

A erodibilidade do solo refere-se à capacidade erosiva de acordo com as propriedades inerentes a ele, como: tipo e teor de argila, estrutura, agregação, porosidade, teor de matéria orgânica, capacidade de infiltração, entre outros.

O **tipo e teor de argila** influenciam na capacidade erosiva de um solo. Geralmente, quanto maior o teor de argila, menor a suscetibilidade à erosão, devido ao efeito cimentante das argilas, o que dificulta o desprendimento das partículas de solo.

A **estrutura** do solo é definida como o arranjo das partículas e sua disposição em agregados, e influencia a movimentação de água, aeração, densidade, porosidade, entre outras propriedades do solo. Alterações na estrutura podem tornar o solo mais suscetível à erosão. Um dos principais fatores responsáveis pela alteração ou até mesmo destruição na estrutura é o preparo excessivo do solo, através de aração e gradagem. Isso pode resultar em maior compactação do solo e diminuição da porosidade, com redução na infiltração de água no solo e aceleração da erosão.

A **agregação** do solo é uma importante propriedade relacionada à capacidade de um solo erodir, pois a estabilidade dos agregados determina a resistência deles à ação do impacto das gotas de chuva e, conseqüente, desprendimento das partículas de solo. As diferenças na estabilidade dos agregados de um solo para outro estão, normalmente, ligadas à presença de agentes cimentantes como a matéria orgânica e a presença de óxidos de ferro e alumínio.

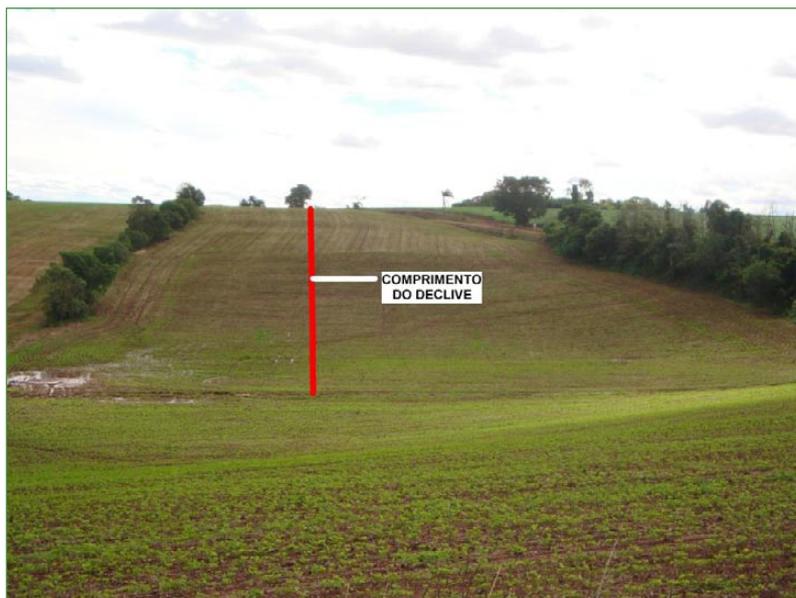
A **porosidade** do solo refere-se ao espaço poroso, o qual é a porção ocupada por ar, gases e água. O tamanho dos poros é determinado pela distribuição das partículas sólidas do solo, sendo classificados em macroporos e microporos. Pelo fato de a água do solo circular nos macro e microporos, qualquer alteração neles leva a uma interferência no curso da água. Com isso, a diminuição da porosidade ocasionada pelo manejo inadequado do solo, reduz a infiltração de água e aumenta a capacidade de erosão.

O **teor de matéria orgânica** apresenta importante papel na resistência aos processos erosivos por propiciar uma melhor estruturação e agregação do solo devido ao seu poder cimentante. Com isso, solos com maiores teores de matéria orgânica, são mais resistentes à erosão por serem menos propensos à desagregação através da ação dos agentes erosivos.

A **capacidade de infiltração** do solo é outra importante propriedade a ser considerada na predição da erosão. Ela corresponde à velocidade com que o solo deixa a água se movimentar no seu perfil sob condições de campo. O escoamento superficial é controlado pela capacidade de infiltração, no qual quanto maior essa capacidade, menor o escoamento superficial e menor a probabilidade de erosão. A capacidade de infiltração é afetada por fatores físicos e biológicos, cobertura vegetal, umidade do solo, intensidade da chuva, temperatura e declividade do terreno.

### **2.3.3 Fator comprimento do declive (L)**

O comprimento do declive é a medida em metros da rampa ou pendente, ou seja, da parte mais elevada até a mais baixa do relevo onde a água escoar ocasionando a erosão (**Figura 2.9**).



**Figura 2.9** – Comprimento do declive (Foto: A. Doneda, 2009).

De maneira geral, à medida que aumenta o comprimento do declive, aumenta também a velocidade da enxurrada. Com isso, a energia cinética da enxurrada também é aumentada e, conseqüentemente, maior é o potencial em desagregar e transportar as partículas de solo.

O efeito do comprimento do declive na erosão pode ser amenizado pelo homem através de práticas conservacionistas como cultivo em nível e terraceamento. Maiores detalhes sobre essa prática serão vistos na unidade 3.

#### **2.3.4 Fator grau do declive (S)**

O grau de declive refere-se à declividade do terreno (**Figura 2.10**). A declividade é o grau de inclinação de uma área, sendo uma relação entre a diferença de altura do ponto mais alto com o mais baixo e a sua distancia horizontal.



**Figura 2.10** – Declividade do terreno (Foto: A. Doneda, 2008).

Normalmente, a declividade é expressa em %, calculada através da seguinte fórmula:

$$D = (DN / DP) \times 100$$

Onde:

- **D** = declividade em %;
- **DN** = diferença de nível entre o ponto mais alto e o ponto mais baixo (m);
- **DP** = distância entre os dois pontos (m).

O grau de declive está diretamente relacionado com o volume e a velocidade da enxurrada. Quanto maior o declive, menos obstáculos e resistência à ação da água ocorrem, havendo, com isso, menor tempo para a água infiltrar e, conseqüentemente, maior erosão.

De maneira prática pode-se dizer que:

- quando o declive quadruplica, passando, por exemplo, de 2 para 8%, a velocidade da enxurrada duplica;
- quando a enxurrada dobra de velocidade, a sua capacidade de causar erosão fica multiplicada por quatro;
- quando a velocidade da enxurrada dobra, ela aumenta em 64 vezes a sua capacidade de desagregar partículas;
- quando a velocidade da enxurrada dobra, ela aumenta em 32 vezes a sua capacidade de transportar partículas.

### 2.3.5 Fator uso e manejo do solo (C)

Os vários tipos de manejo realizados no solo, as práticas culturais e os tipos de culturas utilizadas, interagindo entre si, constituem os principais fatores inerentes ao uso do solo. Por sua vez, o uso do solo pode influenciar a ocorrência dos processos erosivos, positiva ou negativamente. Assim, a erosão pode variar dependendo dos **tipos de culturas** utilizados, em função, principalmente, da arquitetura da planta e do sistema radicular, o que determinará uma maior ou menor cobertura do solo, além de alterações nas condições físicas do solo. Com relação ao **manejo e preparo do solo**, quando é incorporada a resteva, deixando o solo desprotegido, como no plantio convencional, a probabilidade de erosão é aumentada.

Quanto mais intenso for o preparo do solo, maiores as chances de ocorrer erosão. Da mesma forma, o manejo dado aos restos culturais, influencia diretamente a erosão. Caso os mesmos sejam retirados para fora da área, queimados, incorporados ou semi-incorporados, o solo ficará, também, desprotegido e mais predisposto à ocorrência dos processos erosivos. Por outro lado, com a manutenção dos resíduos na superfície do solo, como no plantio direto, o solo fica mais protegido e menos predisposto à erosão.

### **2.3.6 Fator práticas conservacionistas (P)**

Esse fator diz respeito às perdas de solo de acordo com a prática conservacionista utilizada, em relação ao cultivo no sentido do declive. Como exemplos de práticas conservacionistas, podem ser mencionados o plantio em contorno, o plantio em faixas de contorno, o terraceamento, o cultivo em nível e o plantio direto. Essas práticas serão abordadas de maneira mais detalhada na próxima unidade. Quando se utilizam práticas conservacionistas, há uma diminuição no impacto da erosão sobre o solo, sendo variável de acordo com a prática utilizada.

## **2.4 CONSEQUÊNCIAS DA EROSÃO NA PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA**

Como já visto nos tópicos anteriores, a erosão, dependendo de sua intensidade, pode causar um grande impacto sobre o solo e a água. Com isso, poderá comprometer a produção agropecuária em diversos aspectos como: perda da capacidade produtiva dos solos agrícolas; assoreamento de rios, açudes e barragens; desmoronamentos; danificação de estradas; descapitalização dos agricultores; êxodo rural, entre outros.

### **2.4.1 Perda da capacidade produtiva dos solos agrícolas**

A erosão carrega consigo para fora da área de cultivo, além das partículas de solo, também fertilizantes, agroquímicos e sementes e, por isso, ela acaba ocasionando a perda da capacidade produtiva da área erosionada. Com a perda de nutrientes pela erosão, há a necessidade de repor novamente o que foi perdido para garantir uma produtividade satisfatória. Com isso, o custo de produção da lavoura é aumentado. Por outro lado, caso não for feita uma adequada reposição dos nutrientes perdidos, a fertilidade do solo vai diminuindo, podendo chegar a níveis muito baixos, prejudicando o desenvolvimento normal das plantas.

Além dos fertilizantes perdidos, as sementes ou plantas jovens também podem ser perdidas quando ocorre erosão logo após a semeadura, levando à necessidade de replantio, o que aumenta o custo de produção. Em casos severos de erosão em solos rasos, como, por exemplo, os Neossolos e em declividades acentuadas, pode ocorrer a perda total da camada de solo e expor o horizonte C ou rocha consolidada, tornando a área inapta para a agricultura. Outro problema é a erosão consecutiva e não controlada em áreas de pastagens ou lavoura, pois, devido à excessiva formação de sulcos e até mesmo voçorocas, além do arraste de camadas densas de solo, acaba ocorrendo o abandono dessas áreas.

### **2.4.2 Assoreamento e poluição de rios, açudes e barragens**

As partículas de solo transportadas pela erosão são, normalmente, depositadas nas partes mais baixas do relevo, como visto anteriormente. Após chuvas muito intensas ou erosões consecutivas no mesmo local, os volumes de sedimentos que acabam se depositando no fundo dos rios, açudes e barragens podem ser tão grandes que acabam causando o assoreamento desses locais. Com isso, os rios têm seu curso natural obstruído pela carga de sedimentos, sendo um fator de impacto ambiental. Além disso, em barragens com a grande deposição de sedimentos no fundo do lago, há a diminuição do seu potencial de armazenamento de água. No caso de hidrelétricas, há redução no potencial de produção de energia, constituindo-se em um prejuízo para a sociedade. Não obstante, além do transporte de sedimentos, os nutrientes e agroquímicos carregados com a erosão podem ser uma fonte potencial de poluição aos cursos de água, prejudicando a fauna e a flora destes.

### **2.4.3 Desmoronamentos**

A ação da água da chuva, que desce causando erosão nas encostas, pode levar à ocorrência de desmoronamento. Esse fato é comumente observado nas margens de estradas, onde foi realizado o corte do relevo para a sua abertura, causando obstrução das sarjetas, entre outros. Além disso, em ocupações populacionais sem planejamento em áreas urbanas e com relevo acidentado, como ocorre nas grandes metrópoles, os desmoronamentos ocasionados pela erosão hídrica levam, muitas vezes, à perda total das residências. Em áreas agrícolas, próximas às encostas, também podem ocorrer grandes prejuízos pelos desmoronamentos, os quais levam à deposição de camadas de solo sobre os cultivos agrícolas, causando a perda desses.

Outra forma de desmoronamento ocorre nas encostas onde foi realizado desmatamento ou ocupação agrícola desordenada. Como o solo fica mais exposto nesses locais, o desmoronamento pode causar sérios prejuízos ao ecossistema local. O fato é que a grande maioria dos desmoronamentos é absolutamente previsível e somente assume gravidade devido à inconsequência do homem no uso de áreas propensas ao desmoronamento. É uma questão de atitude política de governantes municipais, principalmente, ao não evitar ocupações em áreas propensas ao desmoronamento. Isso passa a ser um problema ainda maior, porque a probabilidade é de que, face às alterações climáticas, ocorram chuvas cada vez mais desuniformes, ou seja, ocorrência de períodos com intensas precipitações, intercalados por períodos de falta de chuva, o que tenderá a agravar a ocorrência de desmoronamentos e suas consequências sociais e econômicas, além das ambientais.

#### 2.4.4 Danificação de estradas

Com a ocorrência de chuvas intensas, a erosão pode danificar ou até mesmo destruir as estradas internas das propriedades rurais, bem como as estradas municipais e as rodovias em geral. Os principais danos são: a) deslizamentos das beiras para dentro das sarjetas ou da própria via, além do solo advindo da erosão das lavouras, o que leva à obstrução delas; b) formação de voçorocas com o decorrer do tempo pelo volume intenso de água que escorre nas sarjetas (**Figura 2.11**); c) interrupção de tráfego já que, com a obstrução das sarjetas pelo arraste de cascalho e/ou solo, a água passa a escoar sobre as vias, ocasionando sulcos profundos (**Figura 2.12**); d) obstrução e destruição de bueiros devido ao transporte de solo pela água, fazendo com que ocorra escoamento da água sobre as vias; e) desmoronamentos nos taludes de estradas, o que pode levar ao rompimento delas. Esses prejuízos causados pela erosão nas estradas constituem, também, um problema social.



**Figura 2.11** – Formação de voçoroca na sarjeta de estrada pela ação da enxurrada (Foto: A. Doneda, 2008).



**Figura 2.12** – Sulcos profundos ocasionados pela ação da enxurrada em estrada (Foto: A. Doneda, 2008).

#### **2.4.5 Descapitalização dos agricultores**

Atualmente, a agricultura está, a cada ano, apresentando menores margens lucrativas, devido ao aumento constante dos custos de produção. Com isso, a maximização dos processos produtivos e, consequentemente, a manutenção dos fatores de produção é imprescindível. No entanto, quando grandes quantidades de solo, fertilizantes, sementes e outros são perdidos pela erosão, a necessidade de novas fertilizações e replantios acaba aumentando o custo de produção total da lavoura. Com isso, em anos sucessivos de erosão e maiores gastos com a manutenção das lavouras, os agricultores se tornam progressivamente descapitalizados. Por isso, é fundamental que o manejo adequado do solo seja a prioridade principal do agricultor em seu planejamento, porque isso poderá significar a conservação da qualidade do ambiente que ele dispõe para produzir. Assim, somente após investir na conservação do solo, o agricultor deve se preocupar em investir nos demais insumos necessários à produção.

