

INFORME AGROPECUARIO

v. 29 - n. 244 - mai./jun. 2008 ISSN 0100-3364



EPAMIG

Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Áreas degradadas

ISSN 01003364



RS 12,00

0 0 2 4 4

9 770100 336002



**GOVERNO
DE MINAS**

Para vislumbrar o futuro, é preciso olhar longe.

Ou bem de perto.



A FAPEMIG investe em pesquisa de norte a sul do Estado e em todas as áreas do conhecimento. Longe ou perto, com perspectivas macro ou microscópicas, sua meta é promover o desenvolvimento, através do apoio à Ciência, Tecnologia e Inovação.

*Para conhecer a FAPEMIG,
visite a nossa homepage:
<http://www.fapemig.br>*

FAPEMIG
Fundação de Amparo à Pesquisa
do Estado de Minas Gerais

**GOVERNO
DE MINAS**
Construindo um novo tempo

Informe Agropecuário

Uma publicação da EPAMIG

v.29 n.244 maio/jun. 2008

Belo Horizonte-MG



Apresentação

A maior demanda por alimentos, minérios e bens diversos exerce forte pressão sobre os recursos naturais, o que causa conflitos sobre a utilização destes recursos e a produção de bens primários. Como consequência, ocorre empobrecimento de áreas agrícolas, aumento no resíduo das atividades urbanas e minerais, ocasionando degradação do meio ambiente.

As explorações agropecuárias, minerais e a própria urbanização estão entre as principais atividades degradadoras. A agricultura intensiva e os monocultivos tendem a produzir ecossistemas homogêneos e cada vez mais simplificados. A agricultura sustentável não constitui um conjunto de práticas especiais, mas um objetivo que contempla dentre outros, a conservação dos recursos naturais e a produtividade dos sistemas agropecuários.

A busca por sistemas de produção mais sustentáveis é uma vertente da pesquisa e desenvolvimento cada vez mais incontestável. Também não se contesta que muitas áreas foram utilizadas além de sua capacidade de suporte, o que levou estas áreas a um estado de degradação, muitas vezes, de grande impacto ambiental. Nesse contexto, a recuperação das áreas degradadas e o seu adequado manejo são caminhos que devem ser trilhados em busca de sistemas de produção mais sustentáveis.

Esta edição da revista Informe Agropecuário vem ao encontro das necessidades prementes na resolução de problemas relacionados com as atividades agropecuárias e busca divulgar informações e técnicas de aplicação prática.

*Hugo Adelante de Mesquita
Maria Inês Nogueira Alvarenga*

Sumário

Editorial	3
Entrevista	4
Legislação aplicada à recuperação de áreas degradadas	
Ângela Ferracioli da Silva, Maria Inês Nogueira Alvarenga, Rogério Melloni e Eliane Guimarães Pereira Melloni	7
Indicadores da qualidade do solo	
Rogério Melloni, Eliane Guimarães Pereira Melloni e Maria Inês Nogueira Alvarenga	17
Recuperação de áreas poluídas por atividades pecuárias	
Eduardo Teixeira da Silva, Claudio de Souza Magalhães, Caroline Teixeira Marçal, Luiz Angelo Pasqualin e Rafael de Geus Alves	34
Recuperação de áreas degradadas por cultivos anuais	
Hugo Adelante de Mesquita, Miralda Bueno de Paula e Regis Pereira Venturin	45
Recuperação de pastagens degradadas	
Domingos Sávio Queiroz, Luís Tarcísio Salgado e Leonardo de Oliveira Fernandes	55
Revegetação e estabilidade de taludes	
Liane Barreto Alves Pinheiro e Nívea Adriana Dias Pons	66
Proteção de taludes e controle de erosão com técnicas de bioengenharia	
Jéssica Schumann Costa, Maria Inês Nogueira Alvarenga, Eliane Guimarães Pereira Melloni e Rogério Melloni	75
Agronegócio e recursos naturais: desafios para uma coexistência harmônica e menor degradação ambiental	
Alfredo Scheid Lopes	89

ISSN 0100-3364

Informe Agropecuário	Belo Horizonte	v. 29	n. 244	p. 1-100	maio/jun.	2008
----------------------	----------------	-------	--------	----------	-----------	------

© 1977 EPAMIG

ISSN 0100-3364

INPI: 006505007

CONSELHO DE DIFUSÃO DE TECNOLOGIA E PUBLICAÇÕES

Baldonado Arthur Napoleão

Luiz Carlos Gomes Guerra

Enilson Abrahão

Álvaro Sevarolli Capute

Maria Lélia Rodriguez Simão

José Roberto Enoque

Juliana Carvalho Simões

Mairon Martins Mesquita

Vânia Lacerda

COMITÊ EDITORIAL DA REVISTA INFORME AGROPECUÁRIO

Mairon Martins Mesquita

Departamento de Transferência e Difusão de Tecnologia

Vânia Lacerda

Divisão de Publicações

Maria Lélia Rodriguez Simão

Departamento de Pesquisa

Antonio de Pádua Alvarenga

Programa Silvicultura e Meio Ambiente

Antônio Álvaro Corsetti Purcino

Embrapa

Trazilbo José de Paula Júnior

Editor-técnico

PRODUÇÃO

**DEPARTAMENTO DE TRANSFERÊNCIA E DIFUSÃO DE TECNOLOGIA
DIVISÃO DE PUBLICAÇÕES**

EDITOR-EXECUTIVO

Vânia Lacerda

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Hugo Adelande de Mesquita e Maria Inês Nogueira Alvarenga

REVISÃO LINGÜÍSTICA E GRÁFICA

Marlene A. Ribeiro Gomide e Rosely A. R. Battista Pereira

NORMALIZAÇÃO

Fátima Rocha Gomes e Maria Lúcia de Melo Silveira

PRODUÇÃO E ARTE

Diagramação/formatação: *Maria Alice Vieira, Fabriciano Chaves Amaral e Letícia Martinez*

Capa: *Letícia Martinez*

Foto da capa: *Maria Inês Nogueira Alvarenga*

Impressão: *Lastro Editora*

PUBLICIDADE

Décio Corrêa

Av. José Cândido da Silveira, 1.647 - Cidade Nova

CEP 31170-000 Belo Horizonte-MG

Telefone: (31) 3489-5088

deciocorreia@epamig.br

Informe Agropecuário é uma publicação da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais EPAMIG

É proibida a reprodução total ou parcial, por quaisquer meios, sem autorização escrita do editor. Todos os direitos são reservados à EPAMIG.

Os artigos assinados por pesquisadores não pertencentes ao quadro da EPAMIG são de inteira responsabilidade de seus autores.

Os nomes comerciais apresentados nesta revista são citados apenas para conveniência do leitor, não havendo preferências, por parte da EPAMIG, por este ou aquele produto comercial. A citação de termos técnicos seguiu a nomenclatura proposta pelos autores de cada artigo.

O prazo para divulgação de errata expira seis meses após a data de publicação da edição.

Assinatura anual: **6 exemplares**

Aquisição de exemplares

Departamento de Negócios Tecnológicos

Divisão de Produção e Comercialização

Av. José Cândido da Silveira, 1.647 - Cidade Nova

CEP 31170-000 Belo Horizonte - MG

Telefax: (31) 3489-5002

E-mail: publicacao@epamig.br - Site: www.epamig.br

CNPJ (MF) 17.138.140/0001-23 - Insc. Est.: 062.150146.0047

Informe Agropecuário. - v.3, n.25 - (jan. 1977) - . - Belo Horizonte: EPAMIG, 1977 - .
v.: il.

Cont. de Informe Agropecuário: conjuntura e estatística. - v.1, n.1 - (abr.1975).

ISSN 0100-3364

1. Agropecuária - Periódico. 2. Agropecuária - Aspecto Econômico. I. EPAMIG.

CDD 630.5

O Informe Agropecuário é indexado na
AGROBASE, CAB INTERNATIONAL e AGRIS

Governo do Estado de Minas Gerais
Secretaria de Estado de Agricultura,
Pecuária e Abastecimento
Sistema Estadual de Pesquisa Agropecuária
EPAMIG, UFLA, UFMG, UFV

Governo do Estado de Minas Gerais

Aécio Neves

Governador

Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Gilman Viana Rodrigues

Secretário



EPAMIG

Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais

Conselho de Administração

Gilman Viana Rodrigues

Baldonado Arthur Napoleão

Silvio Crestana

Adauto Ferreira Barcelos

Osmar Aleixo Rodrigues Filho

Décio Bruxel

Sandra Gesteira Coelho

Elijas Nunes de Alcântara

William Brandt

Joanito Campos Júnior

Helton Mattana Saturnino

Conselho Fiscal

Carmo Robilota Zeitune

Heli de Oliveira Penido

José Clementino dos Santos

Evandro de Oliveira Neiva

Márcia Dias da Cruz

Celso Costa Moreira

Presidência

Baldonado Arthur Napoleão

Diretoria de Operações Técnicas

Emilson Abraão

Diretoria de Administração e Finanças

Luiz Carlos Gomes Guerra

Gabinete da Presidência

Alvaro Sevarolli Capute

Assessoria de Comunicação

Roseney Maria de Oliveira

Assessoria de Desenvolvimento Organizacional

Ítalo Mosci Santiago

Assessoria de Informática

Renato Damasceno Netto

Assessoria Jurídica

Nuno Miguel Branco de Sá Viana Rebelo

Assessoria de Planejamento e Coordenação

Bethânia Elisa Amaral Rocha

Assessoria de Relações Institucionais

Júlia Salles Tavares Mendes

Assessoria de Unidades do Interior

Alvaro Sevarolli Capute

Auditoria Interna

Carlos Roberto Ditiadi

Departamento de Transferência e Difusão de Tecnologia

Mairon Martins Mesquita

Departamento de Pesquisa

Maria Lélia Rodriguez Simão

Departamento de Negócios Tecnológicos

José Roberto Enoque

Departamento de Estudos Econômicos e Prospecção

Juliana Carvalho Simões

Departamento de Recursos Humanos

Flávio Luiz Magela Peixoto

Departamento de Patrimônio e Administração Geral

Mary Aparecida Dias

Departamento de Obras e Transportes

Luiz Fernando Drummond Alves

Departamento de Contabilidade e Finanças

Celina Maria dos Santos

Instituto de Laticínios Cândido Tostes

Gérson Occhi e Nelson Luiz Tenchini de Macedo

Instituto Técnico de Agropecuária e Cooperativismo

Marcílio Valadares

Centro Tecnológico do Sul de Minas

Edson Marques da Silva

Centro Tecnológico do Norte de Minas

Marco Antonio Viana Leite

Centro Tecnológico da Zona da Mata

Plínio César Soares

Centro Tecnológico do Centro-Oeste

Cláudio Egon Facion

Centro Tecnológico do Triângulo e Alto Paranaíba

Roberto Kazuhiko Zito

Desafio para um futuro sustentável

Uma das maiores preocupações da humanidade é atender à demanda mundial de produção de alimentos, em virtude do crescimento populacional nas próximas décadas e da utilização de espaços agrícolas para produção de matéria-prima para biocombustíveis. A produção mundial de alimentos deverá atingir 4 bilhões de toneladas, no ano de 2025, quando a população mundial chegará a 8,3 bilhões de habitantes, conforme projeções da Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Para que essas metas sejam alcançadas, a produtividade média mundial de grãos deverá atingir 4,5 t/ha, em 2025. O desafio está na produtividade, que deverá estar sintonizada com a sustentabilidade do processo produtivo.

A questão da sustentabilidade na agricultura está diretamente ligada à minimização da degradação e de riscos ao meio ambiente. Neste contexto, a agricultura reveste-se de grande importância como geradora de alimentos e energia e o tema meio ambiente entra definitivamente na pauta de discussão de governos e sociedades em todo o mundo.

O Brasil é um dos poucos países com amplas possibilidades de suprir a demanda mundial de alimentos, por dispor de tecnologias que alcançam aumentos consideráveis de produtividade, possuir a maior fronteira agrícola mundial para expansão da área cultivada e apresentar 14% da água doce do mundo. Para integrar esta nova estruturação mundial para produção de alimentos, o País precisa aliar produtividade à preservação e conservação do meio ambiente. Assim, deve priorizar a pesquisa para o desenvolvimento de tecnologias elaboradas dentro desse princípio, atualizar a legislação para esta finalidade e promover a conscientização de toda a sociedade quanto à importância econômica e social de uma agricultura produtiva e ambientalmente responsável.

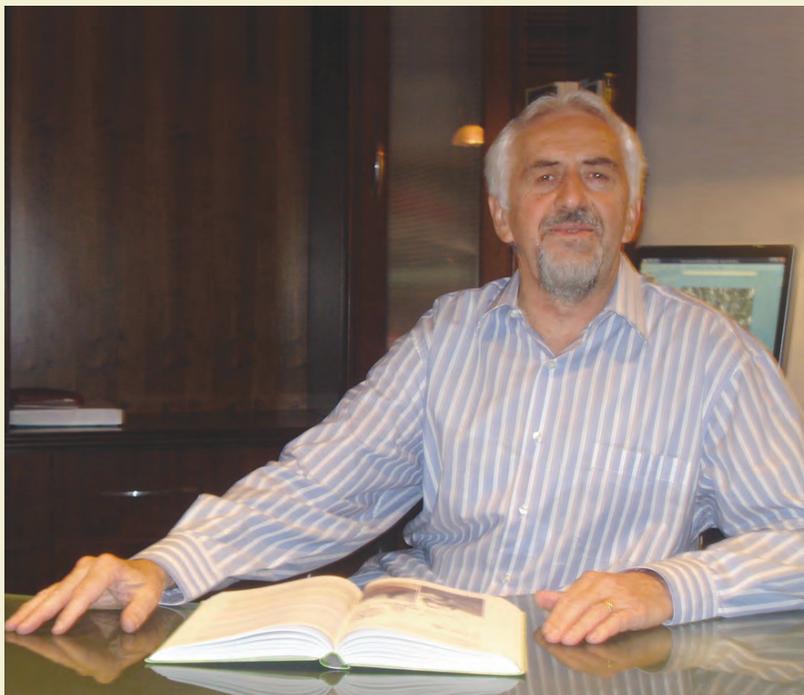
Esta edição do Informe Agropecuário traz artigos que mostram impactos da ação de atividades agrícolas no meio ambiente e soluções para minimizar esses danos e, até mesmo, promover a recuperação de áreas degradadas.

Baldonado Arthur Napoleão

Presidente da EPAMIG

A responsabilidade é de todos nós

O professor Maurício Balensiefer atua em diversas áreas relacionadas com o meio ambiente e a recuperação de áreas degradadas. Trabalha no Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal do Paraná (UFPR), é diretor, para a América Latina e Caribe, da Sociedade Internacional de Restauração Ecológica (Seri) com sede no Arizona, EUA, e integra o grupo de Coordenação da Rede Ibero-americana e do Caribe de Restauração Ecológica (Riacre). Sua dedicação a este tema levou-o à presidência da Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas (Sobrade), (www.sobrade.com.br), com sede em Curitiba, PR, que tem como finalidade desenvolver e aprimorar a recuperação ambiental, promovendo a integração entre o ensino, a pesquisa e a extensão, e tem contribuído para minimizar os efeitos causados pelas atividades que acarretam impactos ao meio ambiente.



IA - *A palavra de ordem na agropecuária é a sustentabilidade e tem sido utilizada em todas as ações que envolvem as explorações agrícolas. Quais ações estratégicas deveriam ser implementadas, para que as atividades agropecuárias e a preservação ambiental possam estar em equilíbrio?*

Maurício Balensiefer - No mínimo, o cumprimento da Legislação Ambiental. Não se trata de ação estratégica, mas obrigação, cujo cumprimento passa a ser estratégico. Não acredito, por exemplo, que o agricultor brasileiro, mesmo com o largo prazo dado para recuperar sua reserva legal, venha a fazê-lo, caso não se permita o uso de espécies comerciais em pelo menos um ciclo, como incentivo nessa tarefa. Excluem-se aqui as áreas de Preservação Permanente que, pela sua importância, devem ser vistas como áreas a serem restauradas, ou seja,

na recuperação, considerar não apenas a forma, mas também sua função. Ademais, a sustentabilidade na agropecuária deve ficar centrada na adoção de medidas agrônomicas eficazes, onde, no mínimo, se inclui a conservação dos recursos solos e águas. Caso contrário, estes, uma vez exauridos, levarão o agricultor à busca e à abertura de novas áreas e, dentre elas, as florestais.

IA - *A utilização dos recursos naturais para produção de alimentos e abastecimento de água nas cidades e outros trabalhos ambientais refletem significativamente no meio urbano. Dessa forma, a sociedade também não deveria ter o ônus e a responsabilidade dos custos na preservação e/ou recuperação destes recursos?*

Maurício Balensiefer - Tanto a população urbana como a rural utilizam

recursos naturais e beneficiam-se às custas deles, tanto de água, como solo e florestas e, via de regra, pagam por isso. As companhias de água, por exemplo, exploram este precioso recurso e cobram por isso. Aí a sociedade arca com o ônus. A essas empresas cabe a responsabilidade de promover sustentabilidade, preservar o recurso. No entanto, observam-se menos ações nesse sentido do que avanços na gestão, muitas vezes como um negócio (vejam os lucros) e, dessa forma, sua sustentabilidade fica ameaçada.

IA - *Além de medidas punitivas e autoritárias (leis), os trabalhos e ações educativas e/ou programas de conservação de solo e água em âmbito municipal ou regional são também eficientes na recuperação de áreas degradadas?*

Maurício Balensiefer - As medidas punitivas, que se baseiam na aplicação

das Leis Ambientais, têm-se revertido em efeitos positivos para educar as pessoas. Até porque as punições são amplamente divulgadas pela imprensa. A recuperação de áreas degradadas é tema relativamente recente no Brasil. Trata-se de medida onerosa e daí a importância de prevenir a degradação. Existem vários programas preventivos a esse processo no País, os quais só não são mais eficientes em termos de educação/conscientização por falta de divulgação, a exemplo do que ocorre com as punições prioritizadas, por motivos óbvios, pela mídia.

IA - *Qual a sua avaliação quanto à conscientização da sociedade sobre a importância da recuperação de áreas degradadas?*

Maurício Balensiefer - Alguns números podem mostrar isso: os encontros (Simpósio Nacional) promovidos biennialmente no Brasil, pela Sobrade, apontam uma crescente preocupação com o tema pelas mais variadas fontes ou vetores de degradação (mineração, agropecuária, urbanização e grandes obras, como estradas e barragens, e a sociedade de maneira geral).