#### **2.4.6 Êxodo rural**

Casos severos de erosão, principalmente em pequenas áreas, podem levar à perda total e irreversível da capacidade produtiva do solo. Com isso, por não ser mais economicamente viável o seu cultivo, os agricultores migram na busca de outras áreas ou abandonam a atividade agrícola indo para as cidades, caracterizando assim o êxodo rural, com sérias consequências sociais. À medida que o solo vai diminuindo sua capacidade de oferecer às plantas um ambiente mais adequado possível para o seu crescimento, significa que o homem terá que investir cada vez mais para contornar esses problemas e, portanto, diminuir sua margem de lucro. Essa é a lógica que explica, também, grande parte do êxodo rural.

### **2.5 EROSÃO EÓLICA: AGENTE, FASES E FORMAS**

#### **2.5.1 Agente**

A erosão eólica é ocasionada pelo vento. Geralmente, ocorre em regiões mais planas, de precipitação menos intensa, com vegetação natural escassa, com solos mais arenosos e desagregados e onde sopram ventos fortes. No estado do Rio Grande do Sul, esse tipo de erosão é muito comum nos Neossolos Quartzarênicos da região sudoeste do estado, onde ocorrem os areais, descritos na unidade 1, além do litoral, através do movimento das dunas.

#### **2.5.2 Fases**

Assim como na erosão hídrica, a erosão eólica é dividida em três fases: a desagregação e início do movimento, transporte e deposição.

A **desagregação e início do movimento** das partículas de solo são causados pela ação das forças do vento sobre a superfície do terreno (**Figura 2.13**). A velocidade mínima do vento para iniciar o movimento das partículas mais erodíveis, com cerca de 0,1 mm de diâmetro, situa-se em torno de  $15 \text{ km h}^{-1}$ , a uma altura de 30 cm da superfície do solo. Essas partículas mais leves se projetam a certa altura na camada de turbulência do vento e adquirem força para serem movimentadas e transportadas do seu local de origem.



**Figura 2.13** – Desagregação e movimentação das partículas de solo pela ação do vento em um Neossolo Quartzarênico, no município de Manoel Viana, RS (Foto: E. L. de Souza, 2009).

O **transporte** das partículas de solo é influenciado pelo tamanho e velocidade do vento, ocorrendo de três formas: saltamento, suspensão e rolamento. No **saltamento** ocorre o rápido movimento das partículas do solo, com tamanho de 0,1 a 0,5 mm, na forma de curtos saltos, pela ação do vento e colisão das partículas. As partículas sobem verticalmente 15 a 30 cm, dependendo da velocidade do vento e de seu tamanho e se deslocam cerca de cinco vezes a altura atingida. Ao atingirem novamente o solo, as partículas impactam-no, provocando a movimentação de novas partículas, continuando o processo. Na **suspensão**, as partículas de solo, de tamanho inferior a 0,1 mm, constituídas de areia fina, silte e argila, ficam suspensas no ar e são transportadas a grandes distâncias. O **rolamento** ocorre com as partículas mais pesadas, entre 0,5 e 3,0 mm de diâmetro. Pelo seu peso mais elevado, as partículas não são erguidas, mas sim arrastadas sobre a superfície do solo pela força do vento e pelo impacto de outras partículas erodidas.

A **deposição** ocorre quando há diminuição parcial ou total da velocidade do vento. Primeiramente, depositam-se as partículas mais pesadas, transportadas por rolamento, posteriormente as partículas intermediárias, transportadas por saltamento e, por fim, as partículas mais leves, transportadas por suspensão.

### **2.5.3 Formas**

Existem cinco formas de ocorrência da erosão eólica: a **detrusão**, que consiste na desagregação de grânulos grosseiros diretamente pela força do vento, ou pelo bombardeamento das partículas movidas pelo saltamento; a **efluxão**, onde há a remoção dos grânulos de 0,05 a 0,5 mm, na sua maioria por saltamento, porém podendo ocorrer, também, por rolamento ou suspensão; a **extrusão**, que consiste no rolamento das partículas mais grosseiras sobre a superfície do solo; a **eflação**, ou seja, a remoção das partículas por suspensão e, por fim, a **abrasão**, que é a desagregação das partículas mais grossas da superfície pelo impacto das partículas carregadas em suspensão.

### UNIDADE 3

## RECUPERAÇÃO DE SOLOS DEGRADADOS

### INTRODUÇÃO

Conforme já apresentado nas duas unidades anteriores, a degradação do solo pode chegar a níveis tão elevados que ele se torna improdutivo ou inapto para a agropecuária. Porém, práticas conservacionistas de prevenção e recuperação podem evitar o avanço da degradação dos solos agrícolas. As práticas agropecuárias são, normalmente, fatores que podem levar à degradação se não realizadas corretamente dentro de um manejo conservacionista do solo, visando o uso dele dentro de sua potencialidade e capacidade de uso. De maneira geral, as práticas de prevenção e recuperação de áreas degradadas devem: a) proporcionar uma cobertura do solo, através das plantas vivas ou de seus resíduos culturais, durante o maior tempo possível; b) maximizar o potencial de infiltração da água da chuva e/ou irrigação no solo; c) evitar o escoamento da água no sentido do declive. Portanto, o manejo e conservação do solo são fundamentais à manutenção de sua qualidade e capacidade produtiva, garantindo esse recurso natural tão importante às gerações futuras.

### OBJETIVO

- Apresentar as principais práticas mecânicas e vegetativas na prevenção e recuperação de solos degradados.

### 3.1 MÉTODOS MECÂNICOS

As práticas mecânicas de prevenção e recuperação de áreas degradadas, principalmente pela erosão, são aquelas em que se utilizam estruturas artificiais para a disposição adequada de glebas de cultivos agrícolas, evitando ao máximo a ação da enxurrada e aumentando a infiltração da água no solo. As principais práticas utilizadas são as seguintes:

#### 3.1.1 Cultivo em nível

O cultivo em nível ou em contorno consiste em dispor, além de todas as operações de cultivo e preparo do solo, as linhas de semeadura ou plantio no sentido transversal à pendente do terreno, através do uso de curvas de nível e linhas em contorno. Para as linhas em contorno, o ideal é que elas estejam sempre no mesmo nível, acompanhando as curvas de nível ou, quando não for possível, que estejam próximas delas, porém, sempre transversais ao sentido da declividade.

Através dessa prática, as fileiras de plantas, bem como os sulcos de semeadura ou do preparo do solo, são obstáculos para o livre percurso da enxurrada, amenizando os processos erosivos. Não obstante, as curvas de nível, além de ser um obstáculo ao movimento de água, também proporcionam a sua infiltração no solo. A declividade máxima do solo recomendada para essa prática é de até 3%. O cultivo em nível pode reduzir em mais de 50% as perdas de solo pela erosão, porém, essa prática, isoladamente, não controla todos os processos erosivos, sendo necessário associá-la com outras práticas conservacionistas que serão vistas adiante.

A partir da difusão do plantio direto, muitos agricultores estão equivocadamente retirando as curvas de nível, bem como os terraços, a fim de facilitar as operações de manejo resultando em maior eficiência operacional das máquinas agrícolas. Além disso, as operações de semeadura vêm sendo realizadas no sentido do maior comprimento da gleba, o que, muitas vezes, ocorre no sentido da declividade. Embora o plantio direto exerça papel importante na dissipação da energia capaz de causar a erosão, como será visto na próxima unidade, existem limites críticos de declividade a partir dos quais essa eficácia pode ser comprometida, levando à erosão hídrica.

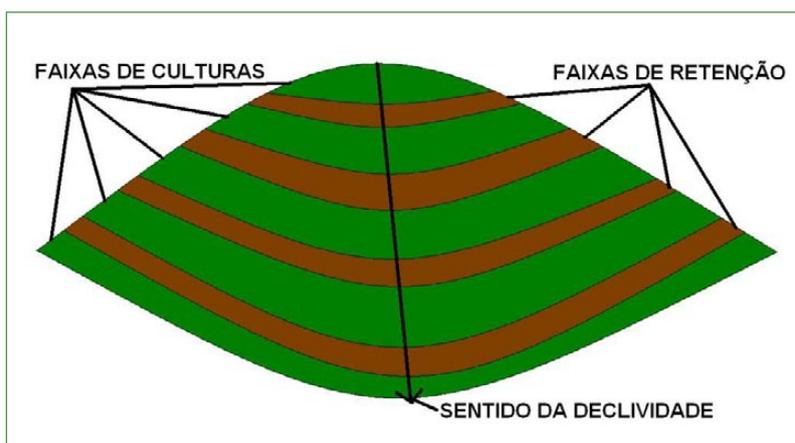
Portanto, essa retirada indiscriminada das curvas de nível e dos terraços, aliada à semeadura no sentido da declividade, pode tornar a área predisposta à ocorrência de erosão hídrica, trazendo sérios prejuízos ao produtor rural. Por isso, para a prevenção da enxurrada é necessário, além do plantio direto, a semeadura em nível associada às curvas de nível e ao terraceamento. Quando, por escolha do produtor, não for utilizado o terraceamento ou curvas de nível no plantio direto, ao menos deve ser realizada a semeadura em nível, como forma de amenizar o problema.

### 3.1.2 Culturas em faixas

Essa prática conservacionista consiste no cultivo alternado de culturas em faixas, as quais são demarcadas em nível, ou com pequeno desnível no terreno, no sentido perpendicular à declividade. É uma prática pouco utilizada pelos agricultores, porém de grande eficiência para pequenas áreas declivosas. Os objetivos dessa modalidade de conservação são: diminuição da velocidade da enxurrada; aumento na infiltração da água da chuva; diminuição das perdas de solo, matéria orgânica, fertilizantes e proteção das margens de rios, lagoas e barragens. As culturas em faixas apresentam eficiência no controle da erosão em áreas com declive de até 6%, sendo que a eficiência diminui com o aumento da declividade.

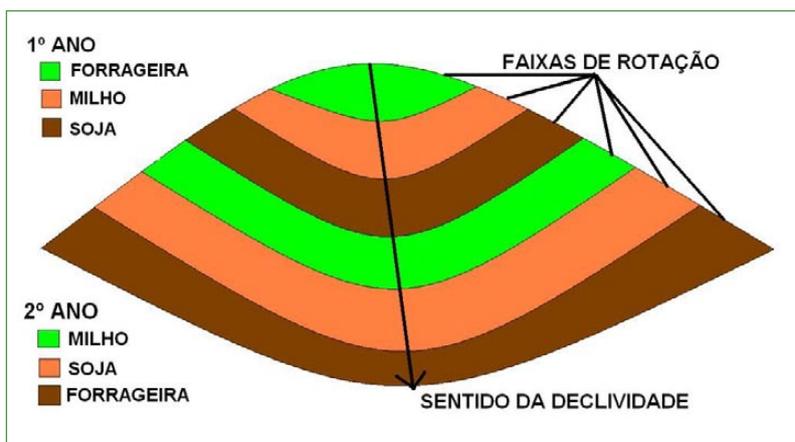
Existem três tipos de culturas em faixas: **faixas de retenção**, **faixas de rotação** e **faixas conjugadas**.

As **faixas de retenção** (Figura 3.1) são alternadas entre as faixas de culturas, com a finalidade de reduzir a velocidade do escoamento superficial, apresentando uma grande densidade de plantas. As plantas utilizadas nas faixas de retenção devem apresentar ciclo longo, grande desenvolvimento de raízes e massa foliar, desenvolvimento rápido, capacidade de desenvolvimento em grandes densidades e ter aplicação útil e valor econômico como, por exemplo, para a alimentação de animais. Exemplos de plantas para ser utilizadas nas faixas de retenção são, a cana-de-açúcar, o capim elefante, o capim cidreira e a braquiária, entre outros.



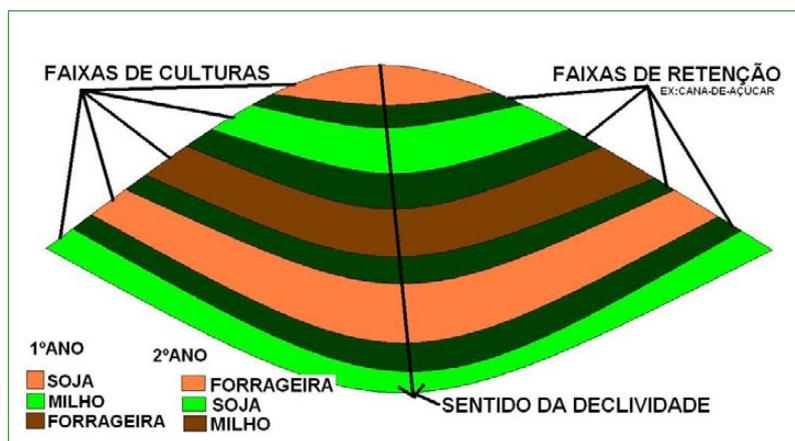
**Figura 3.1** – Representação esquemática das faixas de retenção, intercaladas às faixas de culturas (Desenho: A. Doneda, 2009).

No cultivo em **faixas de rotação** (Figura 3.2), a área é dividida em várias faixas em nível, onde o plantio das culturas é feito em rotação anual nas faixas, tanto no verão, como no inverno. O ideal é realizar a alternância entre culturas mais densas com culturas menos densas e com sistemas radiculares diferenciados.



**Figura 3.2** – Representação esquemática do cultivo em faixas de rotação para dois anos (Desenho: A. Doneda, 2009).

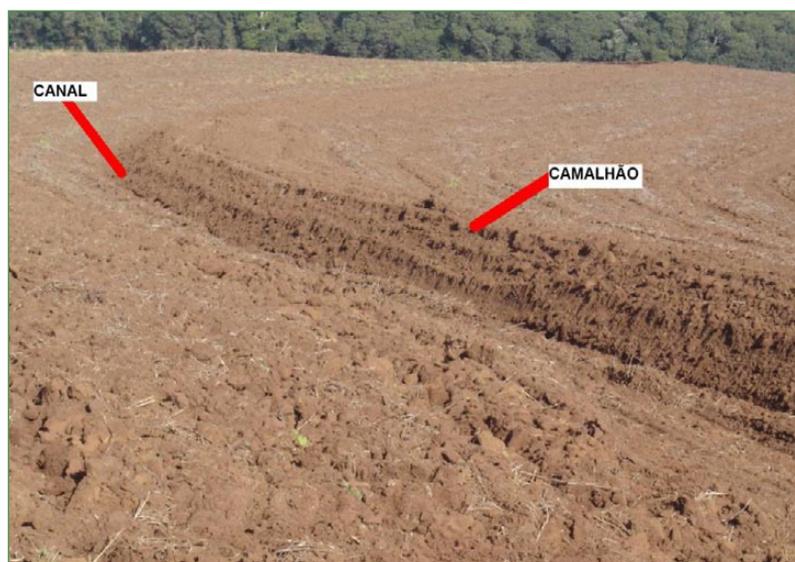
Por fim, o cultivo em **faixas conjugadas** (Figura 3.3) consiste na associação das duas anteriores, onde a rotação nas faixas de culturas é realizada entre as faixas de retenção.



**Figura 3.3** – Representação esquemática do cultivo em faixas conjugadas para dois anos (Desenho: A. Doneda, 2009).

### 3.1.3 Terraceamento

Terraceamento é uma prática conservacionista utilizada no controle da erosão hídrica, que consiste em estruturas hidráulicas denominadas de terraços, as quais são compostas de um canal e um camalhão e construídas transversalmente ao sentido da declividade do terreno (Figura 3.4). Através disso, o comprimento do declive é seccionado, diminuindo a ação da enxurrada.



**Figura 3.4** – Terraço em cultivo convencional do solo (Foto: A. Doneda, 2007).

Os terraços são classificados de acordo com três critérios: finalidade, sentido de deslocamento de terra na sua construção e amplitude da faixa de movimentação de solo na construção.

Quanto à **finalidade**, os terraços podem ser de dois tipos:

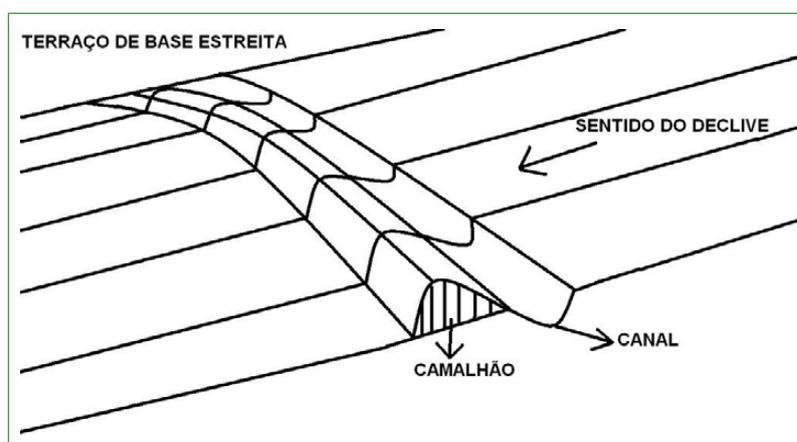
- a. **Terraço em nível, de absorção, de retenção ou de infiltração** – Nesse tipo de terraço, a construção se dá em nível no terreno, perpendicularmente à declividade, fazendo com que a enxurrada seja retida e infiltrada no canal do terraço. É mais indicado para solos de elevada permeabilidade;
- b. **Terraço em gradiente ou de drenagem** – A construção desse tipo de terraço se dá em desnível, perpendicularmente ao terreno, fazendo com que a enxurrada seja conduzida de forma segura para fora da área protegida. Indicado para solos de permeabilidade moderada ou baixa.

Quanto ao **sentido de deslocamento de terra** na sua construção, os terraços podem ser de dois tipos:

- a. **Terraço tipo Nichols** – Nesse tipo de terraço, o deslocamento de terra na construção do camalhão é feito de cima para baixo, de acordo com a declividade do terreno, resultando em um canal de conformação triangular. É indicado para relevos fortemente ondulados e com alta precipitação pluviométrica;
- b. **Terraço tipo Mangum** – O deslocamento de terra na construção do camalhão desse tipo de terraço é feito alternadamente de cima para baixo e de baixo para cima, resultando em camalhão e canal de conformações trapezoidais. É indicado para relevos suavemente ondulados a ondulados e com baixa precipitação pluviométrica.

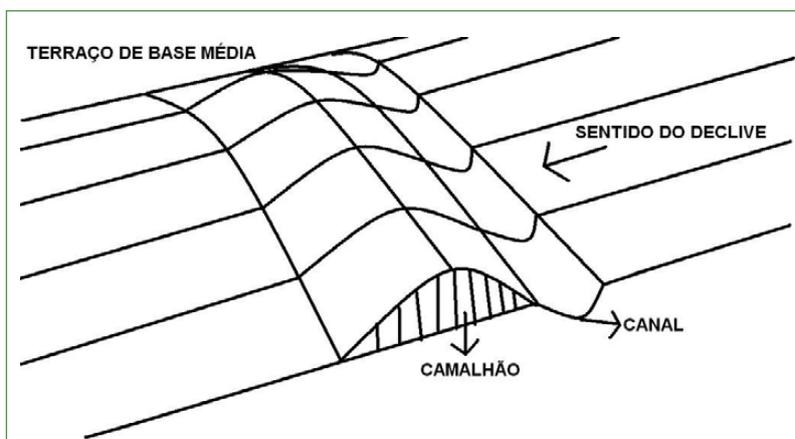
Quanto à **amplitude da faixa de movimentação de solo** na construção, os terraços podem ser de três tipos:

- a. **Terraço de base estreita (Figura 3.5)** – A faixa de movimentação de terra, nesse caso, é de até 3 metros de largura. É indicado para declividades do terreno superiores a 12%;



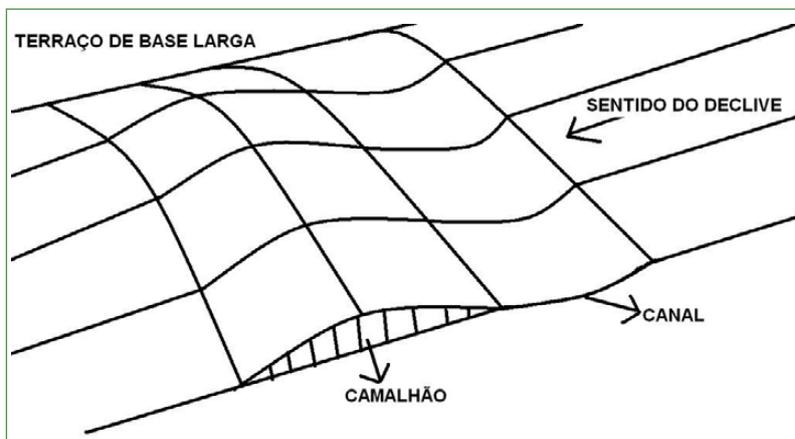
**Figura 3.5** – Representação esquemática de um terraço de base estreita (Desenho: A. Doneda, 2009).

2. **Terraço de base média (Figura 3.6)** – A faixa de movimentação de terra, nesse caso, oscila entre 3 e 6 metros de largura. É indicado para declividades do terreno entre 10 e 12%;



**Figura 3.6** – Representação esquemática de um terraço de base média (Desenho: A. Doneda, 2009).

- c. **Terraço de base larga (Figura 3.7)** – A faixa de movimentação de terra, nesse caso, oscila entre 6 e 12 metros de largura. É indicado para declividades do terreno de até 10%. Apresenta a vantagem de permitir o cultivo mecanizado, tanto no camalhão como no canal.

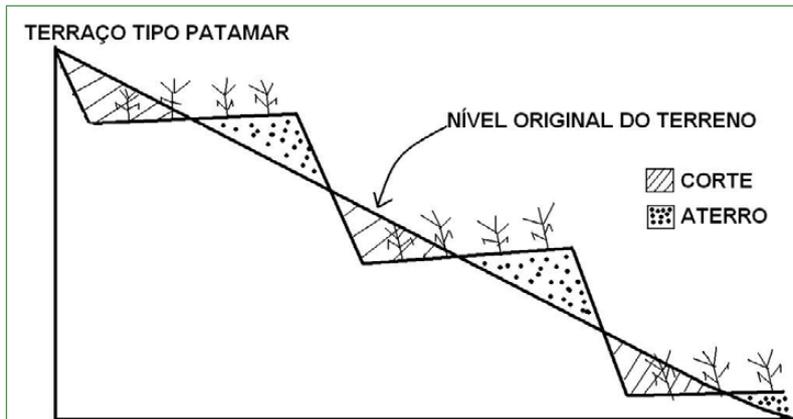


**Figura 3.7** – Representação esquemática de um terraço de base larga (Desenho: A. Doneda, 2009).

Existe outro tipo de terraço, chamado **terraço patamar (Figura 3.8)**. Essa forma é menos comum, mas constitui uma importante alternativa para áreas declivosas. Eles se apresentam na forma de bancos ou degraus, com ligeira inclinação para dentro da encosta (de 0,25 a 1%). Esse tipo de terraço transforma áreas extremamente declivosas em plataformas planas, onde podem ser cultivadas culturas de interesse econômico sem problemas de erosão. Nor-

malmente, é utilizado para declividades superiores a 20%. Além disso, existe um tipo especial de terraço patamar chamado **banqueta individual** (Figura 3.9), no qual são construídos patamares individuais, normalmente de forma circular, para cada planta. É indicado para reflorestamento.

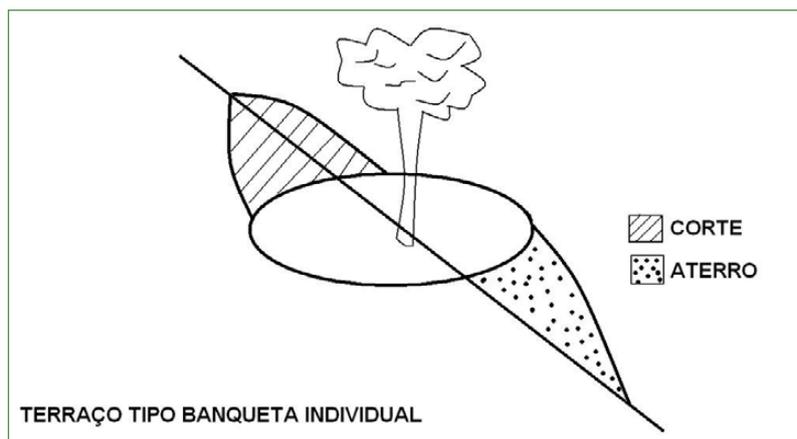
a)



b)



Figura 3.8 – Representação esquemática de um terraço tipo patamar (a) e horta cultivada em terraço tipo patamar (b) (Desenho e foto: A. Doneda, 2001).

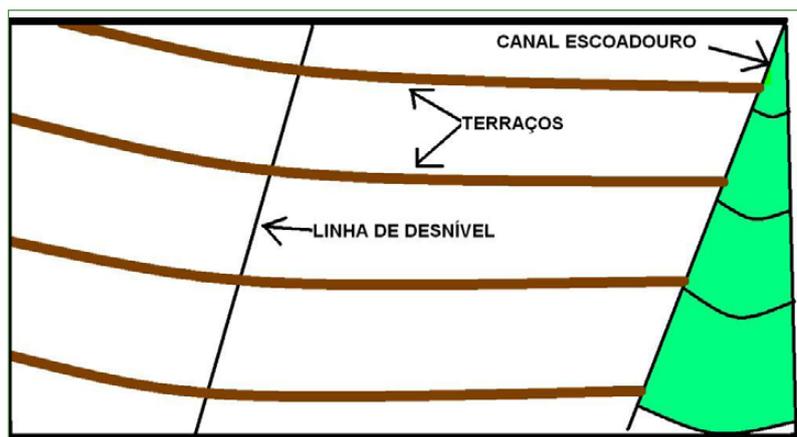


**Figura 3.9** – Representação esquemática de um terraço tipo banquetta individual, no caso, com reflorestamento (Desenho: A. Doneda, 2009).

### 3.1.4 Canais escoadouros

Canais escoadouros são locais utilizados para descarregar a água proveniente dos sistemas de terraços (Figura 3.10). Devem ser escolhidos locais onde não haja risco de erosão. Para a alocação desses canais, podem ser utilizadas pastagens, matas, canais escoadouros naturais ou artificiais. As depressões naturais do terreno, desde que não apresentem susceptibilidade à erosão, são os melhores locais para os canais escoadouros.

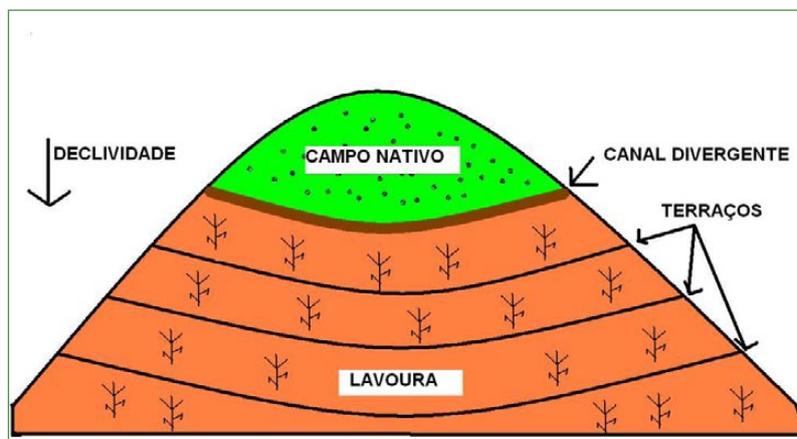
Um sistema de terraços pode requerer um ou mais canais escoadouros, dependendo da topografia da área. Os canais devem ser construídos de modo a não atrapalhar o trabalho das máquinas agrícolas. Quanto aos terraços, eles devem ser construídos no sentido do comprimento mais indicado, de acordo com o solo e topografia da área. Um fator primordial é a necessidade de manter cobertura vegetal natural ou implantada no canal, principalmente, de gramíneas, com rápido desenvolvimento, denso sistema radicular e facilidade de regeneração. Exemplos de gramíneas para vegetar o canal escoadouro são: festuca (*Festuca elatior*), grama forquilha (*Paspalum notatum*), grama missioneira (*Axonopus compressus*), capim-de-Rhodes (*Chloris gayana*), capim-kikuiu (*Pennisetum clandestinum*), grama bermuda (*Cynodon dactylon*), entre outras. Os canais escoadouros devem possuir a parte inferior mais larga que a superior, para evitar que a água do terraço de cima se projete sobre o terraço imediatamente abaixo, o que poderia causar danos ao terraço da parte inferior.



**Figura 3.10** – Representação esquemática de um sistema de terraços desaguando no canal escoadouro (Desenho: A. Doneda, 2009).

### 3.1.5 Canais divergentes

Os canais divergentes (Figura 3.11) são tipos especiais de terraços, porém, em alguns casos, com dimensões maiores e que têm como objetivo desviar e interceptar as águas advindas de uma área situada acima dele mesmo. Como o gradiente dos canais divergentes pode alcançar até 2 ou 3%, o ideal é que eles sejam sempre revestidos com grama, para evitar que se tornem futuras voçorocas.