De 340 participantes do primeiro evento em 1992, passaram-se a 850 na VII edição, em 2006. E de mais de 70 trabalhos técnico-científicos apresentados naquela edição, passaram-se a 260 na última. É um indicativo e uma tendência crescente de preocupação com a questão. Ademais, cresce o número de notícias que reportam denúncias de casos pertinentes, evidências do aumento dessa consciência.

IA - *Na sua opinião, cuidar do meio ambiente é questão de soberania nacional?*

Maurício Balensiefer - Sim. Vários

países estão de “olho gordo” na Amazônia, por pretensamente não cuidarmos daquele valioso bioma. Não que a soberania nacional esteja em jogo, mas devemos admitir que precisamos de argumentos para provar nosso zelo por aquela preciosidade e que os valiosos recursos dali são finitos. A partir do momento da definição e edição do zoneamento econômico-ecológico daquela área como um todo e não limitada a um Estado, dissipar-se-ão dúvidas e questionamentos.

IA - *Confrontando custo de recuperação versus custo de conservação/ preservação, observa-se que a recuperação, por via de regra, é mais onerosa. É evidente que em determinadas atividades, por exemplo mineração, está implícita a degradação no processo, mas no caso de atividades agropecuárias, qual seria, na sua opinião, a medida governamental que levaria à ordenação das atividades?*

Maurício Balensiefer - A degradação não está implícita apenas na mineração. Ela é a atividade que, onde atua, mais degrada ou altera ambientes, mas é pontual. Historicamente no Brasil, a agropecuária é a que, em extensão, mais degrada ambientes, basta avaliar a ocupação pela atividade de norte a sul do País. A fiscalização hoje é mais intensa e exige mais da mineração. Muitas áreas consideradas ambientalmente frágeis, do ponto de vista pedológico, não poderiam ser utilizadas pela pecuária ou pela agricultura ou dentro dessa atividade por determinada cultura. A medida governamental que pode levar à ordenação dessa atividade continua sendo a con-

cepção de um zoneamento.

IA - *Como se apresenta a questão: direito de propriedade versus preservação do meio ambiente?*

Maurício Balensiefer - Nossa lei diz que as florestas do Brasil, sendo consideradas úteis às terras que elas revestem, são bens de interesse comum dos habitantes do Brasil. Assim, o proprietário pode exercer o direito de propriedade dentro das limitações legais e deve deixar para os herdeiros e futuras gerações, ambientes em condições de assegurar suas sobrevivências. Fora isso, é considerado uso nocivo da propriedade. Não é necessário sacrifício para fazer uso consciente da propriedade. O beneficiado será o proprietário.

IA - *Qual o papel da Sobrade no contexto da recuperação de áreas degradadas?*

Maurício Balensiefer - O agricultor brasileiro e muitos leitores deste Informe Agropecuário já têm noção dos malefícios do uso ambientalmente nocivo de sua propriedade. Se herdou ou gerou impactos ambientais, sempre há tempo para corrigir ou mitigar estes impactos. Eles vão contribuir em curto prazo para reduzir perdas de solo, melhorar a qualidade das águas e mesmo a paisagem na propriedade.

A Sobrade, na busca de soluções para esse grave problema, já reuniu mais de 700 trabalhos técnicos editados nos eventos que realizou e coloca-se à disposição dos interessados. Em outubro realizará, em Curitiba/PR, o VII Simpósio Nacional sobre Recuperação de Áreas Degradadas, onde sempre se oportuniza a participação de todos os interessados.

II SIMBANANA

II Simpósio Norte-Mineiro sobre a Cultura da Banana

25 a 29 de agosto de 2008

EPAMIG/CTNM - Nova Porteirinha - MG

Lançamento do
Informe Agropecuário
Bananicultura Irrigada
(Edição Especial)

Informações e inscrições:

www.epamig.br

Telefax: (38) 3834-1760

magevr@epamig.br



Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento



Legislação aplicada à recuperação de áreas degradadas

Ângela Ferracioli da Silva¹

Maria Inês Nogueira Alvarenga²

Rogério Melloni³

Eliane Guimarães Pereira Melloni⁴

Resumo - Grande parte das atividades produtivas, bem como as infra-estruturas de produção, vias de acesso, atividades extrativas de minerais, entre outras, ocorre no meio rural. Sendo assim, procedimentos de recuperação envolvem atividades agrárias, amparadas por uma legislação que atribui ao empreendedor a responsabilidade de recuperá-las para uma condição produtiva. Dentro deste contexto está a Legislação Ambiental Brasileira num esforço a cada dia de maior atuação e atualização, norteando e direcionando as ações para a busca de um ambiente ecologicamente equilibrado e sustentável.

Palavras-chave: Área degradada. Legislação ambiental. Danos ambientais. Responsabilidade ambiental. Recuperação do meio ambiente.

INTRODUÇÃO

A degradação ambiental embora ocorra de forma concentrada no meio urbanizado, proveniente, principalmente, da ocupação desordenada e indevida de locais sem aptidão para os fins aos quais são expostos, é no meio rural que ela toma as maiores proporções; todavia, não necessariamente, com efeitos de intensidade proporcional à área atingida.

Dentro dessa ótica é que se verifica uma “certa falta de compromisso” na recuperação de áreas degradadas por atividades agropecuárias, já que essa degradação, na maioria das vezes, acontece de maneira bastante discreta, só sendo percebida quando atinge proporções alarmantes, como, por exemplo, a formação de grandes voçorocas ou o assoreamento das partes baixas das paisagens, com consequentes acréscimos no montante de divisas necessárias à sua recuperação, inde-

pendente dos impactos indiretos provocados na área atingida.

Considerando também que grande parte das atividades produtivas, bem como as infra-estruturas de produção, vias de acesso, atividades extrativas de minerais etc., ocorre no meio rural e que os procedimentos de recuperação dessas áreas envolvem atividades agrárias, amparadas por uma legislação que atribui ao empreendedor a responsabilidade de recuperá-las para uma condição produtiva, é pertinente um esclarecimento do aparato legal que precede as fiscalizações pelos órgãos ambientais.

A evolução do Direito Ambiental no Brasil voltada, claramente, para princípios, tais como, o da dignidade da pessoa humana, o da precaução e da prevenção e o do desenvolvimento sustentável, vem gerando opiniões de ser essa Legislação Ambiental uma das mais bem elaboradas

no mundo, com conteúdos bastante exigentes, quando se refere à recuperação de áreas degradadas.

Verifica-se a degradação de uma área, independente da atividade exercida, quando:

- a) a vegetação e a fauna são expulsas, removidas ou destruídas;
- b) a camada de solo fértil é perdida, removida ou coberta, afetando a vazão e a qualidade ambiental dos corpos d'água superficiais ou subterrâneos.

Tudo isso acarreta alterações das características físicas, químicas e biológicas na área. Assim, pode-se considerar que qualquer atividade produtiva é potencialmente degradadora do ambiente ou, pelo menos, desestabilizadora do equilíbrio do meio.

A recuperação de uma área deve iniciar definindo-se planos em que se analisam os

¹Advogada, Rua Paissandu, 111/801 - Flamengo, CEP 22210-080 Rio de Janeiro-RJ. Correio eletrônico: angelaFerracioli@gmail.com

²Eng^a Agr^a, D.Sc., Prof^a Adj. UNIFEI, Caixa Postal 50, CEP 37500-903 Itajubá-MG. Correio eletrônico: mariaines@unifei.edu.br

³Eng^a Agr^a, D.Sc., Prof. Adj. UNIFEI, Caixa Postal 50, CEP 37500-903 Itajubá-MG. Correio eletrônico: rmelloni@unifei.edu.br

⁴Eng^a Agr^a, D.Sc., Prof^a Adj. UNIFEI, Caixa Postal 50, CEP 37500-903 Itajubá-MG. Correio eletrônico: elianegp@unifei.edu.br

aspectos ambientais, estéticos e sociais, levando-se em consideração o objetivo final que se quer da área, permitindo um novo equilíbrio ecológico.

A Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988), logo de início já dispõe um plano geral de entendimento em relação ao meio ambiente, norteando seu posicionamento no art. 225 e seus parágrafos:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-la e preservá-la para as presentes e futuras gerações.

O art. 225, parágrafo 3º, deixa claro que as ações públicas e privadas, usadas na prevenção da lesão ao meio ambiente, estão presentes também na repressão aos ilícitos cometidos, medidas estas ainda de relevância por não se conseguir evitar todo atentado contra a natureza:

[...] as condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos.

Para atingir os objetivos mencionados, ainda conforme o art. 225, parágrafo 1º, inciso I: “incumbe ao Poder Público preservar e restaurar” e prossegue no parágrafo 2º dizendo que:

[...] aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei.

Portanto, o art. 225 da Lei Maior em sua totalidade, também chamado “o Artigo do Meio Ambiente” traz uma compreensão clara do alcance da preocupação em zelar não só pelas ações de caráter negativo do homem diante da natureza, relacionadas com a degradação para enriquecimento próprio, bem como as de caráter positivo,

como devolver ao ambiente degradado seu equilíbrio.

Nesse contexto, é necessário um pequeno retrocesso histórico para que se compreenda a evolução do Direito Ambiental até a Constituição de 1988 (BRASIL, 1988).

EVOLUÇÃO

Em 1981 entra em vigor a Lei de Política Nacional do Meio Ambiente - Lei Federal nº 6.938/1981 (BRASIL, 1981) que traça os objetivos desta. Seu art. 2º, inciso VIII, define como um dos princípios desta política a “Recuperação de Áreas Degradadas”, e assinala - restauração dos recursos ambientais - imposição ao poluidor e ao predador da obrigação de recuperar os danos causados (art. 4º, VII).

Na mesma linha política há a Lei Federal nº 4.771/1965, anterior à citada, que institui o Código Florestal (BRASIL, 1965). Tem sido motivo de importantes discussões, devido ao Projeto de Lei nº 6.424/2005 (BRASIL, 2005). Este projeto, em tramitação na Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (CMADS), encaminhado pelo presidente da Câmara dos Deputados à Comissão de Agricultura, oferece sérios riscos ao bioma brasileiro. Aumenta de maneira desmedida a possibilidade do plantio de espécies exóticas sem estudos técnicos, bem como as formas de compensação ao dano ambiental causado pelo dono da propriedade; diminui a área de reserva legal da Amazônia. Enfim, é indispensável que a proposta seja analisada de forma cuidadosa, com debates, que envolvam a população brasileira.

A Lei nº 6.766/1979 não permite o parcelamento em áreas poluídas sem que antes seja feita sua correção: art. 3º parágrafo único, incisos II, V (BRASIL, 1979).

Relacionados com a exploração de recursos minerais foi regulamentado o Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD) pelo Decreto Federal nº 97.632/1989 (BRASIL, 1989a).

Sobre a Política Agrícola, com base na Lei nº 8.171/1991 em seu art. 3º, inciso IV:

[...] estimular a recuperação dos recursos naturais” e art.19, inciso IV diz que o Poder Público deverá “promover e/ou estimular a recuperação das áreas em processo de desertificação (BRASIL, 1991).

Na mesma linha de entendimento na recuperação de áreas degradadas (pós-Constituição), a Lei nº 9.985/2000 que consignou o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) compreende a preservação, a manutenção, a utilização sustentável, a restauração e a recuperação do ambiente natural (BRASIL, 2000).

A Lei nº 11.284/2006 que dispõe sobre florestas públicas para produção sustentável e inclui como princípio, em seu art. 2º, inciso VII, a conscientização da população sobre cuidados e recuperação dos recursos florestais e, inciso VIII, que exige a garantia de condições de segurança para investimentos em recuperação (BRASIL, 2006).

Esses são exemplos de leis federais que se destacaram e somam-se a estas inúmeras leis estaduais e municipais que se interligam e se complementam.

UTILIZAÇÃO DAS LEIS

Não existe Legislação Ambiental específica no Brasil para recuperação de áreas degradadas, mas as normas no seu geral oferecem bases e mesmo itens específicos para tal atuação.

Os planos governamentais, sua estrutura e suas leis federais, funcionam como alicerce do arcabouço legal a partir dos quais entram normas ambientais federais, estaduais e municipais, que suprem a falta dessa legislação específica, norteando as condutas e os procedimentos para recuperação de áreas devastadas.

A diversidade de meios físicos, os tipos de empreendimentos e o tamanho da área geográfica exigem dos profissionais conhecimentos dos dispositivos legais para a elaboração de programas de recuperação de áreas degradadas de cada Estado ou município, para dentro deles obter as licenças próprias dos órgãos responsáveis.

A título de exemplo comparou-se no

Quadro 1 a Legislação Brasileira com a do estado de São Paulo, quanto ao problema de água contaminada, no que se refere às várias leis em que são pautadas.

Dessa forma, são usadas todas as leis de cada Estado e município no empreendimento específico em questão, contribuindo harmonicamente para recuperação de áreas contaminadas.

TIPOS DE EMPREENDIMENTOS E LEGISLAÇÕES

Em todo o empreendimento, seja uma hidrelétrica, seja uma área para extração de minério, estradas etc., existe a necessidade de licenciamentos, estudos de impactos a que se dará publicidade; incumbências essas delegadas ao Poder Público para aquele que explorar qualquer área e que, ao final, verificar degradação do meio ambiente, seja obrigado a recuperá-lo segundo a lei e ao órgão público competente.

O Poder Público no que tange aos riscos potenciais de danos ao meio ambiente tem em mãos instrumentos de controle, tais como:

- a) Estudo Prévio de Impacto Ambiental (EPIA);
- b) Estudo de Impacto Ambiental (EIA);
- c) Relatório de Impacto Ambiental (Rima);
- d) Licenciamento Ambiental (LA);
- e) PRAD.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama), por meio de Resoluções, estabelece os critérios e as normas básicas desses instrumentos. Algumas Resoluções mais importantes:

- a) Resolução Conama nº 1/1983: normatiza a elaboração de estudos e relatórios de impacto ambiental – EIA/Rima – para diversas atividades. Cabe aqui ressaltar que, embora a Resolução apresente uma listagem de empreendimentos que necessitem de licenciamento ambiental, o enunciado introduz os empreendimentos potencialmente

QUADRO 1 - Comparação entre a legislação federal e a do estado de São Paulo referente ao problema de água contaminada

Nível federal	Nível estadual (São Paulo)
Constituição 1988, art.225 – “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado”.	Constituição do estado de São Paulo/1988, art.193 - define aspectos da Política Ambiental.
Lei Federal 6.938/81 e Decreto 99.274/90 - Política Nacional de Meio Ambiente.	Lei 9.5009/97- Política Estadual do Meio Ambiente.
Lei 6.766/79 - questão de parcelamento do solo.	Lei 997/76 e Decreto 8.468/76 - controle de poluição.
Lei 9.605/98 - Crimes Ambientais	Lei 6.134/88 e Decreto 32.955/91 - preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas.
	Lei 898/75 - uso do solo para proteção dos mananciais.
	Lei 7.663/91 - Política de Recursos Hídricos.
	Lei 7.750/92 - Política de Saneamento.
	Lei 9.999/98 - uso de zonas industriais sob critério de contaminação de solo.

impactantes a título de exemplo, ou seja, devendo, a princípio, todos os empreendimentos passarem pelo processo de licenciamento (MACHADO, 1996);

- b) Resolução Conama nº 10/1990: permite a dispensa do EIA/Rima, a critério dos órgãos competentes, que neste caso é substituído pelo Relatório de Controle Ambiental (RCA). Entretanto, mesmo o RCA deve ser acompanhado do Plano de Controle Ambiental (PCA), que prevê a recuperação da área degradada e contém o seu projeto executivo (CONAMA, 1990b);
- c) Resolução Conama nº 2/1996: dispõe sobre a compensação de danos ambientais causados por empreendimentos de relevante impacto ambiental. Destaca-se aqui, que as compensações, quando

“não cabíveis ou possíveis” no próprio local onde ocorre a degradação, sejam aplicadas em uma outra área, desde que sejam bem justificadas e que seus efeitos sejam aplicáveis e suficientes (CONAMA, 1996b);

- d) Resolução Conama nº 237/1997: dispõe sobre os procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental, de forma que efetivem a utilização do sistema de licenciamento como instrumento de gestão ambiental. Como a gestão ambiental é de abordagem ampla, inclui também a recuperação de áreas degradadas, quando necessárias (CONAMA, 1997).

Nesta revisão, por serem empreendimentos de grande ocorrência e onde normalmente surgem questões legais, além de se localizarem também no meio rural, bem

como envolverem conhecimentos aplicados às Ciências Agrárias, será dada ênfase ao estudo da legislação que regula a recuperação de áreas degradadas por: mineração, áreas de empréstimo, estradas de rodagem, loteamentos, extração de petróleo *onshore*, barragens.

Legislação aplicada a áreas degradadas pela mineração

Como não poderia deixar de ser, as atividades mineradoras estão incluídas nas normas ambientais gerais que regulam tanto a prevenção como a recuperação das áreas que sofrem intervenções humanas e, obviamente, a maior delas é a Constituição Federal de 1988. Além de seu posicionamento sobre meio ambiente sustentável, em seu art. 24, inciso VI, disciplina a concorrência de União, Estados e municípios no “[...] conservação da natureza, defesa do solo e dos recursos minerais [...]” (BRASIL, 1988).

No Decreto Federal nº 97.632/1989 que regulamentou o PRAD, logo em seu art. 1º já se revela a regulamentação da exploração de recursos minerais. Define o que entende por degradação e em seu art 3º:

A recuperação deverá ter por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano pré-estabelecido para o uso do solo, visando à obtenção de uma estabilidade do meio ambiente (BRASIL, 1989a).

Existem resoluções do Conama relacionadas com a mineração, que direta ou indiretamente dizem respeito à degradação da área e, com isso, sua posterior recuperação:

- a) Resolução Conama nº 9/1990: dispõe sobre normas específicas para a obtenção da Licença Ambiental para a extração de minerais, exceto as de emprego imediato na construção civil (CONAMA, 1990a);
- b) Resolução Conama nº 10/1990: dispõe sobre o estabelecimento de critérios específicos para a extração

de substâncias minerais *in natura*, de emprego imediato na construção civil (CONAMA, 1990b);

- c) Portaria DNPM nº 237/2001: autorizou as Normas Reguladoras de Mineração (NRM) onde são dadas diretrizes para a reabilitação de áreas impactadas. O item 21.5 do Anexo 1 (DNPM, 2001), diz:

No projeto de reabilitação de áreas pesquisadas, mineradas e impactadas deve constar no mínimo os seguintes itens:

- a) identificação e análise dos impactos ambientais diretos ou indiretos sobre os meios físico, biótico e antrópico;
- b) aspectos sobre as conformações paisagísticas e topográficas, observando-se:
 - I - estabilidade;
 - II - controle de erosão;
 - III - drenagem;
 - IV - adequação paisagística e topográfica e
 - V - revegetação.

Todos esses dados para a recuperação de área degradada envolvem diversos

agentes como o minerador, o poder público, a comunidade e o proprietário do terreno. Muitas vezes o impacto negativo é permanente, como por exemplo, na sua grande maioria, o relevo do terreno não retorna a configuração inicial sendo necessária a reabilitação da área para possibilitar novo uso. Um planejamento num programa de recuperação economiza tempo e dinheiro. Também é importante esclarecer que nos contratos de arrendamento de áreas para mineração, o proprietário deverá colocar uma cláusula atribuindo a responsabilidade de recuperação da área degradada ao empreendedor, para isentá-lo dessa atribuição que, posteriormente, poderá ser cobrada como ônus de natureza ambiental (Fig. 1).

Legislação aplicada à área de empréstimo

Área de empréstimo é um local de onde se pode extrair algum bem mineral de uso imediato, *in natura*, em obra civil: barragem, aterro, manutenção de leito de estrada vicinal, encontro de viaduto e pontes, etc. Dependendo de sua localização, pode ser classificada em subaérea e subaquática.



Figura 1 - Mineração em pedreira de granito desativada

NOTA: Mostra a área desmatada, com grande alteração da paisagem, sem medidas de recuperação.

Em ambos os casos, a produção desse material constitui agressão ao ambiente, fazendo-se necessário o planejamento no seu tratamento, pois é de difícil recuperação.

As áreas de empréstimo podem ser consideradas áreas degradadas, pois delas foram retirados os horizontes superficiais do solo e, assim, foi eliminado o banco de sementes. Ocorre que nessas áreas são também encontrados problemas de compactação do material exposto, baixas taxas de infiltração e armazenamento de água, deficiência de oxigênio, alta resistência à penetração de raízes, aumento da densidade do solo e falta de matéria orgânica. Dessa forma, apresentam insignificante potencial de regeneração natural, que ocorre com a reprodução de espécies, cujas sementes ali chegam, germinam e crescem (Fig. 2).

Tudo isso fez com que a Legislação Ambiental Brasileira exigisse Licença Prévia (LP) para o desenvolvimento dessa atividade e restringisse seu desenvolvimento em áreas protegidas por lei.

A LP é associada à fase de planejamento, análise de viabilidade e projeto básico do empreendimento e contém os requisitos básicos a serem atendidos nas fases de localização (como foi dito inviável em áreas protegidas por lei), instalação e operação, observados os planos municipais, estaduais ou federais de uso do solo. Também visam o plano de recuperação de áreas degradadas, durante o processo de licenciamento pelo órgão ambiental competente. Essas áreas deverão ser recuperadas de acordo com um plano preestabelecido, que visa à obtenção da estabilidade do meio ambiente, destinando a área para outras formas de uso futuro. Por isso, no licenciamento prévio, tanto de mineração quanto de áreas de empréstimo, prevê-se o “planejamento da degradação”, por meio do plano de lavra, de forma que facilite a recuperação das áreas degradadas.

Legislação aplicada a estradas de rodagem

Desde a implantação do LA, o tra-



Maria Inês Nogueira Alvarenga

Figura 2 - Área de empréstimo de areia para obras civis

tamento ambiental das rodovias tem evoluído muito. O órgão executor do Ministério dos Transportes, o então Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), atual Departamento Nacional de Infra-Estrutura dos Transportes (DNIT), liderou o processo de normalização da matéria e, em 1996, aprovou o Corpo Normativo Ambiental para Rodovias que abrangia planejamento, projeto, implantação, manutenção e conservação de rodovias. O aperfeiçoamento veio sendo exigido naturalmente com a aplicação dessas inovações.

Essas exigências advieram da Legislação Ambiental que classificou os empreendimentos de transporte como sendo potencialmente poluidores, especificamente a Resolução Conama nº 1/1986, que exige os estudos de impactos das relações entre o meio ambiente e a rodovia (BRASIL, 1986a).

Melhoras contínuas vêm sendo processadas dentro do Sistema de Gestão Ambiental (SGA) agora nas mãos do DNIT, que se orienta pela Política Ambiental do Ministério dos Transportes e pelo cumprimento da legislação em vigor.

A norma que norteou a conduta de obtenção das licenças ambientais, impondo medidas e ações que exigem não só custos como recursos humanos especializados em empreendimentos de transportes foi a Resolução Conama nº 237/1997 (BRASIL, 1997).

O DNIT obedece o estabelecido pelo SGA elaborado pelo Ministério dos Transportes, as metas mais imediatas previstas quais sejam o estabelecimento de novas rotinas de trabalho em função da reestruturação institucional, revisão do corpo normativo ambiental para rodovias e sua implementação; a definição de um Programa de Recuperação de Passivo Ambiental (DNIT..., 2006).

O Programa de Recuperação de Passivo Ambiental nas rodovias federais é feito seguindo etapas:

- a) conceituação de passivo ambiental;
- b) levantamento e caracterização de passivo ambiental;
- c) avaliação da quantidade e condições desse passivo;
- d) estimativa dos custos de sua recuperação;

- e) programação financeira para a recuperação;
- f) plano de execução da recuperação do passivo ambiental.

Observa-se que várias tecnologias são aplicadas com o objetivo de recuperação ambiental e paisagística das áreas degradadas, notadamente das áreas de empréstimo e de taludes de corte e aterro. Nesse contexto incluem-se tanto as técnicas de engenharia quanto as técnicas de bioengenharia.

Várias normas já foram publicadas nesse sentido, as mais atuais e importantes, mesmo assim no próprio prefácio, dizem sujeitas a alterações, são: Normas DNIT nº 001/2002 (DNIT, 2002), seguida por outras até as mais recentes, Norma DNIT nºs 072, 073 e 074/2006, ambas objetivadas ao tratamento ambiental de áreas afetadas pelo uso ou degradadas pela implantação de obras rodoviárias (DNIT, 2006abc).

Legislação aplicada a loteamentos

A implantação de loteamentos gera inúmeros impactos ao meio ambiente, podendo causar também impactos sociais. Os mais comuns são: desmatamento, movimentação de terra, erosão, geração de resíduos sólidos, contaminação de corpos d'água, geração de efluentes sanitários, aumento de escoamento superficial, enchentes, aumento de demanda de água tratada, poluição sonora e atmosférica (Fig. 3).

Na Resolução Conama nº 237/1997, foi declarado que todo parcelamento do solo é uma atividade poluidora/degradadora, por isso mesmo exige o licenciamento ambiental como condição de seu empreendimento (CONAMA, 1997).

Para cada porte, ou seja, tamanho de área, é exigido um tipo de licença: Licença Simplificada (LS), LP e/ou Licença de Implantação (LI) e documentos técnicos são expedidos nessas fases, para avaliação pelo órgão ambiental responsável sendo de relevância ressaltar o projeto de ter-
aplenagem com a localização da área de



Figura 3 - Área de loteamento para expansão urbana da cidade de Poço Fundo, no Sul de Minas Gerais

Marta Inês Nogueira Alvarenga

bota-fora e da área de empréstimo inclusive com recuperação ambiental, caso haja movimentação de terra.

A Legislação Ambiental aplicável ao parcelamento de solo ainda conta com leis federais, estaduais, municipais e outras Resoluções do Conama.

Uma questão polêmica, mas de importância relevante pelos impactos tanto negativos quanto positivos causados ao meio ambiente é a dos “assentamentos dos sem terra”. Apesar de bastante variável de acordo com a região em que ocorre, o impacto demográfico dos assentamentos não pode ser desprezado. Em muitas regiões ocorre a absorção da população urbana marginalizada e essas mudanças podem provocar inúmeros problemas.

Em muitos casos os assentamentos, a princípio tratados como invasores pela sociedade local, dão origem a aglomerados populacionais, chamando mesmo a atenção dos poderes públicos locais e gerando a redefinição do cenário social e demanda por políticas públicas: escolas, presença de profissional da área de saúde pelo menos uma vez por semana (quando não existe o posto de saúde), acesso a crédito bancário, transportes coletivos, etc.

Há a necessidade de redesenhar, muitas vezes, a ordem de prioridades já existentes

e estabelecidas pelos poderes locais, visando interesse social. Cabe ressaltar que tais requisitos referem-se à necessidade de apresentar plano de ocupação com base na legislação ambiental e, quando da ocupação de áreas de preservação, a apresentação de medidas de compensação.

O que há de se notar é que, mesmo onde não existe um planejamento para determinada área, os impactos causados pelos assentamentos com possíveis degradações são, muitas das vezes, absorvidos pelo poder público, não só recuperando a área em questão, como gerando uma possibilidade de atendimento social.

Legislação aplicada à extração de petróleo onshore

A prospecção e exploração de minérios e extração do petróleo, tanto em terra firme (chamada exploração *onshore*), como em alto mar (exploração *offshore*), não resta dúvida, gera internacionalmente uma grande preocupação com os danos que podem ser gerados no meio ambiente, devido a essas atividades.

A Legislação Brasileira aplicada à gestão tecnológica vem sendo permanentemente renovada tanto pela dinâmi-

ca das inovações como para melhor distribuição da produção do petróleo e também com a finalidade de pelo menos mitigar a degradação ambiental, quando não for possível evitá-la.

A Lei nº 6.938/1981 em seu art. 10, com redação dada pela Lei 7.804/1989 (BRASIL, 1981, 1989b) prevê para atividades poluidoras ou potencialmente poluidoras a necessidade do LA, sendo atribuído ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) competência para o licenciamento de atividades com impacto ambiental de caráter nacional e regional.

A Resolução Conama nº 1/1986 (CONAMA, 1986a) já relacionava as atividades que dependeriam de estudo prévio dentre elas extração de combustível fóssil (petróleo, xisto e carvão).

A Resolução Conama nº 237/1997 entre outras decisões estabelece competências para licenciamento de atividades desenvolvidas no mar territorial, na plataforma continental e na zona econômica exclusiva. Os Estados, por sua vez, são competentes para licenciar atividades *onshore* nos respectivos territórios (CONAMA, 1997).

Mas mesmo a alta do petróleo e a abertura do setor não conseguiram modificar até agora o ritmo da atividade de produção em terra. A produção *onshore* de petróleo nos últimos anos manteve-se estável, compensando apenas o declínio das bacias maduras brasileiras. Apesar da promessa de ingresso de novos produtores, muito pouco é produzido de petróleo por esta atividade. Entre as de maior renome está a Ral Oil & Gás que inicia operação no campo marginal de Foz do Vaza Barris (Sergipe). O Campo de Foz de Vaza Barris, em Sergipe, foi o primeiro campo marginal licitado pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). São antigas concessões da Petrobrás devolvidas a ANP, por terem sido consideradas antieconômicas - Lei nº 9.478/1997 (BRASIL, 1997). Dois poços já existentes foram reativados, possibilitando chances para empresas de peque-

no e médio portes por exigirem menor investimento. Entre os impactos desta atividade pode-se considerar a contaminação do solo e lençol freático pela deposição de borra oleosa, acumulação de resíduos oleosos, alteração da paisagem, etc. (Fig. 4).

Legislação aplicada a barragens

Uma barragem, açude ou represa é uma barreira artificial feita em cursos d'água para retenção de grandes quantidades de água. Sua utilização tem prioridade sobretudo para abastecer de água zonas residenciais, agrícolas e industriais, produção de energia elétrica (energia hidráulica) ou regularização de um caudal.

As áreas degradadas resultantes de barragens geralmente são de empréstimo, obras de apoio, áreas de tráfego pesado, estacionamento e britagem. A revegetação dessas áreas requer tratamento adequado já que nessas áreas toda a vegetação e camada fértil do solo são removidas (Fig. 5).

As normas são as mesmas dos licenciamentos ambientais (EIA/Rima) determinadas pelas Resoluções do Conama, associadas às legislações estaduais e municipais, mas tendo sempre em comum

os objetivos da recuperação de áreas atingidas por barragens, como: evitar o carregamento do solo para o reservatório, aumentar a resistência das margens à erosão pelo embate, conservar a genética das espécies nativas, dar sustentáculo à fauna terrestre e aquática, formar paisagem, controlar e erradicar endemias, etc.

Esses objetivos são divididos em etapas de recuperação: reafeição do terreno, proteção dos taludes, terraceamento, circulação interna, recomposição de solo por cobertura. Em todas essas etapas podem ser aplicadas diferentes técnicas de recuperação, devendo-se considerar aspectos como: eficiência, custo, facilidade de aplicação, efeito paisagístico e/ou ambiental, etc. Ao mesmo tempo são feitos estudos para a revitalização dos solos, escolhas das espécies e plantio e condução das mudas.

Legislação aplicada às matas ciliares e nascentes

Além dos empreendimentos selecionados, existem áreas que são preocupação constante para os zeladores e defensores do meio ambiente, entre elas estão as Matas Ciliares e nascentes.



Figura 4 - Degradação ambiental proporcionada pela extração de petróleo *onshore* no município de Carmópolis, Sergipe



Maria Inês Nogueira Alvarenga

Figura 5 - Atividades que contribuem para a degradação ambiental quando da construção de barragem

A Mata Ciliar também conhecida como Mata de Galeria ou Floresta Ripária é um tipo de vegetação que se forma às margens de cursos d'água. Essa vegetação funciona como um filtro, retendo poluentes que chegariam aos recursos hídricos. A Mata Ciliar também protege contra a erosão das ribanceiras, evitando o assoreamento dos rios, além de servir de refúgio à fauna silvestre.

A Lei nº 7.803 de julho de 1989 (BRASIL, 1989) que alterou a redação da Lei nº 4.771/1965 – Código Florestal (BRASIL, 1965) - estabelece em seu art. 2º que:

são áreas de preservação permanente (APPs) pelo só efeito dessa Lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas: (c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados “olhos d'água”, qualquer que seja a sua situação topográfica num raio de 50 (cinquenta) metros de largura.

No Código Florestal - Lei nº 4.771/1965 (BRASIL, 1965) - o art. 3º diz que também se consideram preservação permanente: “[...] as florestas e demais formas de vegetação natural destinadas a atenuar a erosão das terras”. Inclui-se aqui, pela definição citada, a Mata Ciliar.

A Resolução Conama nº 302/2002 estabelece diretrizes e normas para a conservação das APPs, dispostas ao entorno de reservatórios artificiais (CONAMA, 2002a).

A Resolução Conama nº 308/2002 trata do licenciamento ambiental de sistemas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em municípios de pequeno porte. Anexados à lei, estão os elementos norteadores para a implantação do sistema constando no item VIII:

respeitar as distâncias mínimas estabelecidas em normas técnicas ou em legislação ambiental específica, de ecossistemas frágeis e recursos hídricos superficiais, como áreas de nascentes, e outros corpos d'água (CONAMA, 2002b).

A Resolução Conama nº 369/2006 dispõe sobre casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental que possibilitam intervenção ou supressão de vegetação em APP, principalmente o art. 5º, parágrafo 2º: “As medidas de caráter compensatório de que trata esse artigo consistem na efetiva recuperação ou recomposição de APP [...]” e art. 8º, inciso II:

a) recuperação das áreas degradadas da APP inseridas na área verde de domínio público; b) recomposição da vegetação com espécies nativas” (CONAMA, 2006).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A superfície da Terra está em constante processo de transformação e, ao longo de seus bilhões de anos, o planeta vem registrando drásticas alterações. As quatro glaciações já registradas fizeram a temperatura média do planeta cair vários graus. Mudanças essas, no entanto, provocadas por fenômenos geológicos e climáticos, medidas em milhões até centenas de milhões de anos. Porém, com o aparecimento do homem na face da terra, o ritmo dessas mudanças acelera-se.

Vários são os agentes de desequilíbrio que, com o desenvolvimento tecnológico, aumentam o ritmo das alterações no meio ambiente: novas fontes de energia, destilação de petróleo multiplicando emissão de gás carbônico e outros gases, surgimento de novas matérias-primas e substâncias não-biodegradáveis; florestas cedem lugar à lavoura e criações para suprir a carência de alimentos, devido ao aumento populacional; produtos químicos usados para aumentar a produtividade; a urbanização quebra as cadeias naturais e reduz a capacidade de a natureza recompor-se. Assim, o apelo ao consumo multiplica a extração de recursos naturais, cresce o desmatamento e a superexploração. Os lixos urbano e industrial são lançados sem tratamento na atmosfera, nas águas, no solo, bem como os resíduos radioativos, entre as formas de lixo. Tambores, recipientes de concreto, que nem sempre seguem as precauções exigidas para serem eliminados, provocam vazamentos e, com isso, substâncias radioativas interferem diretamente nos átomos e células.

Por tudo isso, o tema meio ambiente entrou definitivamente na pauta de discussão de nossa sociedade. É fato que pesquisas comprovam a relevante preocupação com o meio ambiente. É fato também que muito se fala em pensar glo-

balmente e agir localmente, e o que se vê é a gestão ambiental centrada em aquisição de equipamentos para controle ambiental e dando menor importância a aspectos cruciais relacionados com a cultura da população. Esta cultura precisa ser estimulada para uma nova concepção na relação do homem com o meio ambiente.

Por outro lado, aparecem também os conceitos de conservação que se impuseram na atuação dos governos, quer por meio de ações de regulamentação do uso do ambiente natural e das suas espécies, quer por várias organizações ambientalistas que promovem a disseminação do conhecimento sobre essas interações entre o homem e a biosfera.