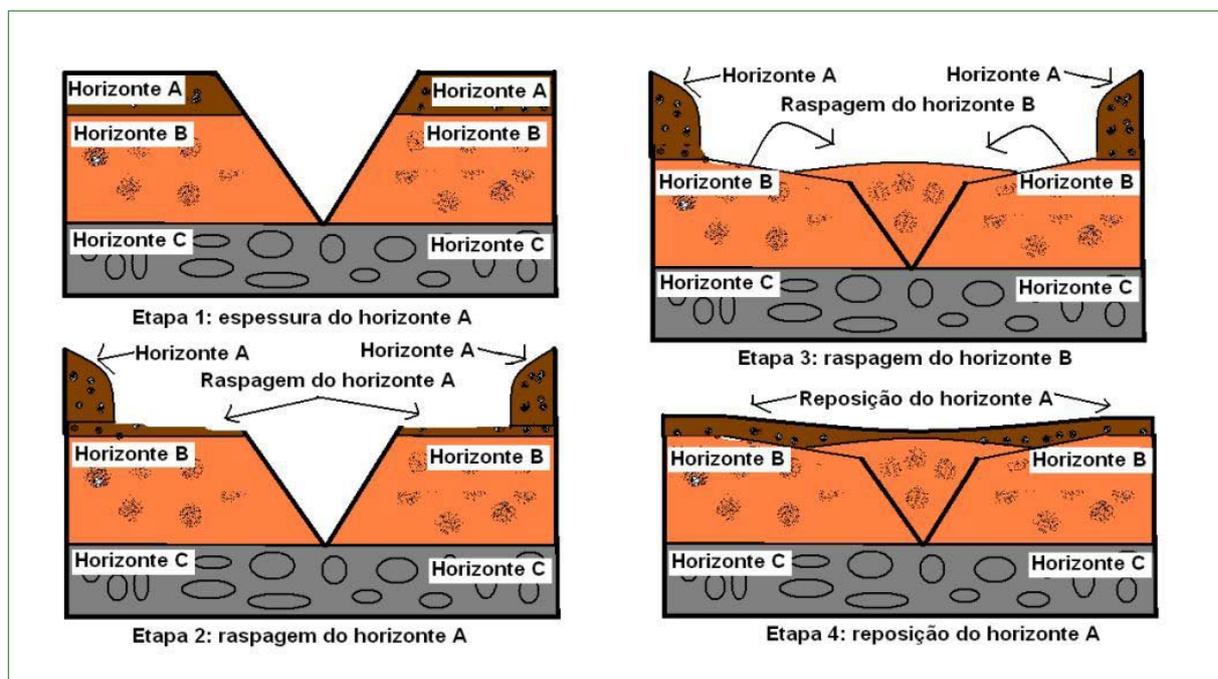
**Figura 3.11** – Representação esquemática de um canal divergente desviando as águas provenientes do campo nativo, evitando que entrem na lavoura terraceada (Desenho: A. Doneda, 2009).

### 3.1.6 Controle e recuperação de voçorocas

Várias são as causas que levam à formação de voçorocas. Porém, os princípios básicos utilizados para a sua recuperação e/ou estabilização, normalmente são os mesmos. As principais formas de controle e recuperação utilizadas são, o isolamento, a recuperação total e a estabilização.

O **isolamento** tem como objetivo a supressão dos fatores que provocam o aumento da voçoroca, a fim de evitar que a enxurrada continue erodindo o leito e desestabilizando os taludes dela. Para isso, faz-se necessário um bom manejo da água dentro da propriedade, no intuito de aumentar a sua infiltração e distribuição adequada em toda a área. Em casos mais severos, pode-se realizar a construção de um canal divergente acima da voçoroca, evitando que a água da chuva seja descarregada nela. Embora essa seja uma boa opção, a água deve ser descarregada em outro local protegido, a fim de evitar o começo de uma nova voçoroca. Além disso, quando animais têm acesso à voçoroca, o ideal é cercar o local para evitar o trânsito deles, o que pode prejudicar o controle.

A **recuperação** de voçorocas depende muito da relação entre custo e benefício da prática adotada. Quando a área que possui a voçoroca é de alto valor e os benefícios compensam os investimentos, pode-se recuperá-la colocando terra dentro do leito e incorporá-la novamente ao processo produtivo. A terra utilizada para fechar a voçoroca pode ser oriunda de locais externos ou, quando a profundidade não for tão elevada, faz-se a raspagem das áreas adjacentes para dentro do canal, de maneira que seja preservado o horizonte A, que possui maior fertilidade e matéria orgânica. Assim, o canal da voçoroca é preenchido com solo do horizonte B e, por último, uma camada do solo do horizonte A é distribuído sobre a área anteriormente ocupada pela voçoroca (Figura 3.12). Assim, toda a área pode ser cultivada em melhor condição de fertilidade do solo.



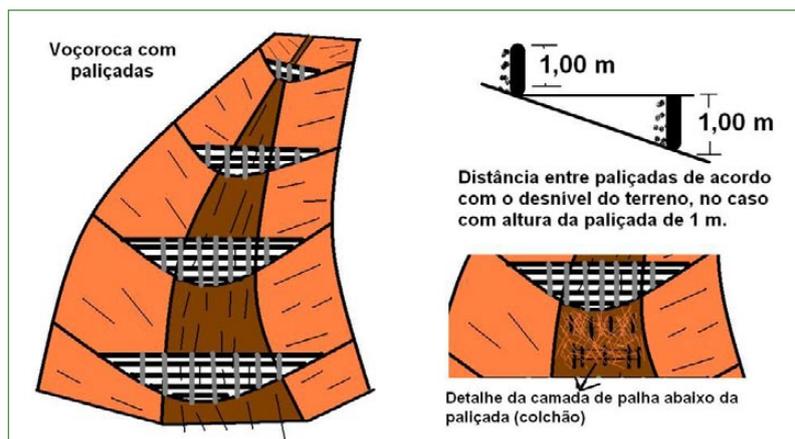
**Figura 3.12** – Representação esquemática do controle mecânico de voçorocas (Desenho: A. Doneda, 2009, adaptado de F. L. F. Eltz et al., 2005).

A estabilização de uma voçoroca é uma prática utilizada quando não é possível efetuar a recuperação total dela. É uma forma lenta que impede o aumento do canal e promove um controle gradativo da voçoroca. Esse processo pode ser feito através de vegetação ou, para voçorocas maiores, utiliza-se estruturas mecânicas chamadas paliçadas. Quando for possível, o ideal é proceder à suavização dos taludes da voçoroca, com trator esteira, lâmina frontal, ou até mesmo com enxada e pá, a fim de impedir a continuidade do desbarrancamento.

No caso de pequenas voçorocas, pouco profundas e com pouca declividade, pode ser utilizada na estabilização apenas a cobertura morta como, por exemplo, palha, restos culturais, capim e folhas. Além disso, a área que contém a voçoroca pode ser destinada para reserva florestal ou produção de madeira, implantando-se espécies regionais e de rápido crescimento. Dessa forma, através do plantio em linhas perpendiculares ao declive da voçoroca, as árvores formam pequenos obstáculos, reduzindo a velocidade da água no interior dela. Dessa maneira, proporciona-se a deposição gradual de sedimentos nas linhas, o que acaba favorecendo o desenvolvimento de outras plantas e consequente estabilização da voçoroca.

No caso de voçorocas maiores, a velocidade da água pode ser barrada através da construção de paliçadas. Essas devem ser de fácil implantação e baixo custo, além de utilizar materiais disponíveis na propriedade. Podem ser construídas em altura de até no máximo 1,50 m, dependendo da quantidade de água recebida, da resistência do material utilizado, bem como do tamanho da voçoroca. As paliçadas funcionam como filtro à passagem da água, sendo que os sedimentos ficam depositados nelas contribuindo para a diminuição do tamanho do canal. As distâncias entre uma paliçada e outra são ditadas pela diferença de nível, em função da altura de construção (**Figura 3.13**).

Na construção das paliçadas, pode ser utilizado bambu, galhos, restos de madeira, entre outros. Para a construção, procede-se da seguinte maneira: estacas são introduzidas no solo, iniciando-se pela parte mais profunda da voçoroca e, após, varas de bambu ou outro material são colocadas perpendicularmente às estacas (**Figura 3.13**). Depois de concluída essa etapa, coloca-se palha, ramos, folhas ou outro material na parte anterior e posterior da estrutura, a fim de auxiliar na vedação e maior filtração. Além disso, abaixo de cada paliçada, podem ser colocadas camadas densas de palha, chamadas colchões, que são fixadas por meio de estacas e arames, o que ajuda na retenção de sedimentos (**Figura 3.13**). Nas bordas da paliçada, o ideal é que seja plantado grama, ou outro tipo de vegetação para auxiliar na retenção.



**Figura 3.13** – Representação esquemática da estabilização de voçoroca por paliçada (Desenho: A. Doneda, 2009, adaptado de F. L. F. Eltz et al., 2005).

### 3.1.7 Locação de estradas e cercas

A locação interna de estradas e cercas na propriedade é de suma importância dentro de um manejo conservacionista. O ideal é que a propriedade tenha um planejamento para possuir uma rede de estradas que percorra todas as glebas com fácil acesso e de modo seguro. Para a locação das estradas principais e secundárias, deve-se dar preferência aos divisores de água naturais de cada coxilha ou então de modo a acompanhar um dos terraços, pelo seu lado inferior do terreno. A construção em rampas muito compridas no sentido da declividade deve ser evitada pelo grande risco de ocorrência de erosão morro abaixo. Além disso, a alocação de estradas nas partes terminais dos terraços e nos canais escoadouros deve ser evitada.

A construção de cercas também é importante na conservação do solo. Elas devem ser alocadas na parte inicial ou final dos terraços e não no meio do sistema, o que dificultaria a manutenção deles e o trabalho das máquinas agrícolas.

### 3.1.8 Cordão de pedra

Essa prática é mais adaptada para pequenas áreas e que possuem pedras aflorando na superfície, em área próxima do local a ser protegido. A construção consiste na abertura de um canal, em nível, aonde as pedras vão sendo empilhadas formando uma barreira à ação da enxurrada morro abaixo.

### 3.1.9 Mulching vertical em sistema plantio direto

Essa prática conservacionista, que se adapta muito bem a solos bem drenados, consiste na abertura de sulcos que são construídos em nível, com largura na faixa de 7,5 a 9,5 cm, profundidade de 40 cm e espaçados em aproximadamente 10 m um do outro. Tais sulcos são preenchidos com restos vegetais, dando-se preferência aos cereais de inverno pela sua maior resistência. Ao encontrar os

sulcos, a água da chuva e, conseqüentemente, a enxurrada infiltra-se neles, diminuindo o escoamento superficial e a erosão. Os sulcos são feitos com auxílio de uma envaletadeira acoplada no trator. Como os sulcos são de largura reduzida, eles não interferem no trânsito das máquinas agrícolas dentro da lavoura, permitindo a utilização total da área.

### 3.2 MÉTODOS VEGETATIVOS

#### 3.2.1 Florestamento e reflorestamento

Uma alternativa às terras de baixa capacidade de produção e/ou muito suscetíveis à erosão é a cobertura permanente através do florestamento e reflorestamento, fazendo com que, além da proteção ao solo e preservação do ambiente, se tenha uma fonte de renda adicional na propriedade. Em terrenos muito inclinados, principalmente no topo ou início do declive, o reflorestamento e manutenção permanente das árvores é o mais recomendado, pelo fato de reduzir a enxurrada, em razão da maior infiltração de água nesse local. Com isso, é possível amenizar os problemas de erosão no restante do declive da lavoura.

Atualmente, a lei determina que as margens dos cursos de água, em distância variável, conforme a largura deles, sejam reflorestadas e mantidas como área de preservação permanente. Com isso, além da preservação da fauna e da flora local, evita-se o solapamento das margens dos rios, ocasionado pela ação da enxurrada, bem como o assoreamento e a poluição por fertilizantes e agroquímicos advindos das lavouras pela erosão. Outra função importante do florestamento e reflorestamento consiste na recuperação de voçorocas, já que o plantio de árvores no interior e margens delas ajuda na retenção de sedimentos e conseqüente estabilização.

Em áreas com rápido avanço na degradação, seja pela erosão ou outros fatores, o ideal é implantar inicialmente uma mistura de espécies, que sejam nativas do local, além de isolar a área para que, gradativamente, ocorra a evolução natural da floresta levando à estabilização e/ou recuperação da área.

Atualmente, uma forma de consorciar as atividades agrícolas com o reflorestamento e a conservação do solo, consiste na adoção de sistemas agroflorestais. Através dessa prática, espécies florestais são consorciadas com os cultivos agrícolas de maneira simultânea ou em uma seqüência temporal. Dessa forma, diminui-se a ocorrência de erosão, além de diversificar a renda na propriedade. Os sistemas agroflorestais podem ser divididos em: **sistemas silviagrícolas**, **sistemas silvipastoris** e **sistemas agrosilvipastoris**.

Os **sistemas silviagrícolas** são aqueles onde são cultivadas, simultaneamente, culturas agrícolas e espécies florestais. A associação entre os sistemas pode ocorrer no calendário agrícola de forma temporária ou permanente, o que é o mais comum pelo desenvolvimento mais lento das espécies florestais. Nesse caso, em um mesmo cultivo florestal, são feitos vários cultivos agrícolas. As espécies florestais podem atuar como quebra ventos, cercas vivas, auxiliar no sombreamento de cultivos que o necessitam, além de constituírem barreiras naturais à ação da enxurrada, quando cultivadas, por exemplo, em faixas no sentido perpendicular à declividade.

Os **sistemas silvipastoris** consistem na associação de pastagens, animais e árvores em uma mesma área, proporcionando um melhor aproveitamento da área, além de auxiliar na conservação do solo. Pode ser de maneira natural, onde os animais são introduzidos em bosques no intuito de aproveitar a vegetação rasteira existente, ou através do cultivo de pastagem, fazendo com que o solo seja preservado dos processos erosivos.

Os **sistemas agrosilvipastoris** são aqueles em que, na mesma área, estão associados o cultivo agrícola, espécies florestais e a criação de animais. Essa forma de manejo mantém a cobertura permanente do solo, além de ser uma forma de diversificação de produção na mesma área.

### **3.2.2 Adubação verde e plantas de cobertura**

A adubação verde é uma prática muito antiga, sendo que gregos, romanos e chineses já utilizavam essa prática antes da era Cristã. No Brasil, os primeiros relatos de uso dessa prática começaram a surgir a partir da década de 20. Com o advento da Revolução Verde, na década de 60, a qual era baseada no uso massivo de mecanização, de fertilizantes e agroquímicos, a adubação verde passou e foi praticamente esquecida. Na década de 80, os níveis alarmantes de degradação do solo provocados pela Revolução Verde motivaram o surgimento das práticas de manejo conservacionistas, com destaque para o plantio direto. A necessidade de produzir palhada para a implantação do plantio direto e a necessidade de fazer a rotação de culturas para a sustentabilidade do sistema, fez renascer o interesse pela adubação verde. Nesse novo cenário, as plantas, que até então eram denominadas de adubos verdes, passaram a ser denominadas de plantas de cobertura de solo.

Quando do seu surgimento, a adubação verde era definida como sendo a prática de se incorporar no solo massa vegetal não decomposta, proveniente de plantas cultivadas na área ou importadas de fora, a fim de melhorar a qualidade dos solos. Era preconizado o uso quase que exclusivo de leguminosas para esse fim e a época recomendada para a sua incorporação ao solo era o estágio

de floração plena. Atualmente, com o uso de plantas de cobertura, o objetivo é incluí-las em esquemas de rotação, sucessão ou consorciação com as culturas comerciais, mantendo-se os resíduos na superfície do solo para a sua proteção contra os agentes erosivos e a melhoria da sua qualidade química, física e biológica.

### 3.2.2.1 Vantagens da utilização de plantas de cobertura de solo

- a. **Proteção do solo:** a cobertura vegetal proporcionada pelas plantas de cobertura sobre o solo, tanto pelas plantas vivas como pelos seus resíduos culturais, atenua o impacto das gotas de chuva (Figura 3.14), evitando a desagregação do solo e o consequente selamento superficial. Com isso, aumenta-se a proteção do solo quanto aos agentes causadores de erosão, especialmente da água da chuva.