No Brasil, a Agenda 21 (CONFRENCIA..., 1997) mostra-se como uma implementação básica para a construção da ecocidadania. É um documento resultante de vasta consulta à população brasileira, que se baseia na Agenda 21 Global. Sua fase de construção foi de 1996 a 2002, coordenada pela Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável (CPDS) e da Agenda 21 Nacional. Assistida por essa comissão, iniciou a fase de implementação – 2003 - levado a Programação do Plano Plurianual (PPA) 2004-2007, no nosso atual governo. Na qualidade de Programa adquiriu mais força política e institucional ligada a diretrizes da política ambiental, fortalecimento do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama) e participação social.

Dentro deste contexto está a Legislação Brasileira num esforço a cada dia de maior atuação e atualização para acompanhar essa onda ambiental. Mesmo tendo como pano de fundo a Constituição, norteando e direcionando as ações para um ambiente ecologicamente equilibrado e sustentável, a fragmentação das competências dos órgãos ambientais federais, estaduais ou municipais, de certa forma, gera entraves e implementações de empreendimentos, que contribuem, na prática, para a não aplicação da lei.

Mas a tentativa é sempre de conseguir

um entrelaçamento dessas normas para alcançar o objetivo de manter um monitoramento ambiental, visando um acompanhamento sistemático da política florestal, da conservação do solo e controle da degradação/desertificação.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Constituição Federal (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado, 1988.

_____. Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre a regulamentação do artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 12 abr. 1989a.

_____. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 16 set. 1965. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4771.htm>. Acesso em: fev. 2008.

_____. Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 20 dez. 1979.

_____. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 2 set. 1981.

_____. Lei nº 7.804, de 18 de julho de 1989. Altera a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, a Lei nº 7.735, de 22 de fevereiro de 1989, a Lei nº 6.803, de 2 de julho de 1980, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 20 jul. 1989b.

_____. Lei nº 8.171, de 17 de janeiro de 1991. Dispõe sobre a política agrícola. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 jan. 1991.

_____. Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política

Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 7 ago. 1997.

_____. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, §1º, incisos I, II, III e IV da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 19 jul. 2000.

_____. Lei nº 11.284, de 2 de março de 2006. Dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável, institui, na estrutura do Ministério do Meio Ambiente, o Serviço Florestal Brasileiro – SFB; cria o Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal – PNDF; altera as Leis nº 10.683, de 28 de maio de 2003, 5.868, de 12 de dezembro de 1972, 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, 4.771, de 15 de setembro de 1965, 6.938, de 31 de agosto de 1981, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 3 mar. 2006.

_____. Projeto de Lei nº 2.123, de 1 de outubro de 2003. Acrescenta expressão ao parágrafo único do art. 2º da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Brasília: Câmara dos Deputados, 2003. Disponível em: <<http://www2.camara.gov.br/proposicoes>>. Acesso em: fev. 2008.

_____. Projeto de Lei nº 6.424, de 14 de dezembro de 2005. Altera a Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, que institui o novo Código Florestal, para permitir a reposição florestal e a recomposição da reserva legal mediante o plantio de palmáceas em áreas alteradas. Brasília: CMADS, 2005. Disponível em: <<http://www2.camara.gov.br/comissoes/cmads/projetos.html>>. Acesso em: fev. 2008.

CONAMA. Resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 17 fev. 1986a. Seção 1, p.2548-2549.

_____. Resolução nº 2, de 18 de abril de 1996. [Determina a implantação de unidade de conservação de domínio público e uso indireto, preferencialmente Estação Ecológica, a ser exigida em licenciamento de empreendimentos de relevante impacto ambiental, como reparação

dos danos ambientais causados pela destruição de florestas e outros ecossistemas, em montante de recursos não inferior a 0,5% (meio por cento) dos custos totais do empreendimento. Revoga a Resolução CONAMA no 10/97, que exigia como medida compensatória a implantação de estação ecológica]. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 25 abr. 1996b. p.7048.

CONAMA. Resolução nº 9, de 6 de dezembro de 1990. Dispõe sobre normas específicas para o licenciamento ambiental de extração mineral, classes I, III a IX. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 28 dez. 1990a. Seção 1, p.25539-25540.

_____. Resolução nº 10, de 6 de dezembro de 1990. Dispõe sobre normas específicas para o licenciamento ambiental de extração mineral, classe II. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 28 dez. 1990b. Seção 1, p.25540-25541.

_____. Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 22 dez. 1997. Seção 1, p.30841-30843.

_____. Resolução nº 302, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 13 maio 2002a. Seção 1, p.67-68.

_____. Resolução nº 308, de 21 de março de 2002. Licenciamento Ambiental de sistemas

de disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em municípios de pequeno porte. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 29 jul. 2002b. Seção 1, p.77-78.

_____. Resolução nº 369, de 28 de março de 2006. Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente – APP. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 29 mar. 2006. Seção 1, p.150-151.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1992, Rio de Janeiro. **Agenda 21**. 2.ed. Brasília: Senado, 1997. 598p.

DNIT. Norma nº 001, de 21 de agosto de 2002. Elaboração e apresentação de normas do DNIT: procedimento. Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/normas/DNIT001_2002_PRO.pdf>. Acesso em: fev. 2008.

_____. Norma nº 072, de 11 de julho de 2006. Tratamento ambiental de áreas de uso de obras e do passivo ambiental de áreas íngremes ou de difícil acesso pelo processo de revegetação herbácea – especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006a. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/normas/DNIT072_2006_ES.pdf>. Acesso em: fev. 2008.

_____. Norma nº 073, de 11 de julho de 2006. Tratamento ambiental de áreas de uso de obras e do passivo ambiental de áreas consideradas

planas ou de pouca declividade por revegetação arbórea e arbustiva – especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006b. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/normas/DNIT073_2006_ES.pdf>. Acesso em: fev. 2008.

_____. Norma nº 074, de 11 de julho de 2006. Tratamento ambiental de taludes e encostas por intermédio de dispositivos de controle de processos erosivos – especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006c. 24p. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/normas/DNIT074_2006_ES.pdf>. Acesso em: fev. 2008.

DNIT desenvolve modelos de gestão ambiental. **Elo**, Rio de Janeiro, ano 7, n.34, 2006. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/noticias/revista>>. Acesso em: fev. 2008.

DNPM. Portaria nº 237, de 18 de outubro de 2001. Aprova as Normas Reguladoras de Mineração – NRM, de que trata o art. 97, do Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 19 out. 2001.

_____. Portaria nº 12, de 22 de janeiro de 2002. Altera dispositivos do Anexo 1 da Portaria nº 237, de 18 de outubro de 2001. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 29 jan. 2002. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/assets/legislação/p00310102.rtf>>. Acesso em: fev. 2008.

MACHADO, P.A.L. **Direito ambiental brasileiro**. 7.ed. rev., atual. e ampl. São Paulo: Malheiros, 1996. 894p.

Mudas de frutíferas

● morango ● laranja ● limão ● manga



Informações e aquisição:
CENTRO TECNOLÓGICO DO NORTE DE MINAS
Rodovia MGT 122, Km 155 - Caixa Postal 12 - CEP 39525-000 - Nova Porteirinha - MG
Telefax: (38) 3834-1760 - ctnm@nortecnet.com.br - ctnm@epamig.br




Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento

GOVERNO DE MINAS
Construindo um novo tempo

Indicadores da qualidade do solo

Rogério Melloni¹

Eliane Guimarães Pereira Melloni²

Maria Inês Nogueira Alvarenga³

Resumo - Atualmente, estudos relacionados com o solo, como componente importante do funcionamento e qualidade dos diversos ecossistemas, estão sendo desenvolvidos. Para isso, a utilização de indicadores físicos, químicos, microbiológicos e visuais tem papel primordial, visto que todo manejo do solo causa intrinsecamente alterações em seus atributos com conseqüências nas suas funções. O uso adequado de indicadores tem possibilitado o monitoramento e a avaliação de diferentes ecossistemas, facilitando a seleção de sistemas de uso e manejo do solo que mantenham sua qualidade ambiental e sustentabilidade. No entanto, diferentemente do que ocorre com a água ou o ar, com padrões de qualidade já estabelecidos, não há indicação exata e segura de quais indicadores possam ser utilizados e nem as faixas definidas para o solo. São abordados a qualidade do solo e os principais indicadores que apresentam potencial de utilização no monitoramento das variações nos seus diversos compartimentos em função do manejo.

Palavras-chave: Área degradada. Atributos do solo. Indicador físico. Indicador químico. Indicador microbiológico. Indicador visual.

INTRODUÇÃO

A utilização do solo é bastante diversificada, incluindo desde base para sustentação de diferentes atividades (estradas, edificações, etc.), até substrato para produção de alimentos, hábitat de organismos, recarga de aquíferos, entre outros. No entanto, os solos originam-se de diferentes materiais e ocorrem em diferentes condições, o que lhes imprime características peculiares e, conseqüentemente, qualidades diferentes. Dessa forma, alguns usos exigem determinadas condições de qualidade, para que a sustentabilidade seja mantida. Nesse contexto, as áreas degradadas podem ser consideradas aquelas que perderam a qualidade intrínseca e/ou atribuída (no caso de solos manejados por atividades produtivas),

sendo indicadas por determinadas condições em várias situações.

Dessa forma, a degradação da qualidade do solo pelo cultivo é manifestada por processos erosivos, redução de matéria orgânica (MO), perda de nutrientes, compactação do solo, redução de populações microbianas, de atividades enzimáticas e pH. Em outras áreas não agrícolas, como as de extração de minério, o ambiente solo é alterado, em conseqüência do desmatamento, da remoção de sua camada superficial e intenso revolvimento, com impacto negativo imediato na sua microbiota e nos seus processos. Ainda, solos que recebem resíduos industriais são normalmente contaminados por metais pesados, comprometendo sua qualidade (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). A

conservação da qualidade do solo é particularmente importante nesses ecossistemas marginais, frágeis e ecologicamente sensíveis, pois a degradação pode ser irreversível, principalmente quando a pressão humana for excessiva.

Sendo o solo um recurso natural, o uso de indicadores de sua qualidade para avaliação da sustentabilidade ambiental é de grande importância. A qualidade do solo pode ser definida como sua capacidade de funcionar dentro dos limites do ecossistema, para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde vegetal e animal (DORAN et al., 1996). A avaliação dessa qualidade por meio de atributos do solo é bastante complexa, por causa da grande quantidade de definições de um solo

¹Eng^a Agr^a, D.Sc., Prof. Adj. UNIFEI, Caixa Postal 50, CEP 37500-903 Itajubá-MG. Correio eletrônico: rmelloni@unifei.edu.br

²Eng^a Agr^a, D.Sc., Prof^a Adj. UNIFEI, Caixa Postal 50, CEP 37500-903 Itajubá-MG. Correio eletrônico: elianegp@unifei.edu.br

³Eng^a Agr^a, D.Sc., Prof^a Adj. UNIFEI, Caixa Postal 50, CEP 37500-903 Itajubá-MG. Correio eletrônico: mariaines@unifei.edu.br

com qualidade para determinado uso, da multiplicidade de interrelações entre fatores físicos, químicos e biológicos, que controlam os processos, e dos aspectos relacionados com a sua variação no tempo e no espaço.

O conceito de qualidade do solo data de civilizações muito antigas e compreende um subconjunto fundamental da qualidade ambiental. No final da década de 70 e durante os dez anos seguintes, esteve muito associado ao conceito de fertilidade, sendo um solo considerado de alta qualidade quando se apresentava quimicamente rico. No entanto, os conceitos foram renovados e o solo de alta qualidade passou a ser visto de outra forma. O solo pode afetar a saúde do homem de três modos: diretamente, pelo contato com o solo contaminado por produtos tóxicos ou radioativos; indiretamente, pela contaminação do ar e água, e pela ingestão de alimentos contaminados por metais pesados, agrotóxicos, etc.

Muito mais que o ar ou água, a qualidade do solo tem uma profunda influência na saúde e na produtividade de um ecossistema. No entanto, diferentemente do ar ou água para os quais já existem padrões de qualidade, a definição e a quantificação da qualidade do solo são de difícil acesso, principalmente pela forte dependência de fatores externos como manejo, interações com o ecossistema e ambiente, prioridades socioeconômicas e políticas, etc. No entanto, para manejar e manter o solo num estado aceitável para gerações futuras, devem-se priorizar os estudos da qualidade, os quais envolvam o solo. Um ecossistema saudável é caracterizado pela integridade dos ciclos de energia e nutrientes, estabilidade e resiliência a perturbações ou estresses. Tanto a qualidade do solo, quanto sua biodiversidade e resiliência são severamente limitadas em ambientes degradados e são muito sensíveis a perturbações antropogênicas. A resiliência do solo pode ser definida como a tolerância, capacidade de tamponamento ou a habilidade de regenerar-se diante de estresses diversos.

Três tipos de fatores de estresse podem ser distinguidos: físicos, químicos e biológicos. Os fatores físicos mais importantes são temperaturas extremas, potenciais mátricos extremos (umedecimento e secagem), potenciais osmóticos, compactação e destruição da estrutura. Fatores químicos incluem extremos de índices de pH, excesso ou limitação de nutrientes orgânicos e inorgânicos, anaerobiose, salinidade e biocidas como metais pesados, poluentes radioativos, agrotóxicos e hidrocarbonetos. Fatores de estresse biológico incluem, entre outros, introdução de organismos exógenos com alta competitividade e crescimento descontrolado de organismos específicos como patógenos ou predadores. Raramente, um fator opera de modo isolado, ou seja, um estresse físico, por exemplo, pode alterar condições químicas e biológicas, e estas afetarem direta ou indiretamente a microbiota e a qualidade do solo.

O grande desafio dos estudos sobre sustentabilidade está associado ao desenvolvimento de metodologias para avaliação da qualidade do solo e do ambiente sob a interferência do homem. Existe, atualmente, um esforço multidisciplinar, que tenta quantificar diferentes atributos que estão relacionados com a sustentabilidade, traduzindo-os na forma de índices de qualidade do solo. Permite-se, com isso, o monitoramento e avaliação de diferentes ecossistemas, facilitando a seleção de sistemas de uso e manejo do solo que mantenham a sua sustentabilidade e qualidade ambiental.

INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO

Um indicador é algo que aponta, indica. Pode ser uma propriedade, processo ou característica física, química ou biológica, utilizado para monitorar mudanças no solo. Um indicador do tipo ecológico pode ser uma espécie vegetal ou animal que indica, pela sua presença em determinada área, a existência de uma condição ambiental. Na maioria dos casos, uma espécie

representativa é selecionada e mudanças nesta espécie são utilizadas para substituir a avaliação de outros componentes biológicos do sistema. Muitos organismos ou grupos de organismos têm sido utilizados como indicadores ecológicos, incluindo nematóides, traças, pássaros, protozoários, cupins e minhocas.

Segundo Visser e Parkinson (1992), um bom indicador ecológico deve preencher os seguintes requisitos:

- a) apresentar resposta rápida à perturbação;
- b) refletir sobre alguns aspectos de funcionamento do ecossistema;
- c) ser economicamente viável;
- d) ser universal na distribuição, apesar de mostrar especificidade individual a padrões temporais ou espaciais no ambiente;
- e) ser independente das estações do ano.

Estes critérios, além de auxiliar na escolha dos indicadores, podem ser utilizados no desenvolvimento ou seleção de métodos mais adequados para estudo da comunidade microbiana do solo.

Considerando que um único indicador não pode ser utilizado nos estudos da qualidade ambiental do solo, deve-se utilizar um conjunto mínimo de atributos físicos, químicos e biológicos, precedidos da definição de procedimentos para identificar alterações nesses atributos. Além disso, a definição prévia de indicadores básicos da qualidade de solos degradados fica limitada pela variação de magnitude e importância entre os indicadores, além da discordância entre pesquisadores na escolha desses indicadores.

Doran et al. (1996) elaboraram uma lista de atributos que afetam as funções ecológicas e a qualidade do solo, a qual inclui densidade, infiltração e capacidade de retenção de água, C e N orgânico total, condutividade elétrica, pH, nutrientes disponíveis, biomassa e atividade microbianas. Embora estes atributos possam ser úteis como indicadores da qualidade do

solo, não estão necessariamente associados com a saúde do solo e a manutenção das suas funções ecológicas essenciais. Uma das razões para essa inconsistência pode ser a falta de sensibilidade de muitas dessas avaliações ao tempo de amostragem, ao manejo (cultivo, irrigação, incorporação de resíduos, fertilização, etc.) ou a eventos ambientais (chuva, etc.). Portanto, a escolha de indicadores para ser utilizados em áreas degradadas não é tarefa fácil e exige do pesquisador muito estudo, dedicação e paciência. No entanto, a avaliação e a atribuição de valores à qualidade do solo permitem:

- avaliação da política de uso da terra;
- identificação de áreas ou sistemas de manejo críticos;
- avaliação de práticas que degradam ou melhoram o solo;
- ampliação do conhecimento e compreensão sobre manejo sustentável do solo.

Com os valores médios obtidos por meio de vários indicadores, podem ser estabelecidos limites inferiores e superiores da qualidade do solo ou das condições físicas, químicas e biológicas adequadas (Gráfico 1).

Ao longo do tempo, se o valor obtido de um conjunto de indicadores ultrapassar o limite inferior preestabelecido, pode-se dizer que a qualidade do solo ou do sistema foi afetada e medidas devem ser tomadas para mitigar ou corrigir o problema.

INDICADORES FÍSICOS

O solo, por ser um meio extremamente heterogêneo, apresenta características e comportamento diversos, podendo manifestar interações complexas entre seus constituintes como resposta a diferentes técnicas de manejo e/ou variações ambientais.

Os atributos físicos do solo são de extrema importância para o desenvolvimento das plantas, devido ao fato de seus constituintes sólidos do solo interagirem com os fluidos água e ar, essenciais às plantas.

Um dos atributos mais importantes para se avaliar a qualidade do solo é a estrutura, porque complementa o estudo de avaliação do arranjo entre sólidos e vazios. Reflete a natureza de seus componentes primários e a extensão com que estes se agregam; determina a distribuição do tamanho de poros; a estabilidade de agregados; e, como o uso afeta o fluxo de água e o potencial de erosão, o comportamento da fauna e mi-

crobiano, e a dinâmica de matéria orgânica. A capacidade de retenção de água, propriedade do solo de atrair e reter água no estado líquido ou gasoso, é resultado da ação conjunta dos fatores apresentados anteriormente, entre outros, e caracteriza o solo como reservatório de água para as plantas e microrganismos. Basicamente, a estrutura é avaliada de forma qualitativa e quantitativa. Do ponto de vista qualitativo, três aspectos são considerados:

- tipo: granular, blocos, prismático e colunar;
- classe: pequena, média e grande;
- grau: fraca, moderada e forte.