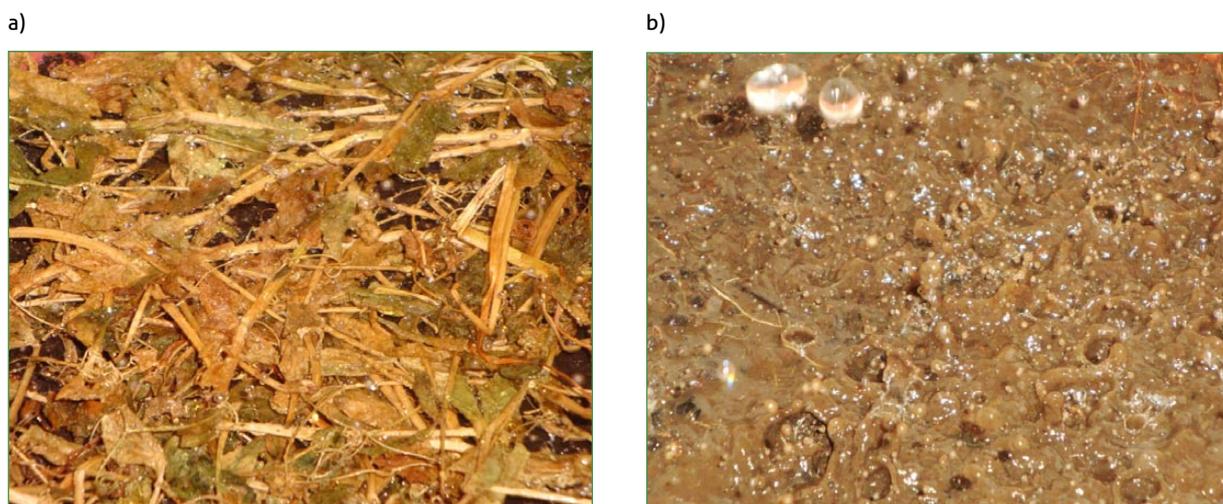


Figura 3.14 – Comparação do impacto da gota de chuva entre solo coberto por resíduos culturais de plantas de cobertura (na foto, a ervilha forrageira) (a) e o solo descoberto (b) (Foto: A. Doneda, 2009).

- b. **Aumento da taxa de infiltração de água no solo:** após a decomposição das raízes das plantas de cobertura, permanecem no solo os canais deixados por elas, o que facilita a infiltração da água. Além disso, a cobertura vegetal diminui a desagregação do solo e a velocidade da enxurrada. Esses fatores combinados proporcionam uma maior infiltração de água no solo, o que é importante para o seu armazenamento no perfil e na prevenção da erosão.
- c. **Aumento no teor de matéria orgânica do solo:** o aporte contínuo de carbono ao longo dos anos, através da fitomassa (resíduos culturais) das plantas de cobertura, proporciona um aumento no teor de matéria orgânica do solo, o que é desejável para a melhoria das suas propriedades químicas, físicas e biológicas. Todavia, é importante considerar que a maior parte do

carbono adicionado com os resíduos culturais retorna para a atmosfera na forma de  $\text{CO}_2$  durante a decomposição biológica desses resíduos. Por isso, mesmo com adições de quantidades elevadas de resíduos culturais, o aumento esperado no teor de matéria orgânica no solo é um processo que ocorre lentamente, sendo detectado, nos primeiros anos, apenas nas camadas mais superficiais do solo. Com o passar do tempo, a decomposição de raízes, a lixiviação de carbono e a atividade biológica vão transferindo carbono para as camadas mais profundas.

- d. **Redução na evaporação e nas oscilações de temperatura:** a camada de palha das plantas de cobertura na superfície do solo atua como um isolante térmico, reduzindo a oscilação da temperatura e mantendo-a em níveis mais adequados ao bom desenvolvimento das plantas. Além disso, a cobertura morta reduz as perdas de água por evaporação, aumentando o estoque e a quantidade de água disponível às plantas no perfil do solo.
- e. **Recuperação de solos degradados:** além da adição de carbono e nutrientes pelos resíduos culturais da parte aérea, o desenvolvimento do sistema radicular das plantas de cobertura poderá romper camadas adensadas ou compactadas do solo, melhorando a estruturação e aumentando a aeração e a infiltração de água. O aumento no teor de matéria orgânica, proporcionado pelos resíduos culturais, favorece a agregação do solo, o que é de grande relevância para a recuperação da capacidade produtiva do solo, principalmente naqueles com textura mais arenosa.
- f. **Ciclagem de nutrientes:** Dependendo da espécie de planta de cobertura, o seu sistema radicular poderá atingir camadas mais profundas no solo do que as culturas comerciais. Com isso, as plantas de cobertura absorvem e imobilizam, em seus tecidos, nutrientes que poderiam ser perdidos por lixiviação ou permanecer em camadas inacessíveis ao sistema radicular das culturas comerciais. Após o manejo das plantas de cobertura, por rolagem, dessecação, ou outro, a decomposição microbiana dos resíduos culturais resulta na mineralização dos nutrientes, tornando-os novamente disponíveis às culturas comerciais, na camada do solo em que o sistema radicular destas tem a capacidade de extraí-los. Por isso, a importância em selecionar, para inclusão em sistema de rotação de culturas, plantas de cobertura que tenham uma taxa de crescimento e um sistema radicular que favoreça a ciclagem de nutrientes.
- g. **Aporte de nitrogênio através da fixação biológica:** quando são utilizadas leguminosas como plantas de cobertura, elas possuem a capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico ( $\text{N}_2$ ) através da simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio, conforme apresentado anteriormente na disciplina Biologia do Solo,

no ciclo do nitrogênio. Com isso, o nitrogênio fica imobilizado nos órgãos vegetativos da planta e, após o manejo, parte desse N é mineralizado durante a decomposição e disponibilizado às culturas comerciais. Dessa forma, poderá ser reduzida a quantidade de fertilizantes nitrogenados, diminuindo os custos de produção, bem como a contaminação ambiental.

- h. **Redução da população de plantas invasoras:** as plantas de cobertura podem reduzir a infestação de plantas invasoras através da alelopatia e supressão. A alelopatia ocorre quando compostos químicos são liberados pelas plantas vivas ou mortas, durante a sua decomposição, os quais afetam o desenvolvimento ou germinação das plantas daninhas. Já a supressão é o impedimento físico proporcionado pela palhada das plantas de cobertura que fica sobre o solo, onde a passagem de luz é prejudicada, impedindo ou prejudicando a germinação da semente.
- i. **Potencial de utilização múltipla na propriedade:** algumas plantas de cobertura podem ser utilizadas de forma integrada, atuando na proteção do solo, na alimentação animal e humana e na produção de madeira. O guandu e a leucena são exemplos de plantas para esse fim.

#### 3.2.2.2 *Desvantagens da utilização de plantas de cobertura*

- a. **Disseminação de pragas e doenças:** algumas espécies de plantas de cobertura podem ser hospedeiras de algumas pragas e doenças, as quais podem permanecer nos restos culturais e ser transmitidas, inicialmente, às plantas voluntárias e, posteriormente, aos cultivos comerciais. Para contornar isso, é preciso selecionar, para inclusão em sistemas de rotação de culturas, plantas de cobertura que não sejam portadoras de agentes causais de doenças ou pragas que sejam comuns àquelas que normalmente ocorrem na cultura comercial a ser implantada em sucessão às plantas de cobertura.
- b. **Período em que o solo fica sem cultivo comercial:** o ciclo das plantas de cobertura, na maioria das vezes, é mais longo que os cultivos comerciais. Com isso, a área pode ficar por um maior período de tempo sem receber culturas rentáveis economicamente. Porém, esse problema pode ser minimizado cultivando-se as plantas de cobertura em períodos de entressafra, além de escolher espécies cujo ciclo se encaixe no sistema de rotação, sem prejudicar a época de semeadura das culturas comerciais.
- c. **Alto custo das sementes:** muitas vezes, o custo das sementes de algumas espécies de plantas de cobertura é elevado. Isso ocorre, principalmente, pelo fato de a colheita ser manual, o manejo ser oneroso em mão-de-obra, além do número de pro-

dutores de sementes ser bastante limitado. Esse fato também pode ser contornado optando-se por espécies cuja produção de sementes possa ser feita pelo próprio produtor.

- d. **Relação C/N elevada dos resíduos culturais:** durante a decomposição dos resíduos culturais de algumas espécies, principalmente de gramíneas como, por exemplo, o centeio e a aveia, pode ocorrer imobilização de nitrogênio do solo pela população microbiana, reduzindo a disponibilidade de N às culturas comerciais. Isso ocorre em função das gramíneas apresentarem baixas concentrações de N nos resíduos culturais (alta relação C/N), o que faz com que a população microbiana necessite de N do solo para poder crescer, utilizando os resíduos culturais como fonte de carbono e energia. Para evitar esse problema, o ideal é consorciar espécies com alta relação C/N e espécies de baixa relação C/N como, por exemplo, as leguminosas (ex. ervilhaca) ou brassicáceas (ex. nabo forrageiro)

Enfim, as vantagens do uso de plantas de cobertura no manejo e conservação do solo superam largamente as desvantagens dessa tecnologia. Não entraremos em maiores detalhes aqui quanto ao uso e manejo de plantas de cobertura, pois esse assunto já foi apresentado a vocês na unidade 4 da disciplina Manejo Biodinâmico do Solo. Porém, recomendamos a revisão dessa unidade para um melhor entendimento.

### **3.2.3 Cobertura morta**

Essa prática consiste no uso de resíduos orgânicos vegetais como, por exemplo: palhas em geral, maravalha, serragem, casca de arroz, bagaço de cana-de-açúcar, folhas, resíduos de roçadas, cascas, entre outros. Esses resíduos são colocados na superfície do solo com a função de protegê-lo da ação dos processos erosivos. Muitas das demais vantagens desse manejo são as mesmas proporcionadas pelo uso de plantas de cobertura.

### **3.2.4 Pastagens**

Em áreas não aptas ao cultivo de plantas comerciais ou que não apresentem retorno econômico, por fatores diversos, o uso de pastagens pode ser uma boa alternativa. A produção de massa vegetal densa, proporcionada pelas plantas utilizadas na pastagem, deixa o solo mais protegido e menos propenso à ocorrência dos processos erosivos. Porém, um manejo adequado deve ser dispensado a essa prática, como o controle da carga de animais por unidade de área e o pastoreio rotativo, a fim de evitar o consumo excessivo da massa vegetal pelos animais, o que deixaria o solo desprotegido.

### **3.2.5 Quebra-ventos**

Os quebra-ventos são constituídos por barreiras densas de árvores, distribuídas em intervalos pré-estabelecidos no terreno, principalmente em locais de ventos fortes e sujeitos à erosão eólica. Os quebra-ventos minimizam a ação dos ventos fortes sobre os cultivos agrícolas, bem como protegem o solo da erosão eólica. A barreira proporcionada pelas árvores deve ser o mais alta possível, além de ser densa e resistente. Para isso, o ideal é que sejam utilizadas diferentes espécies, com variação no seu tamanho, sendo que o tamanho das espécies deve ir aumentando gradualmente da frente para trás, no sentido da largura do quebra vento. Dessa forma, ao encontrar a barreira, o vento será desviado para cima minimizando ou até mesmo evitando prejuízos à área protegida.

## UNIDADE 4

# SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO

## INTRODUÇÃO

Os sistemas de manejo do solo compreendem as diversas possibilidades existentes para preparar o solo, visando à implantação das diferentes culturas. Diversas são as operações envolvidas na condução dos sistemas de manejo, incluindo operações de semeadura, adubação, controle de plantas invasoras, além da conservação do solo. Durante muitos anos, o preparo convencional foi a forma de manejo dominante na agricultura sul brasileira, com intensa mobilização do solo. Com o passar do tempo, devido principalmente aos problemas de erosão decorrentes desse sistema, passou-se a adotar o preparo reduzido, o cultivo mínimo e, mais recentemente, o plantio direto.

Atualmente, o plantio direto é a forma de manejo dominante nas áreas agrícolas brasileiras, ficando, os demais, restritos às culturas que não se adaptam a esse tipo de plantio. Pode-se considerar que o plantio direto revolucionou a agricultura, uma vez que os problemas decorrentes da erosão foram amenizados, com redução nos custos de produção. Por isso, maior ênfase dessa unidade será para o sistema de plantio direto.

## OBJETIVOS

- apresentar os diferentes sistemas de manejo do solo;
- discutir a importância do sistema plantio direto.

### 4.1 MANEJO EM PREPARO CONVENCIONAL, REDUZIDO, MÍNIMO E PLANTIO DIRETO

#### 4.1.1 Preparo convencional

O preparo convencional do solo (Figura 4.1) consiste na lavração, seguida de gradagens com grade niveladora, onde os resíduos culturais são incorporados ao solo. Um dos principais motivos para a adoção desse sistema de preparo do solo é a eliminação de plantas invasoras e, em alguns casos, de pragas, como, por exemplo, do bicudo (*Anthonomus grandis*) na cultura do algodão.

A intensa mobilização do solo, proporcionada pelas arações e gradagens, destrói os agregados do solo, bem como, diminui o teor de matéria orgânica, tornando-o muito vulnerável à erosão. Além disso, pode ocorrer a compactação subsuperficial, conhecida popularmente como “pé-de-arado”, que é uma camada que compacta com o tempo e que fica abaixo da profundidade máxima de ação do arado. Não obstante, o solo fica descoberto e sem proteção. Com o passar do tempo e após cultivos sucessivos em preparo con-

vencional, percebeu-se que a capacidade produtiva do solo foi diminuindo, principalmente, pelos problemas decorrentes da erosão intensa. Isso motivou a pesquisa a buscar alternativas ao preparo convencional e os resultados indicaram que não eram necessárias intensas mobilizações do solo para a germinação das sementes, bem como para o bom desenvolvimento das plantas. Assim, surgiram diferentes formas alternativas de manejo do solo como o preparo reduzido, o cultivo mínimo e, por fim, o plantio direto.



**Figura 4.1** – Solo com preparo convencional (Foto: A. Doneda, 2007).

#### **4.1.2 Preparo reduzido**

O preparo reduzido visa diminuir a mobilização do solo em relação ao preparo convencional. Normalmente, nesse sistema de cultivo, utiliza-se apenas uma gradagem com grade pesada, ou grade aradora, onde os resíduos culturais são semi-incorporados ao solo. Dessa forma, o controle de plantas invasoras é feito parcialmente e, embora a mobilização do solo seja menor que no convencional, ocorre a quebra das crostas superficiais. A pequena quantidade de palha que permanece na superfície protege parcialmente o solo, embora ainda possam ocorrer danos severos causados pela erosão.

#### **4.1.2 Cultivo mínimo**

O preparo mínimo é bastante similar ao reduzido, diferindo na intensidade das operações. Normalmente, nessa forma de manejo, o preparo é realizado somente através de uma gradagem leve. Além disso, o preparo pode também ser feito com uma mobilização somente na linha de semeadura, permanecendo o espaço entre as linhas sem revolvimento, similar ao plantio direto, ou através do uso de escarificadores, os quais possuem hastes de ferro que realizam o preparo somente onde passam essas hastes. Esse manejo foi o precursor do sistema plantio direto.

#### 4.1.3 Plantio direto

O plantio direto consiste na semeadura ou plantio das culturas diretamente sobre a resteva ou palhada da cultura anterior, sem o preparo físico do solo (aração, gradagem, entre outros) (Figura 4.2). Apenas o solo na linha de semeadura ou cova de plantio é mobilizado minimamente, ou seja, o suficiente para garantir uma semeadura adequada (Figura 4.3). Essa forma de manejo foi uma alternativa encontrada para mitigar os problemas causados pela erosão, decorrente das outras formas de preparo que implicavam mobilização mais intensa do solo. A adoção do plantio direto iniciou lentamente ao final da década de 70, apresentando maior expansão a partir da década de 90. A grande expansão do plantio direto ocorreu, principalmente, em função da participação dos órgãos de pesquisa, na geração de informações, e de extensão, na difusão da tecnologia e na conscientização dos agricultores sobre a sua importância. Contribuíram também a grande evolução observada nas máquinas para a semeadura das culturas diretamente sobre a palhada e o surgimento de herbicidas para o controle de plantas daninhas em plantio direto. Atualmente, o plantio direto está bem consolidado nas áreas agrícolas brasileiras, embora ainda existam alguns aspectos que desafiam a pesquisa na busca de solução para tornar o sistema cada vez mais eficiente.



**Figura 4.2** – Soja cultivada sobre resíduos culturais de trigo, em plantio direto (Foto: A. Doneda, 2007).



**Figura 4.3** – Mobilização do solo somente na linha de semeadura. (Foto: A. Doneda, 2008).

#### 4.1.3.1 Vantagens do plantio direto

As vantagens do plantio direto sobre as demais formas de preparo do solo são várias, com destaque para as seguintes:

- **Redução da erosão:** a não mobilização do solo e a manutenção dos resíduos culturais na superfície, além de atenuar o impacto das gotas de chuva, proporcionam uma melhoria na estrutura do solo, o que o torna menos suscetível aos processos erosivos.
- **Conservação da umidade do solo:** a cobertura, proporcionada pela palhada que permanece em superfície, impede oscilações bruscas de temperatura no solo. Com isso, a evaporação da água contida nele é diminuída e, conseqüentemente, há um maior armazenamento de água no perfil, o que faz com que os cultivos em plantio direto sofram menos com estiagens do que aqueles em preparo convencional. Todavia, é importante salientar que esse efeito somente acontece quando, de fato, não houver camadas adensadas no plantio direto, que dificultam o crescimento das raízes, especialmente em profundidade.
- **Aumento da atividade biológica:** o ambiente favorável aos organismos do solo, proporcionado pelo plantio direto, faz com que ocorra um aumento na comunidade de organismos do solo. Assim, inimigos naturais de pragas e doenças são preservados, bem como são mantidos os vários benefícios dos organismos edáficos.
- **Melhoria das características físicas e químicas do solo:** a diminuição das perdas por erosão no plantio direto faz com que os nutrientes aplicados no solo permaneçam por mais tempo disponíveis aos cultivos agrícolas. Além disso, o não preparo do solo faz com que as propriedades físicas sejam menos afetadas

e, com isso, há maior infiltração de água, maior aeração, menor compactação, entre outros. Não obstante, o aumento nos teores de matéria orgânica a médio e longo prazo, proporciona, também, uma melhoria nas características físicas e químicas do solo.

- **Aumento na vida útil das máquinas agrícolas e economia de combustível:** com a supressão das operações de preparo do solo, as máquinas agrícolas como, por exemplo, os tratores são menos utilizados, fazendo com que ocorra um menor desgaste dos mesmos e aumento na vida útil. Além disso, ocorre uma economia considerável de combustível pela diminuição do uso das máquinas agrícolas, o que leva à redução no custo de produção e menor impacto ambiental. Além disso, a potência dos tratores pode ser diminuída, quando da renovação da frota, uma vez que operações como lavração e gradagem, que exigem muita potência, não mais são realizadas, o que significa diminuir custos da lavoura.
- **Semeadura das culturas em época adequada:** o plantio direto, por possuir menos operações de manejo do solo, permite antecipar a entrada na área para a realização da semeadura, fazendo com que seja melhor respeitada a época ideal de cultivo de cada espécie.
- **Menor assoreamento de rios, lagos e barragens:** com as menores perdas de solo das áreas agrícolas, há uma diminuição do assoreamento dos cursos de água e os rios seguem com seu leito normal.
- **Diminuição da compactação:** o não preparo do solo, com maior atividade biológica e o uso de plantas de cobertura com diferentes sistemas radiculares, faz com que o solo se torne menos compactado com o passar do tempo. Porém, fatores como o trânsito de máquinas agrícolas e a permanência excessiva do gado sobre as lavouras, devem ser monitorados a fim de evitar possíveis aumentos na compactação. Entretanto, no planejamento das culturas, é fundamental considerar que tão importante quanto produzir massa vegetal para a cobertura do solo é o tempo que essa massa irá permanecer protegendo o solo, ou seja, é preciso manter a cobertura do solo durante todo o ano, tanto através da biomassa das plantas vivas como pelos resíduos culturais (palhada).
- **Regulação da temperatura do solo:** conforme comentado anteriormente, a proteção física ao solo, proporcionada pela manutenção dos resíduos culturais em superfície, reduz a amplitude térmica do solo, em relação ao preparo convencional. Com isso, há uma maior uniformidade na germinação de sementes, bem como um maior armazenamento de água no solo e melhor desenvolvimento das plantas.

- **Redução dos custos de produção:** a redução nas operações de preparo do solo e a diminuição nas perdas de nutrientes e agroquímicos pela erosão reduzem consideravelmente os custos de produção da lavoura, aumentando a lucratividade do produtor.
- **Maior produtividade das culturas:** a melhoria proporcionada pelo plantio direto nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, pode conduzir, em médio e longo prazo, ao aumento na produtividade dos cultivos agrícolas.
- **Diminuição na contaminação dos cursos de água:** as menores perdas de solo, nutrientes e agroquímicos pela erosão, reduz a chegada desses até os cursos de água, o que mitiga o impacto da agricultura sobre.

Enfim, várias são as vantagens do sistema de plantio direto, tanto para o solo como para o ambiente, o que o torna, na atualidade, a forma de cultivo das áreas agrícolas com maior sustentabilidade.

#### **4.1.3.2 Desvantagens do plantio direto**

Embora existam várias vantagens do manejo em sistema plantio direto, ele apresenta algumas desvantagens como:

- **Exigência de semeadoras especiais:** para o plantio direto, as semeadoras devem possuir mecanismos especiais, principalmente para cortar a palha (discos de corte) e para a abertura dos sulcos de semeadura (sulcadores). Para isso, é necessário adaptar, quando possível, as semeadoras utilizadas no cultivo convencional ou então adquirir novas máquinas.
- **Impossibilidade de implantação em áreas com elevada infestação de plantas invasoras:** o controle de invasoras no plantio direto é realizado, normalmente, com o uso de herbicidas e, por isso, áreas com grandes infestações podem ter um controle dificultado e mais oneroso.
- **Possível aumento de pragas e doenças:** como as condições proporcionadas pelo plantio direto são favoráveis à biota do ambiente local, pode ocorrer um aumento na ocorrência de algumas pragas e doenças, o que pode ser amenizado com um manejo adequado de rotação de culturas, entre outros aspectos.

#### **4.1.3.3 Requisitos para implantar o plantio direto**

A implantação do sistema plantio direto exige certos cuidados por parte do agricultor, a fim de evitar problemas futuros na lavoura. O ideal é que seja feito de forma gradual, primeiramente nas melhores áreas da propriedade, expandindo para as demais com o passar do tempo. Dentre os principais requisitos necessários à implantação dessa forma de manejo estão:

- **Conscientização dos produtores rurais:** por ser uma nova forma de manejo, o plantio direto requer uma conscientização por parte dos produtores rurais. Para isso, deve haver uma concordância e predisposição à mudança, para que sejam cumpridos todos os requisitos para um bom manejo.
- **Capacitação e treinamento:** para a adoção eficiente do plantio direto faz-se necessário a capacitação e treinamento dos produtores, a fim de que eles estejam preparados para executar o manejo com êxito. Para isso, a realização de dias de campo, palestras, entre outros, são formas de demonstrar os resultados da pesquisa e ensinar os agricultores.
- **Assistência técnica:** o ideal é que sempre esteja à disposição do produtor rural uma assistência técnica eficiente que o auxilie na condução de sua lavoura.
- **Regularização da área:** devem ser eliminados da área sulcos, valetas, ondulações, entre outros, pois após a implantação do plantio direto, o solo não será mais mobilizado, com exceção da linha de semeadura.
- **Eliminação da compactação:** se a área estiver compactada, deve-se proceder inicialmente à descompactação do solo, com aração ou subsolagem e, somente após, iniciar o manejo da área no sistema plantio direto.
- **Correção do pH e da fertilidade do solo:** para que sejam alcançados todos os benefícios do plantio direto, é imprescindível iniciar o trabalho da área pela correção do pH e da fertilidade do solo, através da incorporação de calcário e nutrientes.
- **Manutenção do solo coberto:** o solo sob sistema plantio direto deve permanecer permanentemente coberto, tanto pelas plantas vivas durante o desenvolvimento vegetativo como pelos seus resíduos culturais pós-colheita. Para isso, as queimadas devem ser evitadas. Outro aspecto importante consiste em conciliar a utilização de plantas de cobertura de solo com os cultivos comerciais, a fim de maximizar a produção de resíduos culturais para a proteção do solo e melhoria de suas características físicas, químicas e biológicas.
- **Escolha de semeadoras adequadas:** é importante escolher semeadoras adequadas ao plantio direto, as quais realizem o trabalho com o mínimo revolvimento do solo possível, distribuam sementes e fertilizantes de maneira uniforme, não provoquem arraste de palha e embuchamento, além de possuir um custo compatível com a propriedade.
- **Utilização de distribuidor de palha na colhedora:** para que a palha resultante da colheita seja distribuída de maneira uniforme sobre o solo, as colhedoras devem possuir um distribuidor de resíduos que proporcione uma cobertura ideal ao solo.

- **Ausência de plantas invasoras de difícil controle:** anteriormente à implantação do plantio direto, deve-se proceder à eliminação de plantas invasoras de difícil controle. Com isso, busca-se diminuir a utilização de herbicidas posteriormente, além de evitar que as invasoras se tornem um empecilho à continuidade do sistema.
- **Pulverizador em boas condições e bem regulado:** um dos fatores de sucesso do plantio direto é o controle satisfatório de plantas invasoras, bem como de pragas e doenças. Para isso, quando for utilizado o controle químico, o pulverizador é uma ferramenta que deve estar sempre em boas condições e bem regulado. Assim, evitam-se aplicações excessivas de produtos químicos, o que aumenta a poluição ambiental e os custos de produção ou, por outro lado, aplicações de doses muito baixas, o que pode resultar em controle não satisfatório e no aumento da resistência de pragas, plantas invasoras e doenças aos agroquímicos.
- **Rotação de culturas:** a rotação de culturas consiste na alternância de espécies vegetais em uma área, na mesma estação, através de um planejamento prévio (Figura 4.4). O sucesso do plantio direto depende muito do sistema de rotação de culturas utilizado. Ele deve ser programado de modo a possibilitar uma diminuição na ocorrência de pragas, doenças e plantas invasoras. No planejamento de um sistema de rotação, devem ser previstos os resultados em curto, médio e longo prazo. O planejamento dependerá da região, tipo de solo, clima e manejo empregado na propriedade.



**Figura 4.4** – Exemplo de rotação de culturas para 3 anos, com cultivos de inverno e verão. A cevada ou a aveia podem, ainda, ser rotacionadas com a cultura do trigo ou pastagem de inverno (Fonte: A. Doneda, 2009).

A observância desses requisitos principais, antes de iniciar o manejo de uma área em sistema plantio direto, é fundamental ao sucesso do sistema. Na próxima unidade, será abordado com maior nível de detalhamento o comportamento no sistema plantio direto quanto à fertilidade do solo, plantas invasoras, organismos, propriedades físicas e matéria orgânica do solo.

## 4.2 IMPLEMENTOS UTILIZADOS

Dentro da variedade de implementos que podem ser utilizados no preparo do solo à implantação dos diferentes manejos, podem-se destacar os seguintes:

### 4.2.1 Arado de aivecas

O arado de aivecas é utilizado principalmente para o preparo profundo do solo, visando enterrar restos culturais e controlar plantas invasoras. Pode ser de tração animal ou mecanizada (Figura 4.5). No seu funcionamento, o arado de aivecas corta, levanta e vira totalmente a fatia de solo, sendo que a parte superior onde se encontram os resíduos culturais fica para baixo (Figura 4.6). O movimento da aiveca sobre o solo exerce uma pressão para cima e na direção do deslocamento, cortando o solo em distâncias regulares e provocando a desagregação das fatias cortadas.



Figura 4.5 – Arado de aivecas de tração mecanizada (Foto: A. Doneda, 2009).



Figura 4.6 – Esquema de revolvimento do solo pelo arado de aivecas (Desenho: A. Doneda, 2009).

#### 4.2.2 Arado de discos

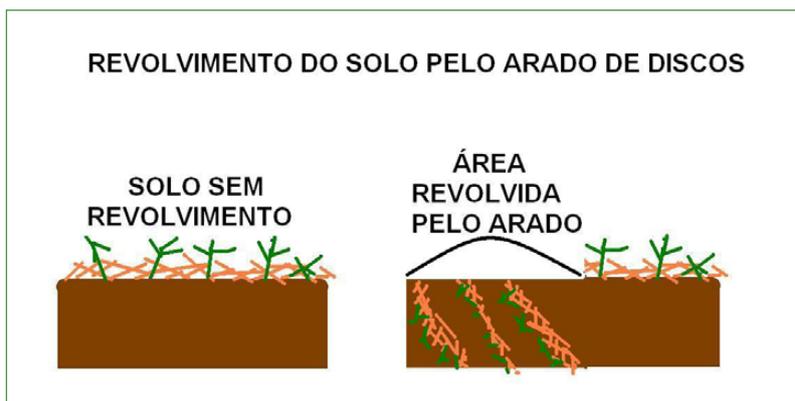
O arado de discos consiste em uma série de discos rotativos côncavos, os quais são montados, individualmente, sobre um chassi e possuem uma profundidade de corte regulável. É utilizado para os mesmos fins que o arado de aivecas, porém, com o objetivo adicional de ser usado na construção dos terraços para prevenir a erosão, conforme visto nas unidades anteriores. Os arados de discos podem ser fixos (Figura 4.7) ou reversíveis (Figura 4.8). No seu funcionamento, o solo é cortado, juntamente com os resíduos culturais e misturado pela ação dos discos. Não ocorre a inversão total do solo, como no arado de aivecas, mas apenas parcial (Figura 4.9).



Figura 4.7 – Arado de discos fixo (Foto: A. Doneda, 2009).