Estas avaliações podem ser feitas diretamente no campo ou sob observações microscópicas. Avaliações quantitativas podem ser feitas por determinações indiretas que avaliam a quantidade de agregados estáveis em água ou a seco, obtidos por meio de peneiramento - índices como diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) - ou resistência dos agregados ao impacto de gotas de chuva simulada.

Mendes et al. (2006), ao avaliarem solos em diferentes graus de degradação, mostraram que os indicadores físicos mais sensíveis foram o DMG e o DMP, com efeitos associados aos teores de matéria orgânica. Em contrapartida, densidade de partículas, densidade do solo, volume total de poros e classe textural não foram considerados bons indicadores físicos.

A estrutura do solo pode ser também avaliada por meio de atributos correlatos como densidade, porosidade, índices de floculação e infiltração de água no solo. Uma boa estrutura para o crescimento vegetal depende da presença de agregados com diâmetro entre 1 e 10 mm estáveis que contenham grande quantidade de poros com mais de 75 µm de diâmetro, para que apresentem condições normais de aeração e de poros com diâmetro entre 0,2 e 30 µm em número suficiente para reter água para o crescimento de microrganismos e raízes (SIQUEIRA et al., 1994). A melhoria da estrutura é acompanhada pelo aumento da

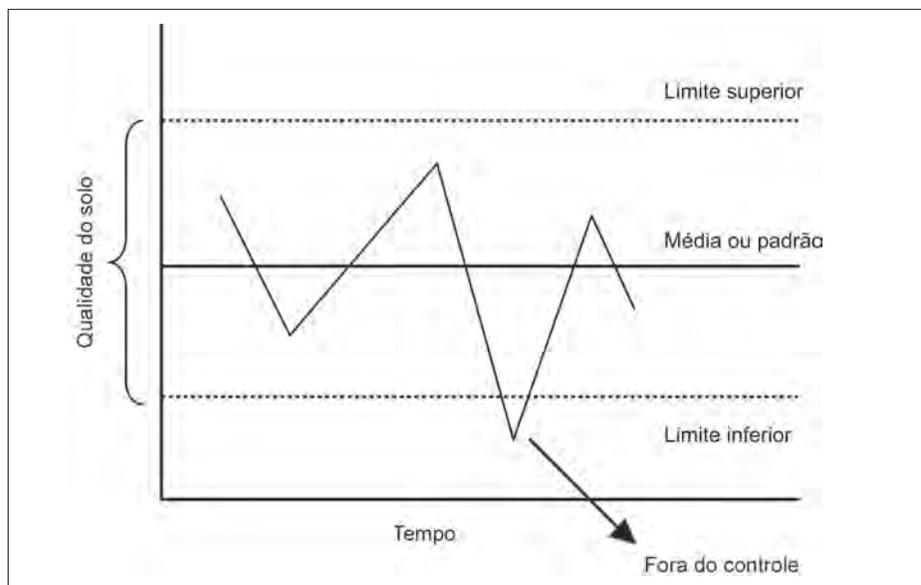


Gráfico 1 - Representação da qualidade do solo, determinada por indicadores, em função do tempo

FONTE: Larson e Pierce (1994).

permeabilidade, pelo decréscimo na erodibilidade e pela redução no escoamento superficial de água e, conseqüentemente, pela redução da erosão hídrica. A importância da estrutura do solo é considerável, uma vez que influencia diretamente vários atributos do solo. A formação e a destruição da estrutura são um processo dinâmico e sua manutenção é, sem dúvida, um dos maiores objetivos, quando se pensa em qualidade do solo e sustentabilidade de ecossistemas.

A densidade é uma propriedade física que reflete o arranjo das partículas do solo, que por sua vez definem as características do sistema poroso, sendo um importante indicativo das condições de manejo e, conseqüentemente, da porosidade, permeabilidade e capacidade de armazenamento de água pelo solo. Além de ser um indicador da qualidade, a densidade é utilizada para determinar a quantidade de água e de nutrientes que existam no perfil do solo com base no volume, além de apresentar estreita correlação com a umidade do solo. A densidade pode ser obtida por meio de métodos não destrutivos como sonda de nêutrons ou por métodos destrutivos como o anel volumétrico (cilindro de Uhland) e torrão parafinado (HILLEL, 1982). Padrões críticos de densidade do solo são difíceis de ser definidos. Valores em torno de $1,0 \text{ Mg/m}^3$ podem ser encontrados em solo no estado nativo, enquanto valores de $1,1$ a $1,3 \text{ Mg/m}^3$, respectivamente, em solos cultivados e sob intenso tráfego.

A porosidade representa a porção do solo, em volume, não ocupada por sólidos e varia em função da estrutura deste solo. É fundamental no estudo que envolve armazenamento e movimento de água e gases no solo, fluxo e retenção de calor, resistência mecânica e desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

A textura do solo constitui um dos atributos físicos mais estáveis e representa a distribuição quantitativa das partículas quanto ao tamanho. A grande estabilidade faz com que a textura seja considerada

elemento de grande importância na descrição, identificação e classificação do solo, refletindo em suas propriedades.

O tipo de cobertura vegetal implica em distintos comportamentos no que diz respeito às propriedades físicas do solo. A vegetação influi ativamente nos processos de formação dos solos, propiciando condições favoráveis às atividades biológicas e, conseqüentemente, dá origem a diferentes ecossistemas. Ressalta-se o fato de a cobertura do solo ser um importante agente no controle da erosão, tendo em vista que o efeito do impacto da gota de chuva é bem menor (se não inexistente) em solos constantemente cobertos, do que em solos expostos.

Avaliando propriedades físico-hídricas do solo e a ocorrência de vegetação de Mata e Campo Adjacentes, Spera (1995) verificou que os solos sob Mata apresentaram maiores porcentagens de terra fina, argila, argila dispersa em água; maior volume total dos poros, macroporosidade, microporosidade; maiores teores de matéria orgânica e maior diâmetro médio de agregados na camada superficial; sendo também mais profundos que os solos sob campo, com maior capacidade de armazenamento de água no perfil. Os solos sob campo apresentaram maiores porcentagens de frações grosseiras (maiores que $2,00 \text{ mm}$), maiores teores de areia total, maior densidade do solo e, conseqüentemente, menores teores de água disponível e menor capacidade de armazenamento de água. Infere-se daí que a vegetação expressa diferentes ecossistemas e que o ecossistema de campo é mais restritivo que o de floresta.

O conhecimento qualitativo e/ou quantitativo da alteração dos atributos físicos do solo evidenciará seus melhores indicadores de impacto, quando forem comparados diferentes ecossistemas em relação a um ecossistema natural. Partindo desse pressuposto, infere-se então que, quanto mais intensivo for o uso, maiores serão as diferenças nos atributos do solo em relação às condições naturais.

INDICADORES QUÍMICOS

O uso do solo, de modo geral, vem sendo feito de forma descontrolada, destacando-se o uso abusivo de fertilizantes e agrotóxicos, irrigação e drenagem não planejadas e preparo excessivo, os quais têm causado degradação química e perda de sua sustentabilidade. O monitoramento da qualidade do solo por meio de indicadores químicos tem sido frequentemente utilizado, principalmente relacionando os atributos descritos numa análise convencional de fertilidade do solo.

Entre os atributos químicos, a matéria orgânica do solo (MOS) tem sido considerada um fator-chave de qualidade do solo (SIKORA; STOTT, 1996). A MOS atua como:

- a) um reservatório de nutrientes para as plantas, de lenta liberação, especialmente N;
- b) solubilização de nutrientes de minerais insolúveis presentes no solo;
- c) alta capacidade sortiva de cátions e elementos-traço;
- d) contribui para o aumento da densidade de organismos do solo e, com isso, aumento do controle biológico de doenças e pragas;
- e) atenua o efeito das chuvas, reduzindo processos erosivos;
- f) aumenta a capacidade de retenção de água;
- g) está associada ao aumento da estabilidade de agregados e do diâmetro médio geométrico;
- h) alto poder de adsorção de substâncias naturais ou antropogênicas, reduzindo o impacto de substâncias tóxicas ao desenvolvimento de plantas e organismos do solo.

Segundo Sikora e Stott (1996), se não for possível analisar grande número de indicadores ligados à qualidade do solo, deve-se optar pela determinação do C ou N orgânico do solo. No entanto, deve-se considerar a MOS dentro do contexto dos atributos físicos, químicos e biológicos, relacionando-os sempre que possível.



BioSon Organics

**Alta produtividade
com respeito às
futuras gerações**

www.ismaelnovais.com



Principais vantagens:

- *Produção do seu próprio fertilizante no local da aplicação.*
- *Reutilização dos resíduos orgânicos.*
- *Menor custo com frete e produção.*
- *Instalação da unidade industrial em planta pequena, com equipamentos simples e de fácil operação.*
- *Menores danos à terra e ao lençol freático.*
- *Possibilidade de substituição completa da adubação sólida.*
- *Alta produtividade e geração de alimentos saudáveis.*

AGRICULTURA SUSTENTÁVEL

A Bioson Organics, referência em tecnologia para agricultura sustentável, apresenta o seu novo projeto: TPD - Tecnologia Porteira a Dentro, que visa disponibilizar ao produtor rural a possibilidade de desenvolver o seu próprio fertilizante, específico às suas culturas, dentro da própria fazenda.

Um modelo sustentável que oferece menores danos ao meio ambiente, maior autonomia ao produtor e conseqüentemente maior produtividade ao seu negócio.

Solicite a visita dos nossos consultores técnicos e encontre a melhor forma de implementar esta tecnologia sustentável em sua propriedade.

Para mais informações: (34) 3311-1811 / 9136-8248

Consultor Técnico: César Roberto ou acesse: www.bioson.com.br

R. Comendador Gomes, 740 / Vila São Cristovão / Uberaba-MG

Cep 38040-040 / Telefax (34) 3311-1811 / cesarroberto@bioson.com.br



**BioSon
Organics**

É difícil recomendar uma dose ideal de material orgânico para aumentar significativamente o teor de MOS. Geralmente, considera-se que resíduos orgânicos aplicados na superfície do solo terão uma decomposição mais lenta do que aqueles incorporados. Isso ocorre em função, normalmente, das variações de temperatura e umidade e do menor contato com os organismos decompositores do solo. A qualidade do resíduo afeta a decomposição e a disponibilização de nutrientes, sendo aqueles com alta relação C/N de mais lenta decomposição (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Para estudos mais conclusivos, com relação à qualidade do solo imposta pela MOS nas diferentes formas de manejo, sugere-se trabalhar sempre com amostras de solo coletadas ao longo das diferentes estações do ano, mantendo-se os mesmos procedimentos de amostragem de solo, em mesma profundidade de amostragem e peneiração, antes da análise propriamente dita.

O pH do solo é um parâmetro de grande importância, notadamente, para os solos das regiões tropicais. Grande parte dos solos brasileiros apresenta problemas de acidez e, como principal consequência, pode ocorrer a presença de alumínio e manganês em quantidades tóxicas para as culturas. Aliada à elevada saturação de alumínio, ocorre deficiência de cálcio e magnésio, entre outros. Diante desses problemas, o sistema radicular das plantas desenvolve pouco, limitando a absorção de água e de nutrientes. A acidez do solo também apresenta uma grande limitação para a atividade biológica de microrganismos livres ou que vivem em simbiose com as plantas, como também na decomposição de materiais orgânicos por microrganismos heterotróficos. Esses aspectos fazem do pH um dos mais importantes indicadores da qualidade do solo, por influenciar diretamente o crescimento vegetal, além do fato de ser um parâmetro de fácil determinação e apresentar seus níveis relacionados com a espécie vegetal e o tipo de solo (KIEHL, 1979).

Em estado natural, a atividade de H^+ no solo está em função do material de origem, tempo de intemperismo, vegetação, clima e topografia. Em adição aos processos de formação do solo, o pH é influenciado pela estação do ano, cultura e práticas do manejo, uso de fertilizantes específicos, chuva ácida, aplicação de resíduos orgânicos, MOS e atividade biológica. Entre esses, o manejo e a atividade biológica são os mais importantes e podem ser alterados a curto prazo em programas de manejo, visando aumento da qualidade do solo.

Em geral, dentro da escala de 5 a 6, o pH por si tem pouco efeito nas raízes das plantas e microrganismos. Uma vez que pH é uma função logarítmica, um pH 6 é dez vezes mais ácido que um pH 7. O principal efeito do pH, num solo normal, de 4 a 8, está relacionado com a disponibilidade e a toxicidade de elementos como Fe, Al, Mn, B, Cu, Cd, entre outros, com as plantas e os microrganismos do solo. A faixa ótima de pH para a maioria dos microrganismos do solo é de 5 a 8. O pH do solo pode ser um importante determinador da predominância relativa e atividade de diferentes grupos microbianos, como aqueles ligados à ciclagem de nutrientes (nitrificação, desnitrificação e outros), fitossanidade, decomposição de substâncias orgânicas e sintéticas e transformações microbianas de gases como o metano.

Dos macronutrientes essenciais ao crescimento vegetal, três apresentam-se como cátions, ou seja, potássio, cálcio e magnésio. O fósforo e o enxofre apresentam-se na forma de ânions fosfato e sulfato, respectivamente. O nitrogênio é o único macronutriente que pode ocorrer no solo na forma de cátion ou de ânion, respectivamente amônio e nitrato/nitrito. O hidrogênio destaca-se por seu papel na acidez e na reação do solo. O alumínio é um importante elemento tóxico nos solos ácidos. Como já comentado, os parâmetros de fertilidade do solo como saturação por bases (V), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por alumínio (m) são amplamente utilizados na avaliação da

fertilidade do solo e apresentam níveis críticos bem definidos, podendo ser incorporados na lista dos indicadores da qualidade do solo.

Medições de N, P e K são importantes para prever a produtividade potencial vegetal. Em adição, o N e P são importantes componentes ambientais da qualidade do solo. Em muitas condições, é possível avaliar os resultados da análise de fertilidade determinando a sua capacidade de fornecer nutrientes às culturas. O objetivo geral do manejo do solo é manter sempre os níveis dos nutrientes em uma faixa desejável para o crescimento vegetal ótimo, mas insuficiente para causar contaminação ambiental.

Outro aspecto importante, que deve ser abordado com relação à qualidade do solo e sustentabilidade ambiental, é a disponibilidade de micronutrientes. As deficiências mais comuns de micronutrientes nos solos tropicais são com relação ao zinco, boro, cobre e molibdênio, o ferro e o manganês estão mais relacionados com os problemas de acidez. O interesse pela análise de micronutrientes deve-se ao aparecimento de diversas deficiências nutricionais, com quedas acentuadas na produtividade vegetal. Apesar de não conhecer totalmente a extensão em que essas deficiências afetam as produções das culturas, estas deficiências têm contribuído para a perda da qualidade da produção agrícola, da qualidade do solo e da sustentabilidade ambiental. O uso incorreto de corretivos da acidez, por exemplo, nos diversos sistemas de manejo, tem causado uma elevação no valor do pH do solo, diminuindo a disponibilidade de alguns micronutrientes. Aliado a isso, não se pode omitir o perigo da utilização abundante e irracional de fertilizantes e agrotóxicos, os quais podem, além de desajustarem os limites aceitos de fertilidade para as diferentes culturas, contribuir para desequilíbrios ambientais de baixa reversibilidade. Maiores detalhes sobre o efeito de xenobióticos (por exemplo, agrotóxicos) no solo e no ambiente podem ser encontrados em Moreira e Siqueira (2006).

INDICADORES MICROBIOLÓGICOS

Indicador microbiológico pode ser definido como uma espécie de microrganismo ou grupo de microrganismos que indica, pela sua presença e atividade numa determinada área, a existência de uma condição ambiental específica.

Os microrganismos apresentam grande potencial de utilização em estudos de qualidade do solo por apresentar as seguintes características:

- a) alta sensibilidade a perturbações antropogênicas;
- b) correlações com diversas funções benéficas do solo, incluindo armazenamento e disponibilidade de água, decomposição de resíduos orgânicos, transformação e ciclagem de nutrientes, biorremediação, controle de fitopatógenos e outros;
- c) papel direto em muitos processos do ecossistema, incluindo conversão de nutrientes em formas disponíveis às plantas, supressão de organismos nocivos, formação da estrutura do solo e papel indireto em processos como infiltração de água;
- d) facilidade de avaliação e baixo custo.

Até recentemente, a maioria dos estudos de qualidade do solo era relacionada com a utilização exclusiva de indicadores físicos e químicos. Porém, os atributos físicos e químicos de um solo, que permite o pleno desenvolvimento vegetal, são afetados diretamente pelos processos bióticos. As propriedades biológicas do solo variam entre os diferentes ecossistemas, tanto naturais quanto artificiais, sendo seus conhecimentos fundamentais para comparação entre sistemas naturais e alterados, o que possibilita uma avaliação dos efeitos provocados por diferentes usos de solos.

Ao considerar que a maior intensidade de atividade biológica ocorre na camada superficial do solo, a exposição deste aos

processos erosivos, com remoção de material, por consequência do uso e/ou manejo inadequados, provoca o seu empobrecimento. Espera-se, portanto, que em ambientes onde os processos de degradação do solo, como erosão, são menos intensos, a atividade dos organismos seja maior. Siqueira et al. (1989) observaram uma alteração na colonização de ecossistemas naturais (Cerrado e pastagem nativa), que foi equivalente a 13% em média, enquanto que, para todos os agrossistemas estudados (culturas anuais e bienais, gramíneas forrageiras, culturas frutíferas, leguminosas forrageiras), foi superior a 38%.

A influência dos organismos do solo no desenvolvimento das plantas é muito complexa, sendo normalmente segmentada para facilitar o entendimento dos aspectos ligados à decomposição da MO e fornecimento de nutrientes para as plantas. Mas tem também importância fundamental nos aspectos ligados à estruturação do solo e às suas consequências como: maior retenção de água e resistência à erosão, melhor desenvolvimento do sistema radicular, maior atividade microbiana, entre outros.

Muitos estudos já foram conduzidos com o objetivo de comparar as alterações dos solos sob diferentes condições de manejo, no que diz respeito a seus atributos físicos, químicos ou biológicos. Entretanto, essas comparações, na maioria das vezes, foram feitas para parâmetros físicos, químicos ou biológicos individualmente, o que dificulta a visualização do conjunto, já que em termos de ecossistema, pela própria definição, os efeitos das alterações provocam reações em cadeia, alterando uma série de componentes do ambiente. Nesse sentido, Mendes et al. (2006), Silveira et al. (2006), Lima e Melloni (2007) e Arantes e Melloni (2007) avaliaram diferentes ecossistemas no Sul de Minas Gerais, por meio de uma grande diversidade de indicadores da qualidade. Os resultados mostraram a extrema sensibilidade microbiana em relação ao manejo do solo,

cujo papel esteve sempre associado aos demais atributos físicos, químicos e à própria variação de cobertura vegetal.

Um aspecto que deve ser analisado na quantificação do efeito dos microrganismos na melhoria do solo para o desenvolvimento das plantas é a biomassa microbiana, que constitui o primeiro estágio do carbono dos resíduos em decomposição no solo. A biomassa microbiana do solo é definida como a parte viva da matéria orgânica e, além de armazenadora de nutrientes, pode servir como um indicador rápido de mudanças no solo, revelando a sensibilidade da microbiota a interferências no sistema. Sua avaliação dá indicações sobre a ciclagem da MO, podendo atuar como fonte e dreno de nutrientes por meio de processos de mineralização e imobilização. A vegetação influencia diferentemente a biomassa microbiana e, por isso, a sua eliminação, expondo o solo à degradação, ocasiona uma drástica queda da biomassa carbono, como revela estudos que envolvem desmatamentos (CERRI et al., 1985).

Como a avaliação da biomassa microbiana é relativamente rápida, quando comparada à avaliação direta da produtividade vegetal, esta pode ter enorme aplicação na avaliação da qualidade de solo. Nem sempre há correlações entre biomassa e atividades microbianas e entre biomassa e a comunidade microbiana em estudo. No entanto, resultados obtidos por Dias-Júnior et al. (1998), em solos contaminados com metais pesados, mostraram haver correlações significativas entre biomassa e atividade microbianas e entre biomassa e populações de fungos e bactérias cultiváveis.

A biomassa microbiana é importante sob três aspectos:

- a) por ser formada, em parte, por células vegetativas em plena atividade funcional, capazes de promover importantes alterações no sistema do solo, atuando como catalisador para as transformações da matéria orgânica;

- b) por sua grande quantidade (1% a 4% do carbono total do solo) e por ser maior componente lábil da matéria orgânica, torna-se um importante reservatório de nutrientes potencialmente disponíveis para as plantas (2% a 6% do N total, 2% a 5% do P total);
- c) representa um indicador de grande sensibilidade para avaliar as mudanças do solo, sendo influenciada pelas adubações, métodos de cultivo e condições edafoclimáticas.

A degradação da MO é uma propriedade de todos os microrganismos heterotróficos e seu nível é comumente utilizado para indicar a atividade microbiana do solo. A atividade microbiana é utilizada como uma forma de melhor entender os processos de mineralização e visualizar mais profundamente a intensidade dos fluxos de energia no solo. A respiração microbiana apresenta grande potencial de utilização como indicador da qualidade em áreas degradadas, relacionando-se com a perda de carbono orgânico do sistema solo-planta para a atmosfera, reciclagem de nutrientes, resposta a diferentes estratégias de manejo do solo.

O quociente metabólico qCO_2 é considerado muito importante na avaliação dos efeitos das condições ambientais sobre a atividade microbiana do solo, sendo referido como taxa de respiração específica da biomassa. Distúrbios no solo causam uma elevação do qCO_2 , enquanto o período de sucessão primária e desenvolvimento do ecossistema durante a sucessão secundária promovem redução desta relação (WARDLE; GHANI, 1995). Maiores valores são, portanto, encontrados em condições mais adversas às populações microbianas, em locais onde se gasta mais C oxidável para sua manutenção. A utilização de qCO_2 pode ser uma ferramenta significativa para a quantificação da influência de fatores externos aos microrganismos do solo, principalmente os relacionados com o

desempenho funcional de comunidades microbianas em certas condições e com o impacto de diferentes estratégias de manejo de solos. O qCO_2 pode, ainda, indicar a estrutura da comunidade, sua relação com a função de microrganismos e se o surgimento ou o desaparecimento de populações microbianas, em termos de energia, são vantajosos ou não ao funcionamento do ecossistema em estudo.

A diversidade microbiana compreende a variedade de espécies num ecossistema, bem como a variabilidade genética dentro de cada espécie e sua utilização, como indicadora da qualidade do solo, tem sido bastante discutida, principalmente na última década, com o surgimento e aprimoramento de técnicas de biologia molecular. Os índices de diversidade microbiana têm sido utilizados para descrever o estado das comunidades microbianas e o efeito das perturbações naturais ou antropogênicas. Estes atributos podem atuar como indicadores microbiológicos por mostrarem a estabilidade da comunidade e descrever a dinâmica ecológica de uma comunidade e os impactos de estresse naquela comunidade. Contudo, um fator limitante do sucesso de utilização destes índices é a complexidade da comunidade microbiana do solo e as múltiplas interações desta com o solo, as quais podem ser amenizadas, aumentando o número de indicadores na avaliação da qualidade do solo.

Os métodos de contagem de microrganismos do solo em meios definidos e a utilização da microscopia direta desempenham papel importante nos estudos preliminares da diversidade microbiana do solo e, normalmente, empregam técnicas acessíveis a laboratórios. No entanto, métodos de caráter genético e/ou bioquímico, que envolvem estudos múltiplos de funções do solo e diferenças bioquímicas, podem fornecer resultados mais confiáveis dessa diversidade (ZILLI et al., 2003).

Outro método de avaliar a qualidade do solo é pelo estudo da diversidade funcional ou funcionalidade de grupos microbianos

específicos. Esta diversidade compreende a das atividades microbianas no solo, sendo que a dinâmica da comunidade microbiana está diretamente relacionada com o funcionamento de um ecossistema antes ou após uma perturbação. O direcionamento da recuperação de um sistema impactado será determinado por grupos funcionais importantes.

Como já apresentado, os microrganismos do solo, constituem uma fonte e dreno de nutrientes em todos os ecossistemas e têm papel fundamental na decomposição da serapilheira e ciclagem de nutrientes, estrutura do solo, fixação biológica de N_2 , associações micorrízicas, controle biológico de fitopatógenos e outras alterações nos atributos do solo que influenciam o crescimento vegetal. Tais microrganismos são um dos indicadores disponíveis mais sensíveis e a maioria é útil em classificar sistemas degradados ou contaminados, uma vez que a diversidade pode ser afetada rapidamente em função de estresses no ecossistema. No entanto, a utilização de microrganismos e sua funcionalidade para a avaliação de estresses ambientais e redução da diversidade biológica necessitam de estudos mais conclusivos.

A atividade de microrganismos, como os fixadores de N_2 (diazotróficos) e fungos micorrízicos arbustulares (FMAs), apresenta grande potencialidade de utilização como indicador da qualidade do solo em áreas degradadas pela participação nos ciclos biogeoquímicos e incorporação de nitrogênio; otimização da utilização de nutrientes pelas plantas; contribuição ao processo de agregação do solo e sustentabilidade do solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Apresentam alta sensibilidade a variações químicas, físicas e biológicas no solo, normalmente provocadas por atividades antropogênicas, além de altas correlações com as funções benéficas do solo. Assim, a funcionalidade destes grupos microbianos afeta diretamente a qualidade e a fertilidade do solo e contribui para o funcionamento dos ecossistemas.

Avaliando a reabilitação de solos de mineração por meio de atributos relacionados com a nodulação de plantas-iscas e propágulos de FMAs, Melloni et al. (2003, 2006) verificaram, apesar da variação na sensibilidade, grande potencial de utilização do número e atividade de nódulos, micélio extrarradicular total e número de esporos de FMAs como indicadores microbiológicos da reabilitação. Caldas et al. (2004), ao compararem áreas degradadas e não degradadas, no Sul de Minas Gerais, verificaram que o atributo número de esporos de FMAs foi considerado bom indicador, apesar de o número nas áreas degradadas ser quase que 2,5 vezes superior àquele obtido nas não degradadas, mostrando que muitos estresses ambientais podem estimular a esporulação de diferentes espécies de FMAs.

No entanto, Weissenhorn et al. (1995) não obtiveram correlação entre número de esporos desses fungos e exposição a doses crescentes de lodo de esgoto contaminados por metais pesados, mostrando que esse atributo microbiológico não se comportou como um bom indicador. Em solos de mineração, atributos como atividade da nitrogenase, micélio extrarradicular ativo, colonização micorrízica, diversidade de FMAs e densidade de diazotróficos endofíticos não foram sensíveis em discriminar o efeito da reabilitação e não foram recomendados como indicadores microbiológicos (MELLONI et al., 2003, 2004, 2006).

Caldas et al. (2004), em solos de áreas degradadas e não degradadas, verificaram que os atributos índice de colonização micorrízica (porcentual de colonização por segmento de raiz) e porcentagem de colonização micorrízica (porcentual total de colonização) não foram considerados bons indicadores de recuperação, visto à ocorrência de pouca variação encontrada entre as raízes coletadas *in situ* nessas áreas. Resultados semelhantes foram obtidos por Theodoro et al. (2003), comparando solos sob mata nativa e agroecossistemas cafeeiros pelo atributo microbiológico car-

bono da biomassa e colonização micorrízica.

A diversidade funcional também vem sendo estudada por métodos que se baseiam em atividades enzimáticas específicas (β -glicosidase, urease, fosfatase alcalina e aril sulfatase). A atividade enzimática do solo exerce um importante papel na sustentabilidade e funcionalidade do ecossistema, pois é fundamental para catalisar inúmeras reações necessárias para a manutenção da atividade microbiana, decomposição de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes e formação de MOS. Carneiro (2000), estudando solos de mineração em diferentes estádios de recuperação, verificou que as atividades de β -glicosidase, fosfatase ácida, urease e hidrólise de diacetato de fluoresceína foram severamente afetadas pela mineração. No entanto, as mais sensíveis em discriminar as diferentes áreas foram a β -glicosidase e aquelas relacionadas com a hidrólise do diacetato de fluoresceína.

É importante salientar que a quantificação microbiana da qualidade do solo gera muitos dados microbiológicos e bioquímicos, o que pode dificultar a interpretação dos reais resultados. Para evitar ou amenizar tais problemas, podem ser empregadas análises de agrupamento das áreas em dendrogramas de similaridade ou de componentes principais. Enquanto a primeira agrupa áreas similares do ponto de vista microbiológico ou bioquímico estudado, a última técnica é frequentemente utilizada para reduzir o número de variáveis totais, tornando a análise dos dados mais eficiente e mantendo a maioria ou todas as informações originais. Exemplos de aplicação dessas metodologias podem ser obtidos em Silveira et al. (2006), Arantes e Melloni (2007) e Lima e Melloni (2007). Em todos esses trabalhos, áreas degradadas ou em processo de degradação apresentaram baixa similaridade com aquelas não degradadas, do ponto de vista microbiológico e bioquímico, sendo as primeiras separadas espacialmente daquelas não degradadas.

INDICADOR VISUAL DA QUALIDADE DO SOLO

Em vista da necessidade de quantificar a qualidade do solo, utilizando poucos recursos e metodologias baratas, vários pesquisadores têm utilizado observações qualitativas *in situ* de atributos visuais diversos. Em 1982, por exemplo, Karmanov e Friyev (apud DORAN; JONES, 1996) desenvolveram índices ecológicos do solo, com base em diversos atributos como: incidência de luz, temperatura, disponibilidade de água, retenção de água, drenagem, densidade de solo, salinização, acidez e toxidez. Os valores encontrados possibilitaram uma análise quantitativa e comparativa entre os solos, sendo que os menores índices foram relacionados com os solos degradados. Existem vários sistemas de notas que utilizam questionários para avaliação preliminar da qualidade do solo no campo, envolvendo os seguintes atributos: presença de minhocas, erosão, estrutura, cor (úmida), compactação e infiltração. Nessa mesma linha, Carneiro (2000) e Melloni (2001) desenvolveram uma planilha (Quadro 1) de avaliação *in situ* sobre os atributos de solo e vegetação, objetivando cálculo de um índice de qualidade de solos em áreas de mineração de bauxita em recuperação sob diferentes estratégias.

As notas variaram de 0 (pior) a 5 (melhor) para os seguintes atributos:

- solo: erosão, pedregosidade e fauna;
- vegetação: índice de cobertura, índice de diversidade, porte/estratificação, vigor da vegetação, quantidade, estado de decomposição e incorporação da serapilheira, sucessão da vegetação;
- outros: presença de fauna silvestre.

Os valores foram ponderados em função da importância atribuída à reabilitação e à condição da referência, sendo de 100%, 50% e 50% da nota atribuída para erosão, pedregosidade e fauna do solo, respectivamente; de 100%, 80%, 50%, 100%, 100%, 100%, 70% e 100% para índice de

QUADRO 1 - Planilha para avaliação visual da qualidade de solos por meio de atributos relacionados com solo, vegetação e fauna, e suas respectivas faixas (notas) e contribuição relativa (CR)

Parâmetro	Nota	⁽¹⁾ Contribuição relativa (%)
Solo		
Erosão	5 (ausência) a 0 (altamente erodido)	100
Pedregosidade	5 (ausência) a 0 (muito pedregoso)	50
Fauna do solo	3 (presença) a 0 (ausência)	50
Vegetação		
Índice de cobertura	5 (referência) a 0 (sem cobertura)	100
Índice de diversidade	5 (referência) a 0 (nenhuma)	80
Porte/Estratificação	5 (referência) a 0 (nenhuma)	50
Vigor da vegetação	5 (referência) a 0 (plantas mortas)	100
Sucessão na vegetação	5 (ocorrência intensa) a 0 (não ocorre)	100
Quantidade de serapilheira	5 (referência) a 0 (ausência)	100
Decomposição de serapilheira	5 (referência) a 0 (ausência de sinal)	100
Incorporação no solo	5 (referência) a 0 (ausência)	70
Outros		
Fauna	5 (muito intensa) a 0 (nenhum sinal)	50

FONTE: Carneiro (2000) e Melloni (2001).

(1)Peso atribuído ao atributo correspondente.

cobertura, índice de diversidade, porte/estratificação, vigor da vegetação, quantidade de serapilheira, estado de decomposição da serapilheira, incorporação da serapilheira e sucessão na vegetação, respectivamente; e de 50% para a presença de fauna silvestre. Os valores obtidos para cada área foram relativizados, atribuindo-se valores 100 para as áreas-referência. Ao final do estudo, Melloni (2001) observou grandes variações entre solos recém-minerados e aqueles revegetados, em processo de recuperação.

Avaliando diferentes ambientes, Silveira et al. (2006) confirmaram a relativa facilidade de aplicação dos indicadores visuais, separando as áreas de acordo com os aspectos visuais da qualidade ambiental. No entanto, quando compararam o agru-

pamento das áreas obtido por meio desses indicadores com aqueles originados de aspectos microbiológicos e bioquímicos, verificaram que não houve relação entre o estado de degradação, aparentemente observado sobre o solo, com a microbiota e sua atividade. Esse resultado, aliado a de outros pesquisadores, comprova o cuidado adicional que se deve ter, quando somente aspectos visuais são utilizados na avaliação da qualidade do solo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os efeitos de atividades impactantes como a agricultura, pastagem e mineração têm sido avaliados por meio de atributos físicos e químicos do solo. No entanto, conforme discutido, em relação ao enten-

dimento da funcionalidade do solo dentro de um ecossistema, pouco se estudou sobre as alterações na microbiota do solo, suas atividades bioquímicas e o impacto destas na produtividade e sustentabilidade de sistemas.

A atividade da microbiota do solo é largamente responsável pelas transformações de nutrientes nos solos e por um grande número de propriedades fundamentais como fertilidade e estrutura. Mudanças na atividade desses microrganismos podem ser um indicativo de mudanças na qualidade do solo, ou ser extremamente sensível a estas. Desse modo, populações de microrganismos-chave do solo e/ou processos bioquímicos mediados pela microbiota são bioindicadores sensíveis de mudanças na qualidade do solo e devem ser utilizados na predição de problemas ligados à degradação do solo e à redução da produtividade. A seleção de microrganismos ou grupos de microrganismos para utilizar como bioindicadores deve ser criteriosa, respeitar os recursos disponíveis e os objetivos específicos do Programa de Recuperação do Solo Degradado. Porém, estes indicadores da qualidade do solo devem ser utilizados em conjunto com outros atributos físicos e químicos, já que a funcionalidade e a sustentabilidade dos diversos sistemas são governadas pela interação destes atributos.

Atualmente, pesquisa e divulgação são ainda necessárias para identificar e quantificar atributos físicos, químicos, biológicos e visuais com potencial de utilização como indicadores da qualidade do solo em áreas degradadas. Com base nos indicadores apresentados neste artigo, elaborou-se o Quadro 2, salientando suas principais aplicações e limitações. O desenvolvimento e/ou adaptação/simplificação de metodologias aplicadas, aliadas ao número crescente de pesquisadores brasileiros dedicados a este estudo, certamente contribuirão para melhor utilizar o sistema solo-planta e a reduzir o número de áreas degradadas.