Figura 4.8 – Arado de discos reversível (Foto: A. Doneda, 2009).



**Figura 4.9** – Esquema de revolvimento do solo pelo arado de discos (Desenho: A. Doneda, 2009).

#### 4.2.3 Grade de discos

A grade de discos é utilizada, normalmente, para complementar o trabalho primário realizado pelo arado. Além disso, ela pode ser utilizada para a incorporação de fertilizantes, corretivos e restos culturais, para o controle de plantas invasoras e para a cobertura de sementes, quando semeadas a lanço. Existe, ainda, um tipo de grade chamada de grade aradora (**Figura 4.10**) que pode ser utilizada para preparo primário do solo, substituindo o trabalho dos arados. Já as grades mais leves, utilizadas no preparo secundário do solo, podem ser em formato de "V" ou offset (**Figura 4.11**) e em formato de "X" ou tandem (**Figura 4.12**).



**Figura 4.10** – Grade aradora (Foto: A. Doneda, 2009).



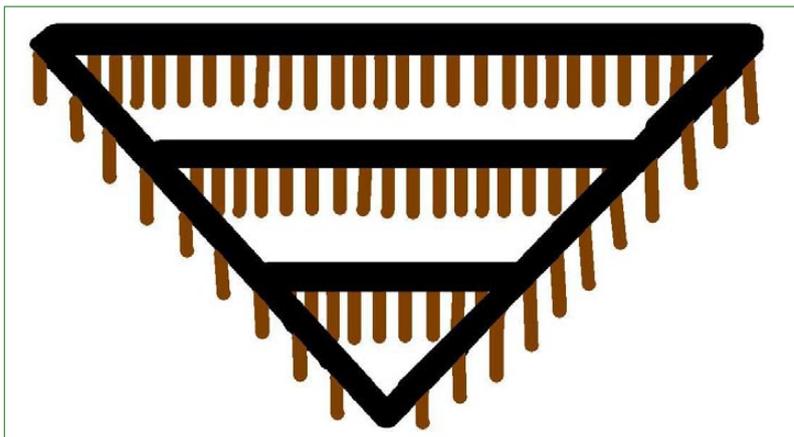
**Figura 4.11** – Grade em “V” ou offset (Foto: A. Doneda, 2009).



**Figura 4.12** – Grade em “X” ou tandem (Foto: A. Doneda, 2009).

#### **4.2.4 Grade de dentes**

A grade de dentes (**Figura 4.13**) é constituída de pequenas armações, normalmente triangulares, as quais possuem pinos de madeira presos a ela. Esses pinos, quando em contato com o solo preparado por outro implemento de preparo primário, auxiliam no nivelamento da superfície, bem como no desmanche dos torrões. Esse tipo de grade é utilizado com tração animal.



**Figura 4.13** – Representação esquemática de uma grade de dentes (Desenho: A. Doneda, 2009).

#### 4.2.5 Enxada rotativa

A enxada rotativa (Figura 4.14) é um equipamento utilizado em preparos que necessitam de intensa desagregação do solo como, por exemplo, na horticultura. Outra utilização desse implemento é quando se deseja a mistura uniforme do solo com os resíduos culturais. O equipamento possui um eixo ao qual estão acopladas lâminas que giram no mesmo sentido das rodas, cortando pequenas porções de solo. A velocidade de deslocamento, combinada com a velocidade de rotação do eixo, determinará a intensidade de preparo do solo. As enxadas rotativas podem ser conduzidas manualmente ou acopladas no trator.



**Figura 4.14** – Enxada rotativa de condução manual (Foto: A. Doneda, 2009).

#### 4.2.6 Escarificadores

Os escarificadores (Figura 4.15) são implementos que possuem hastes de ferro, conectadas em um chassi com certa angulosidade, e são utilizados para o preparo com mínima inversão da camada de solo. Com o uso do escarificador, é possível manter os resíduos culturais sobre a superfície, sendo o implemento utilizado na realização do cultivo mínimo do solo.



Figura 4.15 – Escarificador tipo *Jumbo* (Foto: A. Doneda, 2009).



Figura 4.15 – Escarificadores de molas (Foto: A. Doneda, 2009).

#### 4.2.7 Subsolador

O subsolador (Figura 4.16) é um implemento similar ao escarificador, porém é mais robusto e trabalha em profundidades maiores. As hastes são, normalmente, perpendiculares ao chassi. O uso desse equipamento é recomendado para o rompimento de camadas compactadas em subsuperfície, sendo que exige uma grande potência do trator. O subsolador é comumente conhecido pelos agricultores como “pé-de-pato”, em função do formato característico da ponta da haste de alguns modelos.



**Figura 4.16** – Subsolador (Foto: A. Doneda, 2009).

#### **4.2.8 – Semeadoras para plantio direto**

A escolha da semeadora adequada é um dos principais aspectos condicionantes do sucesso do plantio direto. Com o avanço do plantio direto no mundo, grandes investimentos em tecnologia são realizados no sentido de melhorar cada vez mais a performance das semeadoras.

Os principais requisitos que uma boa semeadora de plantio direto deve possuir são: cortar a palha de diferentes restevras, mobilizar minimamente o solo na abertura do sulco que receberá o fertilizante e as sementes, cobrir e realizar uma leve compactação sobre o sulco de semeadura, além de proporcionar condições ótimas à boa germinação e emergência das plantas. Outro aspecto importante é que elas devem apresentar boa durabilidade, além de serem de fácil manutenção e operação. Não obstante, as semeadoras devem possuir um tamanho adequado à propriedade rural, assim como um custo compatível (**Figuras 4.17 e 4.18**).



**Figura 4.17** – Semeadora para plantio direto na pequena propriedade (Foto: A. Doneda, 2009).

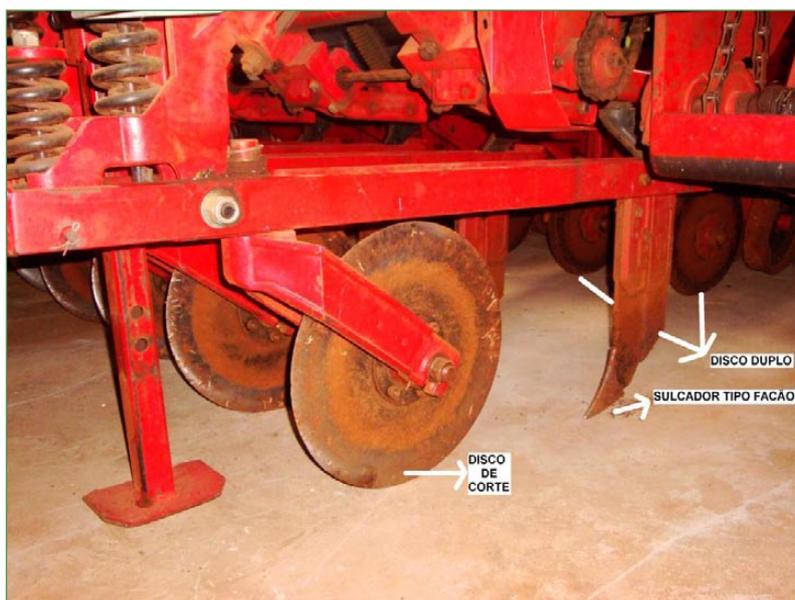


**Figura 4.18** – Semeadora para plantio direto em médias propriedades (Foto: A. Doneda, 2009).

As semeadoras para plantio direto apresentam algumas características especiais que as diferenciam daquelas utilizadas no preparo convencional, com destaque para:

- a. **Disco de corte:** tem a função de cortar a palha e abrir parcialmente o sulco para a passagem do restante do dispositivo que distribuirá o fertilizante e a semente (**Figura 4.19**).
- b. **Discos duplos defasados:** são dois discos de tamanhos diferentes, porém coincidentes no centro, com a função de abrir o sulco para a colocação da semente.

- c. **Discos duplos desencontrados:** possuem a mesma função dos discos duplos defasados, porém possuem o mesmo tamanho e o eixo é desencontrado, fazendo com que um disco toque o solo antes que o outro, o que diminui o requerimento de potência.
- d. **Sulcador do tipo facão ou facão guilhotina:** são estruturas utilizadas no rompimento de camadas compactadas no sulco de semeadura visando a deposição do fertilizante em profundidade. Estão localizados após o disco de corte da semeadora. A diferença entre os dois tipos de sulcador é que o primeiro fica distante do disco de corte, enquanto que o segundo fica junto do disco de corte realizando função conjunta.
- e. **Dispositivos recobridores de sulco (Figura 4.20):** são as partes da semeadora encarregadas de fechar o sulco, onde foram alocados o fertilizante e as sementes, com solo úmido, auxiliando o trabalho dos dispositivos compactadores que vem em seguida.
- f. **Dispositivos compactadores (Figura 4.20):** esse último componente da semeadora tem a função de compactar levemente o solo sobre o sulco de semeadura, fazendo com que a semente tenha um bom contato com o solo, o que facilita a absorção de água para iniciar o processo de germinação.



**Figura 4.19** – Disco de corte, disco duplo e sulcador tipo facão em semeadora para plantio direto (Foto: A. Doneda, 2009).



**Figura 4.20** – Componentes recobridores e compactadores em semeadora para plantio direto (Foto: A. Doneda, 2009).

#### 4.2.9 Rolo-faca

Esse implemento é utilizado para interromper o ciclo vegetativo de plantas de cobertura, permitindo a semeadura das culturas em plantio direto, sobre os resíduos culturais. Para manejar as plantas através da rolagem, o equipamento é composto de um cilindro, acoplado a um chassi, com facas cortantes (**Figura 4.21**). Durante o deslocamento do rolo-faca, tracionado por trator ou por animais, o equipamento derruba e pica as plantas deixando os resíduos na superfície do solo.



**Figura 4.21** – Rolo faca (Foto: A. Doneda, 2009).

## UNIDADE 5

# EFEITO DE SISTEMAS DE MANEJO

## INTRODUÇÃO

Na agricultura, o homem necessita manejar o solo de modo a garantir o bom desenvolvimento das plantas dos diferentes cultivos agrícolas. O solo, por sua vez, irá responder de maneira diferenciada às formas de manejo adotadas pelo homem. Por isso, o uso do solo, de forma racional e sustentável, depende do conhecimento do efeito dos diferentes sistemas de manejo utilizados sobre aspectos determinantes da qualidade do solo. Dentre eles, pode-se destacar a matéria orgânica do solo, a população de macro e microrganismos do solo, atributos químicos ligados à fertilidade do solo, propriedades físicas do solo, ervas espontâneas e contaminação ambiental. Nessa unidade, será abordado cada um desses aspectos.

## OBJETIVOS

- verificar o efeito de diferentes sistemas de manejo sobre algumas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo;
- discutir a ocorrência de ervas espontâneas em diferentes sistemas de manejo;
- analisar a relação da contaminação ambiental com os diferentes sistemas de manejo.

### 5.1 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

O manejo adotado influencia o equilíbrio da matéria orgânica no solo. As mudanças nos teores dessa matéria ocorrem de forma lenta, não sendo possível detectar mudanças consideráveis com diferentes manejos do solo em curto prazo. Porém, em longo prazo, essas mudanças podem ser consideráveis e determinantes na escolha da forma que se vai manejar o solo para cada cultivo agrícola.

O preparo convencional do solo, através de arações e gradagens, provoca a destruição dos agregados do solo e, conseqüentemente, altera a dinâmica da matéria orgânica, no que diz respeito ao seu conteúdo, bem como seus constituintes. Quanto aos resíduos culturais, quando eles são incorporados ao solo, a decomposição é acelerada pelo maior contato deles com o solo e, conseqüentemente, com a comunidade de decompositores, como foi mostrado, na disciplina de Biologia do Solo. Como os resíduos culturais são precursores da matéria orgânica, a aceleração na sua decomposição leva a um menor acúmulo de matéria orgânica. Esse menor acúmulo de matéria orgânica proveniente dos resíduos culturais, somado à

maior decomposição/mineralização da matéria orgânica que estava protegida no interior dos agregados fazem com que o resultado final do manejo do solo através do preparo convencional seja a lenta diminuição nos teores de matéria orgânica ao longo do tempo.

Por outro lado, as formas de manejo conservacionistas do solo, como o cultivo mínimo e o plantio direto, mantêm a estrutura dos agregados, além de retardar a decomposição da palha pelo fato de mantê-la na superfície. Portanto, a adoção de tais manejos conservacionistas pode preservar ou promover o incremento gradual dos teores de matéria orgânica do solo.

Além da adoção de práticas de manejo conservacionistas, como o plantio direto, é importante buscar sistemas de culturas que maximizem a adição ao solo de carbono através de seus resíduos culturais, tanto da parte aérea como do sistema radicular. Essa estratégia de reduzir a decomposição dos resíduos culturais e da própria matéria orgânica do solo e de aumentar a produção e adição ao solo de biomassa vegetal, aliando práticas corretas de manejo conservacionista do solo com o uso de sistemas de culturas adequados, é fundamental para preservar/aumentar os teores de matéria orgânica, garantindo os benefícios desta sobre propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

## **5.2 POPULAÇÃO DE MACRO E MICRORGANISMOS DO SOLO**

O carbono, que é o principal constituinte da matéria orgânica, é o elemento essencial à síntese celular e à produção de energia por parte da maioria dos organismos que habitam o solo. Por isso, qualquer alteração na matéria orgânica afeta diretamente a população e a atividade da comunidade biológica do solo. Novamente, as práticas de manejo conservacionistas oferecem condições mais favoráveis aos macro e microrganismos do solo, em relação ao plantio convencional. Isso ocorre, principalmente, pela presença dos resíduos culturais na superfície do solo, os quais atenuam as variações de temperatura, mantêm a umidade em teores mais adequados, além de garantirem aos organismos o fornecimento lento e contínuo de carbono e nutrientes.

Sem o revolvimento do solo no plantio direto, ou com o seu revolvimento parcial no cultivo mínimo, os macrorganismos, com destaque para as minhocas, constroem galerias ou poros biológicos, os quais funcionam como canais para a infiltração de água e aeração do solo, o que é desejável ao bom desenvolvimento das plantas. Além disso, os macrorganismos trituram parcialmente os resíduos culturais mais grosseiros, facilitando a ação dos microrganismos na decomposição desses resíduos.

Ao estimular os organismos do solo, as práticas de manejo conservacionistas contribuem para o armazenamento de nutrientes no corpo desses organismos, principalmente dos microrganismos, os quais recebem a denominação genérica de biomassa microbiana. Essa imobilização temporária de nutrientes em compostos orgânicos da biomassa reduz o potencial de perda dos nutrientes ao ambiente.