QUADRO 2 - Definição das principais aplicações e limitações dos indicadores físicos, químicos, microbiológicos e visuais da qualidade do solo referenciados

Indicadores	Atributo	Definição	Aplicações	Limitações
Físicos	Estrutura	Organização das partículas e agregados.	Estudos de retenção de água, estabilidade de agregados e resistência à erosão hídrica, influência direta no desenvolvimento radicular e na biomassa e atividade microbianas.	Determinação laboratorial trabalhosa.
	Densidade do solo ou aparente	Relação entre a massa de uma amostra de solo seca a 110°C e a soma dos volumes ocupados pelas partículas e poros.	Estudos de condições de manejo e relação com porosidade, permeabilidade e armazenamento de água.	Dificuldade de definição de padrões críticos; determinação laboratorial trabalhosa.
	Densidade real ou específica	Relação existente entre a massa de uma amostra de solo e o volume ocupado por suas partículas sólidas.	Auxilia na identificação dos minerais; tem efeito indireto sobre o crescimento vegetal, pois representa a média ponderada da densidade real de todos os seus componentes minerais e orgânicos.	Dificuldade de definição de padrões críticos; determinação laboratorial trabalhosa.
	Porosidade	Porção do solo não ocupada por sólidos.	Estudos ligados ao armazenamento e ao movimento de água e gases, fluxo e retenção de calor, resistência mecânica e desenvolvimento radicular.	Dificuldade de definição de padrões críticos; determinação laboratorial trabalhosa.
	Textura	Distribuição quantitativa das partículas do solo com relação ao tamanho.	Estudos ligados à descrição, identificação e classificação do solo.	Grande estabilidade, com pouca variação em função do manejo.
Químicos	MOS	Termo geralmente usado para representar os constituintes orgânicos do solo, incluindo resíduos de plantas e animais, seus produtos em vários estandes de decomposição química, física e microbiológica, e de organismos vivos.	Avaliação do reservatório de nutrientes; fonte de carbono e energia aos organismos do solo; retenção de água; agregação de partículas.	Dificuldade em estabelecer a quantidade de material orgânico necessária para aumentar o teor de MOS; relação C/N do material interfere na sua decomposição e liberação de nutrientes.
	pH	Concentração de H^+ na solução do solo.	Estudos ligados à acidez do solo e disponibilidade de nutrientes às plantas e microrganismos, limitando as suas taxas de crescimento.	Não existe um valor geral indicado ao solo, em função das grandes variações entre tipos de solo e necessidades de culturas e microrganismos.
	Macronutrientes e micronutrientes	Teor de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, B, Cu, Mo, Fe, Mn, Cl na solução do solo.	Estudos ligados à produtividade vegetal e microbiana, com ênfase na fertilidade do solo.	Variação da disponibilidade em função da acidez do solo; exigências diversificadas pelas plantas e organismos do solo, dificultando a sua utilização como indicador da qualidade.
	Contaminantes	Presença de xenobióticos no solo (agrotóxicos, metais pesados, etc.).	Estudos de contaminação do solo com agrotóxicos diversos, alterando os atributos químicos e, conseqüentemente, os físicos e microbiológicos.	Falta de padrões e tolerâncias diversificadas pelas culturas e organismos do solo.
Microbiológicos	Biomassa microbiana	Parte viva da matéria orgânica.	Fonte e dreno de nutrientes por meio de processos de mineralização e imobilização; alta sensibilidade ao manejo do solo.	Metodologias normalmente trabalhosas; nem sempre têm correlação com outros atributos do solo.
	Atividade microbiana	Processo bioquímico de geração e consumo de energia.	Avaliação de processos de mineralização com relação à perda de carbono, reciclagem de nutrientes e respostas a manejo do solo.	Metodologias normalmente trabalhosas; nem sempre têm correlação com outros atributos do solo.
	qCO_2	Taxa de respiração específica da biomassa microbiana.	Avaliação do desempenho funcional de comunidades microbianas em função do manejo do solo.	Necessidade de avaliação da atividade e do C orgânico do solo para a sua quantificação.

Indicadores	Atributo	Definição	Aplicações	Limitações (conclusão)
Microbiológicos	Diversidade microbiana	Variedade de espécies, incluindo a porção genética dentro de cada espécie. Variedade de espécies, incluindo a porção genética dentro de cada espécie.	Estudo das comunidades microbianas e efeito das perturbações naturais ou antropogênicas na sua estrutura; estabilidade das comunidades e dinâmica ecológica em função do manejo; normalmente com alta sensibilidade a interferências antropogênicas.	Metodologias variadas, normalmente, trabalhosas e caras; nem sempre têm correlação com outros atributos do solo.
	Diversidade funcional	Funcionalidade de grupos microbianos específicos.	Estudos da dinâmica da comunidade microbiana relacionada com o funcionamento do ecossistema antes ou após um impacto; grupos participantes dos ciclos biogeoquímicos (fixadores de N ₂ , amonificantes, celulolíticos, solubilizadores de fosfato, formadores de micorriza, etc.) com forte relação ao crescimento das plantas; normalmente com alta sensibilidade a interferências antropogênicas.	Metodologias variadas, normalmente, trabalhosas e caras; nem sempre têm correlação com outros atributos do solo.
Visuais	Aspectos visuais ligados ao solo, fauna e flora local	Presença de processos erosivos, pedregosidade, fauna do solo, cobertura vegetal, diversidade vegetal, vigor, quantidade e qualidade da serapilheira.	Determinação de um índice de qualidade ambiental, relacionando com aspectos de sustentabilidade (solo, planta e organismos).	Necessidade de padronização de metodologias a serem adotadas pelos avaliadores; normalmente com baixa relação com os atributos microbiológicos do solo.

NOTA: MOS - Matéria orgânica do solo.

REFERÊNCIAS

- ARANTES, D.; MELLONI, R. Efeito da declividade em atributos bioquímicos de solos da Reserva Biológica da Serra dos Toledos, Itajubá/MG. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 14., 2007, Itajubá. **Resumo...** Itajubá: UNIFEI, 2007. 1 CD-ROM.
- CALDAS, A.; MELLONI, R.; MELLONI, E.G.P. Densidade de bactérias nodulíferas fixadoras de N₂ e de fungos micorrízicos arbusculares em área degradada, no sul de Minas Gerais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 26.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 10.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 8.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO – FERTIBIO, 5., 2004, Lages. [Anais...] Lages: SBCS, 2004. 1 CD-ROM.
- CARNEIRO, M.A.C. **Características bioquímicas do solo em duas cronosséqüências de reabilitação em áreas de mineração de bauxita.** 2000. 166p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- CERRI, C.C.; VOLKOFF, B.; EDUARDO, B.P. Efeito do desmatamento sobre a biomassa microbiana em Latossolo Amarelo da Amazônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.9, n.1, p.1-4, jan./abr. 1985.
- DIAS-JÚNIOR, H.E.; MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O.; SILVA, R. Metais pesados, densidade e atividade microbiana em solo contaminado por rejeitos de indústria de zinco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.22, n.4, p.631-640, out./dez. 1998.
- DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality.** Madison: Soil Science Society of America, 1996. 409p. (SSSA. Special Publication, 49).
- _____; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M.A. Soil health and sustainability. **Advances in Agronomy**, New York, v.56, p.1-54, 1996.
- HILLEL, D. **Introduction of soil physics.** New York: Academic Press, 1982. 364p.
- KIEHL, E.J. **Manual de edafologia:** relações solo-planta. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262p.
- LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment.** Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.37-51.
- LIMA, O.; MELLONI, R. Distribuição espacial da comunidade microbiana do solo em diferentes declividades dentro da Reserva Biológica da Serra dos Toledos - Itajubá/MG. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 14., 2007, Itajubá. **Resumo...** Itajubá: UNIFEI, 2007. 1 CD-ROM.
- MELLONI, R. **Densidade e diversidade de bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos arbusculares em solos de mineração de bauxita.** 2001. 173p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- _____; MOREIRA, F.M. de S.; NÓBREGA, R.S.A.; SIQUEIRA, J.O. de. Eficiência e diversidade fenotípica de bactérias diazotróficas que nodulam caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] e feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em solos de mineração de bauxita em reabilitação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.30, n.2, p.235-246, mar./abr. 2006.
- _____; NÓBREGA, R.S.A.; MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. Densidade e diversidade fenotípica de bactérias diazotróficas endofíticas em solos de mineração de bauxita, em reabilitação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.28, n.1, p.85-93, jan./fev. 2004.
- _____; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M. de S. Fungos micorrízicos arbusculares em solos de área de mineração de bauxita em reabilitação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.2, p.267-276, fev. 2003.
- MENDES, F.G.; MELLONI, E.G.P; MELLONI,

R. Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá/MG. **Cerne**, Lavras, v.12, n.3, p.211-220, jul./set. 2006.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. atual. e ampl. Lavras: UFLA, 2006. 729p.

SIKORA, L.J.; STOTT, D.E. Soil organic carbon and nitrogen. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. cap.9, p.157-168.

SILVEIRA, R.B.; MELLONI, R.; MELLONI, E.G.P. Atributos microbiológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas, em Itajubá/MG. **Cerne**, Lavras, v.12, n.1, p.48-55, jan./mar. 2006.

SIQUEIRA, J.O.; COLOZZI-FILHO, A.; OLIVEIRA, E. de. Ocorrência de micorrizas vesicular-arbusculares em agro e ecossistemas do estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.24, n.12, p.1499-1506, dez. 1989.

_____; MOREIRA, F.M. de S.; GRISI, B.M.; HUNGRIA, M.; ARAUJO, R.S. **Microrganismos e processos biológicos do solo**: perspectiva ambiental. Brasília: EMBRAPA-SPI; Goiânia: EMBRAPA-CNPAC; Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1994. 142p. (EMBRAPA-CNPAC Documentos, 45).

SPERA, S. T. **Inter-relações entre propriedades físico-hídricas do solo e a ocorrência de vegetação de mata e campo adjacentes no Alto Rio Grande (MG)**. 1995. 78p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

THEODORO, V.C. de A.; ALVARENGA, M.I.N.; GUIMARÃES, R.J.; MOURÃO JÚNIOR, M. Carbono da biomassa microbiana e micorriza em solo sob mata nativa e agroecossistemas cafeeiros. **Acta Scientiarum**. Agronomy, Maringá, v.25, n.1, p.147-153, jan./june 2003.

VISSER, S.; PARKINSON, D. Soil biological criteria as indicators of soil quality: soil microorganisms. **American Journal of Alternative Agriculture**, v.7, n.1/2, p.33-37, 1992.

WARDLE, D.A.; GHANI, A.A. A critique of the microbial metabolic quotient (qCO_2) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.27, n.12, p.1601-1610, Dec. 1995.

WEISSENHORN, L.; MENCH, M.; LEYVAL, C. Bioavailability of heavy metals and arbuscular mycorrhiza in a sewage-sludge-amended soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.27, n.3, p.287-296, Mar. 1995.

ZILLI, J.E.; RUMJANEK, N.G.; XAVIER, G.R.; COUTINHO, H.L. da C.; NEVES, M.C.P. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v.20, n.3, p.391-411, set./dez. 2003.

Veja no próximo

INFORME AGROPECUÁRIO

EFEITO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA AGRICULTURA

- **Aquecimento global**
- **Impactos na agricultura**
- **Emissão de gases de efeito estufa e sua influência no uso de fertilizantes**
- **Zoneamento agrícola de riscos climáticos**
- **Agrometeorologia e otimização do uso da água na irrigação**
- **Escassez e qualidade da água no século 21**

Leia e Assine o **INFORME AGROPECUÁRIO**
(31) 3489-5002 - publicacao@epamig.br

REABILITAÇÃO DE MINAS DE BAUXITA EM FLORESTAS NATIVAS: “MÉTODO TRADICIONAL” VERSUS “MÉTODO ECOLÓGICO”

João Carlos Costa Guimarães*

RESUMO

A CGM – Companhia Geral de Minas –, subsidiária da Alcoa Alumínio S.A., busca continuamente a melhoria das práticas de revegetação de minas de bauxita e em 2005 alterou significativamente estas práticas. Nas situações de mineração em florestas nativas, previamente à supressão da vegetação, é realizado o “resgate de plântulas”, as quais são encaminhadas para o viveiro, onde são transplantadas em sacos plásticos, e após o pegamento e aclimação são encaminhadas ao local de origem. O “tapete verde” foi eliminado, garantindo a não introdução de espécies exóticas, a germinação e estabelecimento de espécies nativas contidas no topsoil (camada superficial do solo), além de menor custo de manutenção. Para compensar, foi reduzido o espaçamento entre mudas – “adensamento de plantio”. Esta metodologia permite o recobrimento completo do terreno em curto período, sem o impacto da introdução de espécies exóticas e com maior similaridade florística com o entorno. Práticas adicionais são a instalação de poleiros artificiais e espalhamento de serapilheira em fina camada, sendo que a fração grosseira constituída por raízes é disposta no entorno das mudas, aumentando a retenção de umidade e reduzindo a competição com outras plantas.

Palavras-chave: adensamento de plantio, serapilheira, poleiros artificiais, resgate de plântulas.

1. INTRODUÇÃO

A Companhia Geral de Minas (CGM) foi fundada em 1935, voltada para a lavra de bauxita e zircônio, para atender o mercado internacional. Em 1962, a Alcoa Alumínio S.A. adquiriu o controle acionário da CGM, sendo que, a partir de 1970, com a finalização da construção da planta industrial, a produção de bauxita passou a ser direcionada exclusivamente para produção de alumina e alumínio. No final da década de 70, a CGM iniciou os primeiros trabalhos de recuperação de minas, desenvolvendo, até os dias atuais, diversas pesquisas. Em 1990, Don Duane Willians, então gerente da CGM, coordenou, a convite do IBAMA, a confecção do Manual de Recuperação de Áreas Degradadas, utilizando como base as experiências vivenciadas na CGM. Durante estas três décadas de trabalho, a CGM desenvolveu diversas pesquisas sobre o tema, em convênio com instituições renomadas, como, UFLA, UFV, USP, UNICAMP, BIODIVERSITAS e SPVS, gerando diversas publicações sobre o tema. Dentre os impactos decorrentes da atividade minerária destacam-se o visual e a perda de diversidade biológica. Em geral, os primeiros trabalhos de recuperação de áreas mineradas de bauxita tinham como principal objetivo a eliminação do impacto visual (ou paisagístico), o qual tem forte interface com a comunidade adjacente, sendo que a busca pela mitigação imediata resultou no uso indiscriminado de espécies exóticas, principalmente eucalipto, pinus, capim-gordura (*Melinis minutiflora*) e braquiária (*Brachiaria* sp.). A CGM, entendendo ser esta abordagem errônea, passou a adotar a minimização da perda de biodiversidade como a premissa principal para os trabalhos de reabilitação.

“A recuperação de área degradada (RAD) significa que o local será retornado a uma forma de utilização de acordo com o plano pre-estabelecido para o uso do solo. Implica que uma condição estável será obtida em conformidade com os valores ambientais, econômicos, estéticos e sociais da circunvizinhança” (IBAMA, 1990), em outras palavras, visa restabelecer o equilíbrio ambiental. No entendimento da CGM, nos casos do uso do solo anterior à lavra ser floresta nativa, após a exaustão da mina, devem ser estabelecidas condições mínimas para o restabelecimento de comunidades florísticas o mais semelhante possível da situação original, ou seja, objetiva o retorno tanto das principais populações componentes desta comunidade, como principalmente das relações ecológicas existentes entre estas. Para tanto, é fundamental observar os mais variados aspectos ecológicos para que a recuperação seja realmente efetiva ao longo das décadas.

A revegetação é fundamental para que o processo de recuperação de uma floresta nativa seja efetivo, e, para tanto, se faz necessária a adoção de técnicas que favoreçam o recobrimento do terreno exposto e estimule o estabelecimento de espécies ve-

getais nativas e da sucessão ecológica. Quando o processo de recuperação é bem sucedido, não só há restabelecimento das espécies originais do sistema, como este se torna auto-sustentável, e o restabelecimento das relações ecológicas permite que o local recuperado se integre às áreas preservadas do entorno (van den Berg et al. 2006).

O presente trabalho teve como principal objetivo apresentar metodologias ecológicas para a reabilitação de minas de bauxita em áreas originais de florestas nativas, as quais são aplicadas pela CGM em Poços de Caldas, além de compará-las com as práticas tradicionais de RAD.

2. CONCEITOS BÁSICOS

2.1. Impacto visual x impacto biológico: interface com a estratégia de reabilitação

Para se ter um resultado adequado na reabilitação de minas de bauxita, é necessário compreender que o impacto visual comparativamente ao biológico é transitório, pontual e de curta duração, enquanto que a mitigação dos impactos sobre a biodiversidade é significativa em médio e longo prazo, a reabilitação deve ter como foco principal a mitigação do impacto biológico, uma vez que a correção do impacto visual ocorrerá naturalmente. Desta maneira, faz-se necessário adotar práticas voltadas ao restabelecimento das relações ecológicas que constituíam o ambiente antes da mineração, e para tanto, é fundamental observar e tentar imitar o que ocorre naturalmente.

Apesar de a CGM ter convênios desde o início da década de 80 com instituições renomadas em recuperação, o conhecimento à época sobre o tema ainda era muito incipiente (mesmo no meio científico), o que pode ser comprovado pelo estudo de van den Berg et al. (2006). Este trabalho relacionou à provável escolha equivocada de espécies na implantação original (incluindo algumas exóticas), ao processo de sucessão ainda inicial, e composição florística ainda pouco similar a da floresta madura do entorno. Porém, aparentemente, 17 anos depois da implantação existe uma comunidade bem estabelecida de pioneiras e secundárias iniciais nativas. A ressalva é que se em 1988 já tivessem conhecimentos similares aos da atualidade sobre o tema, a recomposição já estaria em estágio bem superior, principalmente porque estas espécies que predominam no local hoje, teriam sido estabelecidas originalmente e de forma associada a espécies da floresta madura. Esta conclusão corrobora com o conceito do sucesso da recuperação estar intimamente ligado às medidas adotadas na implantação da reabilitação.

2.2. Sucessão ecológica

A sucessão é um processo natural que ocorre em etapas, as quais ocorrem desde a área totalmente desocupada, onde se estabelecem as primeiras espécies vegetais, culminando após dé-

cadras, ou séculos, com a formação de uma floresta madura (Reis et al. 1999). Este processo é contínuo e intermitente, mesmo em grandes extensões de florestas nativas primárias (que nunca sofreram intervenção antrópica), através da formação de clareiras pela morte de grandes árvores, o que garante a manutenção das espécies de todos os grupos ecológicos.

Estas etapas se sucedem à medida que uma comunidade modifica o ambiente, preparando-o para que uma outra comunidade possa ali se estabelecer. Para cada etapa da sucessão tem-se uma condição de ambiente distinta. Nos estágios iniciais predominam espécies pioneiras e secundárias iniciais (ciclo de vida curto, não ultrapassando algumas décadas), cujas sementes requerem radiação solar direta para germinação e o crescimento das plântulas. O crescimento rápido destes indivíduos propicia o sombreamento do solo, permitindo a posterior germinação das sementes de espécies secundárias tardias e climax (trazidas do entorno principalmente pela fauna; ciclo de vida longo, e sobrevivendo até alguns séculos), uma vez que estas requerem sombra para germinação e manutenção das plântulas durante a fase juvenil até que estejam maduras para suportar condição de luz direta. Quando atingem a maturidade fisiológica estão aptas a ocupar o dossel da floresta (estrato superior formado pela copa das árvores mais altas), o que ocorre quando da morte dos indivíduos pioneiros e secundários iniciais.