Durante o processo de decomposição dos resíduos culturais, ocorre a morte de uma parte da biomassa microbiana, a qual é atacada pela biomassa sobrevivente, que transforma novamente para a forma mineral aqueles nutrientes que faziam parte de compostos orgânicos da biomassa que morreu. Esse processo, denominado de ciclagem microbiana contribui de forma significativa na nutrição das plantas, através do fornecimento de nutrientes, com destaque para o nitrogênio, fósforo e enxofre. Quanto ao carbono da biomassa que morre, uma parte é reassimilada pela biomassa que sobrevive, outra parte é convertida em matéria orgânica do solo ou húmus e a maior parte retorna para a atmosfera na forma de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Além de possuir um tempo de vida curto, o que garante uma taxa elevada de ciclagem, outra característica marcante da biomassa microbiana é que ela apresenta variações mais rápidas do que os teores de matéria orgânica do solo às alterações efetuadas do manejo do solo. Por isso, a quantificação das quantidades de carbono e nitrogênio, contidas na biomassa microbiana (C-biomassa e N-biomassa), vem sendo cada vez mais utilizada pela pesquisa como um parâmetro indicador de mudanças ocorridas na qualidade do solo, decorrentes de variações nas práticas de manejo adotadas.

### **5.3 ATRIBUTOS QUÍMICOS E FERTILIDADE DO SOLO**

Os atributos químicos e, em consequência, a fertilidade do solo, também são significativamente afetados pelos sistemas de manejo do solo. No plantio direto, pelo fato de os resíduos culturais serem mantidos na superfície, a mineralização dos nutrientes é mais lenta e mais constante no tempo do que no preparo convencional do solo. Aliado a isso, a não mobilização do solo em plantio direto, as aplicações superficiais de fertilizantes e a ciclagem dos nutrientes dos resíduos culturais, conduzem a um aumento na concentração de nutrientes nas camadas mais superiores. Em plantio direto, a redistribuição dos nutrientes no perfil ocorre, principalmente, por lixiviação pela água das chuvas e também biologicamente através do transporte vertical pela ação da fauna edáfica.

Nos cultivos realizados nos períodos iniciais à implantação do sistema plantio direto, a disponibilidade de nitrogênio às plantas pode ser inferior ao cultivo convencional. Isso ocorre,

principalmente, porque, com a não mobilização do solo, a mineralização do N da matéria orgânica ocorre mais lentamente. Com a maior umidade do solo no plantio direto e com a continuidade dos poros preservada, já que o solo não é submetido à aração, pode ocorrer também maior lixiviação de N na forma de nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ), reduzindo a sua disponibilidade às plantas. Além disso, quando o plantio direto é realizado sobre resíduos vegetais de gramíneas, pode ocorrer imobilização microbiana de nitrogênio do solo para a decomposição desses resíduos. Para contornar esse problema, recomenda-se a inclusão de plantas leguminosas na rotação de culturas que, por apresentarem baixa relação C/N, liberam maior quantidade de N às culturas em sucessão, quando da sua decomposição pelos microrganismos do solo.

Em plantio direto, a concentração de fósforo é aumentada na camada superficial do solo, com o passar dos anos. Já em preparo convencional, embora proporcione uma maior uniformidade de distribuição desse elemento no perfil, diminui a quantidade na camada superficial e aumenta a adsorção do mesmo aos minerais do solo, o que diminui sua disponibilidade às plantas.

Para cálcio, magnésio e potássio, também ocorre acúmulo desses nutrientes nas camadas superficiais do solo em plantio direto, porém em menores quantidades, quando comparado ao fósforo, pois esse é retido com maior intensidade por adsorção específica nos argilominerais.

A concentração de nutrientes nas camadas mais superficiais no plantio direto provoca um aumento, nessa zona, da quantidade de raízes. Contudo, tem-se observado que esse aspecto não significa que o sistema radicular fique, preferencialmente, presente na camada mais superficial. Isso somente irá acontecer se houver alguma limitação física, principalmente, para o crescimento das raízes em profundidade. Essa concentração de nutrientes, nas camadas mais superficiais do solo, motivou a que a recomendação para amostragem do solo, a fim de analisar a acidez e a adubação, seja da coleta na camada de 0-10 cm e não 0-20 cm, como recomendado para sistemas com revolvimento do solo com aração. Por isso, a amostragem no plantio direto deve ser criteriosa, cuidadosa e feita por pessoas com noção da variabilidade vertical e horizontal na distribuição dos elementos nutrientes no solo.

A correção da acidez, em plantio direto, deve ser feita na implantação do sistema, através da incorporação do calcário. Porém, com o passar dos anos de cultivo, pode ocorrer a reacidificação do solo e este deve ser corrigido com a aplicação do calcário em superfície. Mesmo que possa haver alguma incorporação do calcário, através da ação mecânica nos sulcos, quando da semeadura, o efeito do calcário no plantio direto tende a ser expressivo apenas

até camadas de até 10 cm de profundidade. Esse é um dos motivos pelos quais ocorre a concentração de cálcio e magnésio nesta camada, pois o calcário é a maior fonte destes elementos. Além disso, relativamente à exportação de cálcio e magnésio através dos produtos comerciais das culturas é pequena, ou seja, a maior parte desses elementos apenas cicla no sistema solo-planta.

#### 5.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

As propriedades físicas do solo são muito afetadas pelos diferentes sistemas de manejo, assim como as químicas e biológicas. O preparo intenso do solo, realizado no cultivo convencional, pode afetar negativamente as propriedades físicas, através da erosão, compactação, diminuição da porosidade, desagregação, diminuição da infiltração de água, entre outros. Já o plantio direto, por não mobilizar o solo, pode preservar as condições existentes quando de sua implantação, bem como melhorá-las com o passar do tempo.

A **densidade e porosidade do solo** em plantio direto, podem se apresentar mais favoráveis ao crescimento das raízes, desde que exista proteção da superfície do solo, durante todo o ano, com restos culturais, ou palhada, como denominado por muitos. Isso para evitar a compactação, próxima da superfície. Por sua vez, no preparo convencional, existe a possibilidade de selamento superficial, devido à falta de cobertura do solo e impacto das gotas da chuva e, com isso, diminui a porosidade total e a macroporosidade. Com isso, a velocidade de infiltração de água é reduzida, o que aumenta a possibilidade de escoamento superficial e a ocorrência de erosão.

A **umidade** do solo sob sistema plantio direto é mantida por mais tempo e é maior que no plantio convencional. Isso ocorre pela maior infiltração de água no plantio direto, além da redução na evaporação de água pela presença de palhada na superfície do solo nesse sistema. Com isso, nos sistemas conservacionistas, a uniformidade de germinação das plantas é maior, além de proporcionar um crescimento inicial mais rápido. Não obstante, em períodos de estiagem prolongada, as plantas cultivadas em plantio direto podem apresentar menor estresse hídrico, quando comparado ao preparo convencional.

A **temperatura** do solo é mais amena e menos variável no sistema plantio direto, quando comparada ao preparo convencional. Isso ocorre pela proteção física que a palhada em superfície proporciona ao solo, aumentando a refletividade da luz solar e atenuando as variações bruscas de temperatura. Com isso, há menor evaporação de água e melhores condições à germinação de sementes, pois altas temperaturas encontradas no plantio convencional podem danificar as sementes, impedindo sua germinação.

A **estabilidade dos agregados do solo** é significativamente aumentada nos preparos conservacionistas em relação ao preparo convencional. Isso ocorre, principalmente, pelo não revolvimento do solo, que mantém os agregados intactos. Além disso, a intensa atividade dos microrganismos e o aumento nos teores de matéria orgânica contribuem para a maior agregação. Isso é muito importante na formação de uma boa estrutura do solo, indispensável ao bom desenvolvimento dos cultivos agrícolas.

### **5.5 ERVAS ESPONTÂNEAS**

No cultivo convencional, o controle de plantas invasoras é mais fácil de ser realizado do que no plantio direto, uma vez que o preparo do solo, em pré-semeadura, incorpora as invasoras ao solo eliminando a infestação inicial. Mesmo em infestações após a emergência dos cultivos agrícolas, o controle mecânico, através de capinas manuais ou mecanizadas, pode ser eficiente. Já, no plantio direto, pela não mobilização do solo, o controle fica restrito às capinas manuais localizadas e à utilização de herbicidas, o que dificulta, de certa forma, o manejo. Porém, caso sejam adotadas medidas de manejo integrado no controle e prevenção de plantas invasoras, os prejuízos podem ser amenizados.

O manejo integrado de plantas daninhas deve abranger a associação de várias técnicas possíveis para diminuir a infestação nas áreas agrícolas. Como exemplo, pode-se citar: a) prevenção quanto à entrada de sementes advindas de outras propriedades na lavoura, através da limpeza das máquinas agrícolas; b) aquisição de sementes de cultivos agrícolas livres de infestação com sementes de invasoras; c) limpeza das áreas marginais de estradas e lavouras, a fim de diminuir a infestação; d) rotação de culturas, a fim de rotacionar os princípios ativos dos herbicidas, diminuindo a ocorrência de resistência das plantas invasoras aos produtos químicos; e) uso de cultivos que produzam grande quantidade de palha na rotação como, por exemplo, a aveia, no inverno, já que a palha em superfície atua como uma barreira física à germinação e emergência das plantas invasoras; f) capina manual, em pequenas áreas ou em manchas localizadas de infestação, porém com o cuidado de não mobilizar excessivamente o solo.

### **5.6 CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL**

As práticas agrícolas, de maneira geral, acabam gerando algum impacto ambiental, seja no solo, ou no ambiente como um todo. Como exemplos de fontes potencialmente poluidoras do ambiente

na agricultura, podem ser destacados os fertilizantes, os pesticidas, os dejetos de animais, entre outros. As diferentes formas de manejo também podem afetar a contaminação ambiental.

Os nutrientes contidos nos fertilizantes podem se tornar poluentes caso haja um excesso deles no solo ou as formas de manejo e aplicação sejam inadequadas. Para o nitrogênio, a forma de nitrato é a mais preocupante com relação a sistemas de manejo, já que, no plantio direto, o volume de água e a infiltração desta no solo são, normalmente, maiores, podendo provocar a lixiviação dessa forma de N, a qual pode atingir o lençol freático provocando a sua contaminação. Para contornar essa forma de poluição, é preciso adequar a dose e o manejo da fertilização nitrogenada das culturas de modo a evitar excesso de nitrato no solo. Juntamente com o nitrato, o fósforo, que é aplicado superficialmente no plantio direto, pode ser carregado juntamente com a água da chuva por escoamento superficial e chegar até os mananciais hídricos, causando eutrofização. Para mitigar esses problemas, é necessário estabelecer as doses de fertilizantes de acordo com a análise do solo e a demanda específica das culturas. Aplicações muito superficiais ou sem incorporação ao solo desses nutrientes também devem ser evitadas.

Os elementos químicos presentes nos pesticidas utilizados na agricultura também constituem uma importante fonte de contaminação do ambiente. Para minimizar os riscos, deve-se utilizá-los de forma racional e controlada, respeitando doses e forma de aplicação. No plantio direto, a carga de defensivos utilizada é maior do que era utilizado no plantio convencional em tempos passados. Embora a toxicologia dos produtos utilizados, normalmente, não é mais tão elevada, devem ser tomados todos os cuidados necessários para minimizar o impacto sobre o ambiente.

Os dejetos de animais são ricos em nitrogênio, fósforo e outros nutrientes, embora possam conter também concentrações elevadas de microrganismos potencialmente patogênicos. No plantio convencional, os dejetos são aplicados superficialmente e incorporados no solo através de aração e/ou gradagem. Já no plantio direto, os dejetos são aplicados na superfície sem incorporação, o que pode aumentar a contaminação dos mananciais hídricos pelo escoamento superficial de nitrogênio, fósforo e microrganismos patogênicos, juntamente com a água da chuva. Para minimizar esse problema, a estratégia de injetar mecanicamente os dejetos no solo em plantio direto parece ser bastante promissora.

Para concluir, é importante enfatizar que as atividades agropecuárias sempre causam algum impacto ambiental. Por isso, devem ser adotadas, na agropecuária, todas as estratégias de manejo que visem à mitigação dessa contaminação do solo, do ar e da água para garantir o uso sustentável desses recursos pelas gerações futuras.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Plantas de cobertura de solo em sistemas agrícolas. In: ALVES, B. J. R. et al. (ed). **Manejo de sistemas agrícolas impacto no seqüestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. Porto Alegre: Genesis, 2006. cap. 3, p. 59-79.
- AZEVEDO, A. C. de; DALMOLIN; R. S. D. **Solos e ambiente: uma introdução**. Santa Maria: Palotti, 2004. 100p.
- BERTONI, J.; NETO, F. L. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, 1990. 355p.
- BISSANI, C. A. et al. (ed.). **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Gênese, 2004. 328p
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC – CQFS – RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: SBCS-Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.
- DENARDIN, J. E. et al. **Manejo de Enxurrada em Sistema Plantio Direto**. Porto Alegre: Fórum Estadual de Solo e Água, 2005. 88p.
- DURIGON, R. **Apostila de Máquinas e implementos agrícolas**. Santa Maria, 2005. 222p.
- ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; LOVATO, T. **Apostila de Manejo e conservação do solo**. Santa Maria, 2005. 102p.
- FILHO, A. C.; BALOTA, E. L.; ANDRADE, D. de S. Microrganismos e processos biológicos no sistema plantio direto. In: SIQUEIRA, J. O. et al. (ed). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa: SBCS, Lavras: UFLA/DCS, 1999. cap. 4, p. 487-508.
- GASSEN, D.; GASSEN, F. **Plantio direto o caminho do futuro**. 2. ed. Passo Fundo: Aldeia Sul, 1996. 207p.
- GIACOMINI, S. J. et al. Biomassa microbiana e potencial de mineralização do carbono e do nitrogênio do solo em sistemas de preparo e de culturas. In: **FERTBIO 2006**, Bonito - MS. Resumos, 2006.
- GRUPO PLANTIO DIRETO. **Guia para plantio direto**. Centralgraph, 2000. 110p.
- KLEIN, V. A. **Física do solo**. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2008. 212p.
- MANZATTO, C. V.; JUNIOR, E. de F.; PERES, J. R. R. (ed.) **Uso Agrícola dos Solos Brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 174p.

- MEURER, E. J. (ed). **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Evangraf, 2006. 285p.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 729p.
- NOVAIS, R. F. et al. (ed.). **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.
- PEIXOTO, R. T. dos G.; AHRENS, D. C.; SAMAHA, M. J. **Plantio direto: o caminho para uma agricultura sustentável**. Ponta Grossa: IAPAR – PRP/PG, 1997. 275p.
- RIO GRANDE DO SUL, Secretaria da Agricultura. **Manual de conservação do solo e água**. 3. ed. Porto Alegre, 1985. 287p.
- SILVA, A. A. da. Métodos de controle de plantas daninhas. In: SILVA, A. A. da; SILVA, J. F. da (ed). **Tópicos em manejo de plantas daninhas**. Viçosa: UFV, 2007. cap. 2, p. 63-81.
- SILVA, J. E. da; RESCK, D. V. S. Matéria orgânica do sol. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (ed). **Biologia dos solos dos cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. cap. 9, p. 465-515.
- SIQUEIRA, J. O.; SOARES, C. R. F. S.; SILVA, C. A. Matéria orgânica em solos de áreas degradadas. In: SANTOS, G. de A. et al. (ed). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. Porto Alegre: Metropole, 2008. cap. 26, p. 495-524.
- TAVARES, S. R. de L. et al. **Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da ciência do solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. 228p.