2.3. Relação fauna x reabilitação

É impossível tratar a reabilitação ecológica sem relacioná-la à fauna, uma vez que as florestas tropicais são sistemas extremamente complexos, cuja dinâmica está fundamentada nas diversas interações "planta x animal" (Machado et al. 2006, Castro 2007). Esta interação é essencial para a manutenção da diversidade genética dentro das populações de espécies arbóreas tropicais, pois promove o fluxo gênico que ocorre com a polinização e dispersão de sementes.

No contexto de ecologia da paisagem, fator fundamental é a área objeto de recuperação estar inserida em uma matriz onde predominem remanescentes com vegetação nativa, maximizando a chegada de sementes trazidas pelos agentes dispersores, e neste contexto a avifauna constitui um agente fundamental, uma vez que possibilita o transporte de sementes a longas distâncias em relação à planta-mãe (Machado et al. 2006).

Portanto, a adoção de espécies nativas com síndrome de dispersão zoocórica (pela fauna) é fundamental para atração da fauna local, maximizando a entrada de propágulos (sementes) das formações nativas do entorno, resultando num aporte significativo de diversidade florística, facilitando a integração da área em recuperação com o entorno. Outra boa estratégia, e que será abordada nas metodologias, é a instalação de poleiros artificiais em áreas em recuperação.

3. MÉTODOS DE REABILITAÇÃO

Para relatar os métodos ecológicos faz-se necessário uma breve descrição das práticas tradicionais, interpretadas pela CGM como "equivocadas", uma vez que o principal erro destes é a abordagem dada à recuperação, focando principalmente a eliminação rápida do impacto visual. Cabe frisar, que muitas dessas práticas foram adotadas em um período em que não se tinha nenhum conhecimento estabelecido sobre o tema, mesmo nas melhores instituições de pesquisa.

3.1. Métodos tradicionais

Os primeiros trabalhos de RAD (e muitos dos atuais) foram realizados sem nenhuma observação das relações ecológicas existentes nas comunidades naturais, principalmente devido à falta de conhecimento específico. A revegetação era restrita ao uso de um grupo limitado de espécies agressivas, a maioria, senão a totalidade, exóticas, as quais têm rápido crescimento e recobrimento do terreno, eliminando desta maneira o que era considerado o principal impacto (visual). A ampliação do conhecimento revelou que tais práticas levam a formação de áreas com baixíssima similaridade ecológica com a matriz florestal nativa, dificultando, ou mesmo impedindo a integração destas

com a comunidade natural. O conhecimento atual permite inferir que em termos ecológicos tais métodos são totalmente equivocados, dado que as florestas tropicais apresentam elevada diversidade vegetal, com muitas espécies pioneiras potenciais para recobrir o terreno em curto período, ampliando a integração ecológica destas áreas ao entorno.

Dentre as práticas equivocadas, destacam-se o plantio puro de pinus e eucalipto, amplamente utilizados nos primeiros trabalhos de RAD, os quais foram posteriormente substituídos por plantios mistos de outras espécies florestais (nativas e exóticas), selecionadas em função da taxa de crescimento, e, portanto, sem a devida preocupação com o conceito ecológico que define espécies nativas, resultando em reflorestamentos sem integração ecológica com a flora e fauna local. Além disto, foi introduzido o uso do tapete verde (consorciado com o plantio de mudas), que consiste na sementeira (a lançar ou em sulcos) de coquetéis de espécies gramíneas, herbáceas e arbustivas (a maioria de origem africana), nas entrelinhas de plantio de mudas. Estas espécies apresentam rápido crescimento e alta capacidade competitiva (Martins 2004), resultando em "abafamento" e alta mortalidade das mudas plantadas, elevando significativamente o custo de manutenção e condução da reabilitação. Consequentemente reduz o potencial de expressão natural da biodiversidade local, visto que o banco de sementes do topsoil (camada orgânica superficial do solo, horizonte "A" mais serapilheira), decaído antes da lavra e espalhado nas áreas remoldadas após a exaustão da mina, é sombreado pelo rápido crescimento das espécies exóticas, as quais reduzem também as possibilidades de propágulos nativos oriundos do entorno se expressarem. Em muitos casos, estes locais tornam-se fontes de contaminação de outras áreas adjacentes em reabilitação, ressaltando ainda mais a importância da não introdução de espécies exóticas nos trabalhos de reabilitação de formações nativas.

3.2. Métodos ecológicos

Este método conceitua reabilitação como sendo a busca do equilíbrio ambiental através do restabelecimento mais amplo possível das relações ecológicas do ambiente natural, o que implica o uso exclusivo de espécies nativas.

3.2.1. Resgate de plântulas

Anteriormente à supressão da floresta se realiza o resgate de plântulas (Naves 2005, Gandolfi & Rodrigues 2007), o que incrementa a diversidade florística das mudas produzidas no viveiro, além de minimizar a perda biológica (florística e genética) decorrente da mineração. Esta metodologia possibilita a obtenção de mudas de espécies cuja fenologia (período reprodutivo, com produção de flores, frutos e sementes) é esporádica, o que dificulta a coleta, e também de espécies que possuem sementes com mecanismos de dormência (impede que a semente germine), cujo processo de "quebra" é desconhecido pela ciência em alguns casos, porém ocorre "espontaneamente" no ambiente natural.

Em novembro de 2005, o resgate de 10.000 plântulas em uma área de 2,6 ha de floresta antes da supressão para mineração propiciou a formação de 8.700 mudas de 63 espécies. Esta taxa de sobrevivência foi semelhante aos valores encontrados por Naves (2005). Este autor comparou a sobrevivência de plântulas resgatadas em épocas distintas, detectando maior sobrevivência de indivíduos resgatados na estação de verão, comparativamente ao inverno, devido às plantas no verão encontrarem-se em período de máxima atividade fisiológica, enquanto, no inverno, as plantas reduzem significativamente suas atividades em decorrência da redução da precipitação de chuvas e do fotoperíodo (número de horas que ocorre irradiação solar ao longo de um dia), o que afeta sua produção fotossintética, e capacidade de suportar mudanças bruscas, como o que ocorre no resgate. Portanto, é recomendável realizar este tipo de trabalho no início da estação chuvosa, possibilitando a formação de mudas em maior quantidade e variedade de espécies.

O procedimento é muito simples, sendo necessária pá de jardineiro (para reduzir os danos ao sistema radicular durante a

retirada da plântula do solo) e balde com água (reduzir a transpiração das plântulas até que sejam encaminhadas ao viveiro). Após a retirada da plântula do solo elas são transportadas em balde com água (com as plântulas em raiz nua) até o viveiro, onde são transplantadas em sacos plásticos com substrato apropriado sob tela de sombrite (tela de sombreamento, visando aproximar a condição ambiental existente no sub-bosque da floresta). Após o “pegamento” dos indivíduos, o que é evidenciado pela emissão de folhas novas e de raízes, estas mudas são passadas à condição de pleno sol (retira-se a cobertura de sombrite) para aclimatar a condição de plantio. Após este período de rustificação, estas mudas estão aptas para serem levadas ao campo para recuperação de minas.

Importante frisar que neste processo a produção de mudas fica concentrada em espécies secundárias e clímax, as quais pertencem a estágios mais tardios ou avançados de sucessão ecológica, que necessitam de sombra nos primeiros anos de vida, até que atinjam maturidade para suportar insolação direta. No campo, as mudas obtidas por meio de resgate são plantadas alternadas com outras produzidas através de sementes, sendo que as provenientes de sementes são predominantemente pioneiras e secundárias iniciais, as quais crescem mais rapidamente e geram condições adequadas para sobrevivência das espécies dos estágios tardios.

Talvez o transplante direto de plântulas resgatadas para áreas rehabilitadas há mais tempo (entre 5 e 10 anos), e portanto, cuja vegetação florestal já tenha formado um dossel que propicie o sombreamento do solo, reduzindo a possibilidade de competição de plantas gramíneas e herbáceas nativas com os indivíduos transplantados, seja eficaz na indução e aceleração da sucessão ecológica. Outra forma de enriquecer áreas rehabilitadas há mais tempo seria a semeadura direta de espécies de estágios finais de sucessão no sub-bosque.

3.2.2. Resgate de epífitas

Concomitantemente ao desmate é realizado o resgate de epífitas (bromélias e orquídeas), as quais são imediatamente distribuídas nas formações florestais nativas do entorno (onde se sabe que não ocorre minério e também nas APPs – Áreas de Preservação Permanente), e em áreas em processo mais avançado de reabilitação. O processo é muito simples, sendo que estes indivíduos são amarrados nos troncos das árvores com barbante de algodão. Poucos meses após serem amarrados verifica-se grande número de raízes novas fixando o indivíduo ao tronco.

Estas plantas têm importância ecológica nas comunidades florestais, pois atuam na manutenção da diversidade biológica e no equilíbrio interativo, gerando recursos alimentares (frutos, néctar, pólen, água) e microambientes especializados para a fauna, ampliando a diversidade biológica local.

3.2.3. Uso de serapilheira

A retirada de serapilheira (previamente ao desmate) e espalhamento em áreas adjacentes em estágio inicial de reabilitação é outro trabalho cujos efeitos são altamente benéficos. O espalhamento é realizado através da separação do material mais fino (matéria orgânica decomposta, fração fina de solo e sementes), o qual é espalhado por todo o terreno, em uma camada com até 2 cm de espessura. Esta fina espessura é necessária, pois a germinação das sementes de pioneiras só ocorre normalmente no primeiro centímetro de camada. Em profundidades maiores a condição mínima de radiação (e temperatura) para que o processo germinativo inicie não é atingida, ficando a semente dormente, aumentando a chance de ser decomposta e perdida. A camada grosseira (constituída principalmente por raízes) é enleirada nos “pés” das mudas plantadas, formando uma coroa no entorno da muda, reduzindo a germinação e crescimento de potenciais plantas competidoras. Esta fração grosseira é espalhada também nos taludes mais declivosos minimizando efetivamente a erosão laminar.

3.2.4. Poleiros artificiais e chuva de sementes

Além do plantio de mudas de espécies florestais nativas, cujos frutos são atrativos para a fauna, pode-se ampliar o aporte de

propágulos do entorno por outros métodos, entre estes a confecção de nichos artificiais tais como tocas constituídas pelo amontoado de restos de madeira, e instalação de poleiros artificiais. Melo (1997) detectou que o aporte de sementes pode ser ampliado em 13 vezes com a instalação de poleiros para o pouso de aves. Isto porque os pássaros só defecam e eliminam as sementes provenientes da ingestão de frutos quando pousados.

O conceito de “chuva de sementes” vem sendo amplamente discutido por pesquisadores (Reis et al. 1999, Machado et al. 2006, Reis e Tres 2007). A idéia central deste conceito é a instalação de coletores de sementes, constituídos por uma estrutura de madeira e uma tela de sombrite (formando um “cocho”), ao longo da floresta, e de maneira espaçada para minimizar o impacto na dinâmica da comunidade. Mensalmente retira-se todo o material depositado no coletor e espalha-se manualmente em áreas próximas em processo de reabilitação, ou leva-se para o viveiro e espalha-se em sementeiras para germinação e posterior repicagem das plântulas para sacos individuais.

3.2.5. Adensamento de plantio

Esta metodologia inédita foi desenvolvida pelo corpo técnico da CGM como alternativa ao uso do “tapete verde”, consorciado ao plantio de mudas, devido aos problemas discutidos no item 3.1. Permite a eliminação completa do tapete verde, tendo como base a redução do espaçamento de plantio entre mudas. O espaçamento convencional de 3 x 2 m entre mudas, o qual é muito difundido em trabalhos de RAD e teve origem no setor de reflorestamentos comerciais de eucalipto, foi substituído pelo espaçamento irregular de 1,5 x 1,5 m, ampliando a densidade de plantio de 1.600 mudas/ha para aproximadamente 4.400 mudas/ha (Figura 1). Este adensamento foi fundamentado no que ocorre naturalmente quando da formação de clareiras em florestas nativas, cuja densidade nos primeiros anos é elevada, e posteriormente, através da competição entre os indivíduos, resulta na mortalidade de uns, enquanto os sobreviventes incorporam biomassa (processo ecológico denominado auto-desbaste ou self-thinning).

Este método amplia significativamente a diversidade florística nativa, permitindo que as sementes nativas contidas no topsoil germinem, assim como aquelas provenientes de dispersão natural, sendo a atividade de replantio eliminada, uma vez que a intenção é instalar um processo de sucessão natural (Figura 2). O custo com manutenção é reduzido, pois as espécies que germinam do topsoil são pouco agressivas, e, portanto, a capina (coroamento) das plantas competidoras vizinhas às mudas é eliminada, ficando a manutenção restrita à adubação de cobertura e ao controle manual de lianas (cipós).

4. CONCLUSÕES

As experiências vivenciadas pela CGM constituem importante fonte para reabilitação de florestas por outras empresas de mineração (e outros setores), permitindo a integração ecológica dessas áreas recuperadas à paisagem nativa. A experiência mostra que é importante o aproveitamento máximo dos recursos que uma área de floresta nativa, objeto de mineração, oferece como subsídio para recuperação ambiental posterior à lavra.

A minimização efetiva da perda de biodiversidade decorrente da supressão de florestas, através de práticas como resgate de plântulas e epífitas, uso imediato de serapilheira, menor tempo de estocagem do topsoil, uso exclusivo de espécies nativas (não introdução de espécies exóticas, incluindo o tradicional tapete verde), é fundamental ao sucesso do trabalho e aceleração da integração do reflorestamento à comunidade nativa original, existente no entorno da área diretamente afetada.

Cabe ressaltar que o modelo proposto foi implantado em minas de bauxita do Planalto de Poços de Caldas, sendo que cada atividade minerária possui características específicas, e, portanto, é fundamental a observação das características locais para a determinação de um modelo específico para cada situação de reabilitação.

5. BIBLIOGRAFIA

- ▶ CASTRO, C.C. A importância da fauna em projetos de restauração. In: Fundação Cargill (Coord.) Manejo florestal e restauração de áreas degradadas. São Paulo. 2007 p.57-75.
- ▶ GANDOLFI, S. & RODRIGUES, R.R. Metodologias de restauração florestal. In: Fundação Cargill (Coord.) Manejo florestal e restauração de áreas degradadas. São Paulo. 2007 p.109-143.
- ▶ IBAMA Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação. Brasília: IBAMA, 1990. 96 p.
- ▶ MACHADO, E.L.M.; GONZAGA, A.P.D.; MACEDO, R.L.G.; VENTURIN, N.; GOMES, J.E. Importância da avifauna em programas de recuperação de áreas degradadas. Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal, Garça, SP, v. 4, n. 7, p. 1-19, 2006.
- ▶ MARTINS, C.R., LEITE, L.L. & HARIDASAN, M. Capim-gordura (*Melinis minutiflora* p. beauv.), uma gramínea exótica que compromete a recuperação de áreas degradadas em unidades de conservação. Revista Árvore 28(5):739-747. 2004.
- ▶ MELO, V.A. Poleiros artificiais e dispersão de sementes por aves em uma área de reflorestamento, no Estado de Minas Gerais. Viçosa: UFV

(Dissertação – Mestrado em Ciências Florestais). 1997.

- ▶ NAVES, A.G. Banco de sementes autóctone e alóctone, resgate de plantas e plantio de vegetação nativa na fazenda Intermontes, município de Ribeirão Grande, SP. ESALQ/USP 219p. (tese de doutorado). 2005.
- ▶ REIS, A., ZAMBONIN, R.M. & NAKAZONO, E.M. Recuperação de áreas florestais degradadas utilizando a sucessão e as interações planta-animal. Série Cadernos da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. Caderno nº 14. CONSELHO NACIONAL DA RESERVA DA BIOSFERA DA MATA ATLÂNTICA 1999. 42 p.
- ▶ REIS, A. & TRES, D.R. Nucleação: integração das comunidades naturais com a paisagem. In: Fundação Cargill (Coord.) Manejo florestal e restauração de áreas degradadas. São Paulo. 2007. p.29-55.
- ▶ VAN DEN BERG, E., SILVA, A.C. & NUNES, M.H. Avaliação da recuperação da vegetação em área minerada para exploração de bauxita, na gleba do Retiro Branco, no Planalto de Poços de Caldas, MG. Relatório interno Companhia Geral de Minas. 2006.

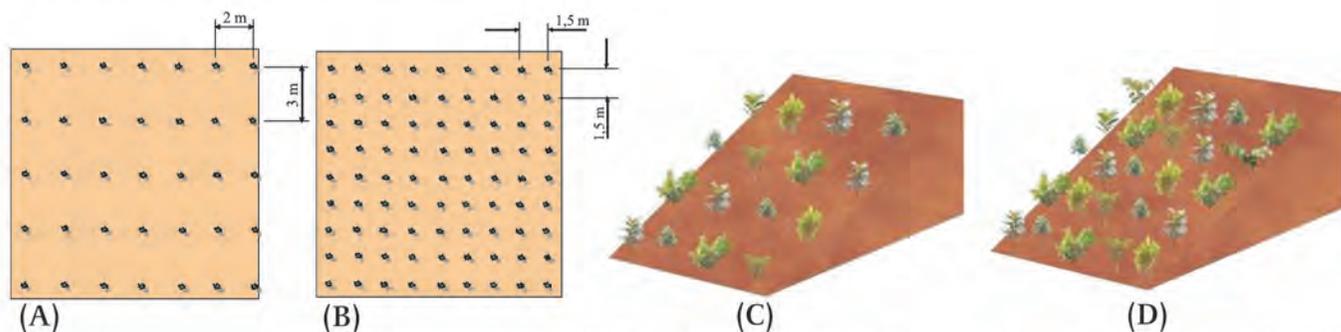


Figura 1: Planta esquemática (A e B) e perspectiva ilustrativa (C e D) da densidade de mudas do modelo convencional com 1.600 mudas/ha (A e C), e do adensamento 4.400 mudas/ha (B e D).

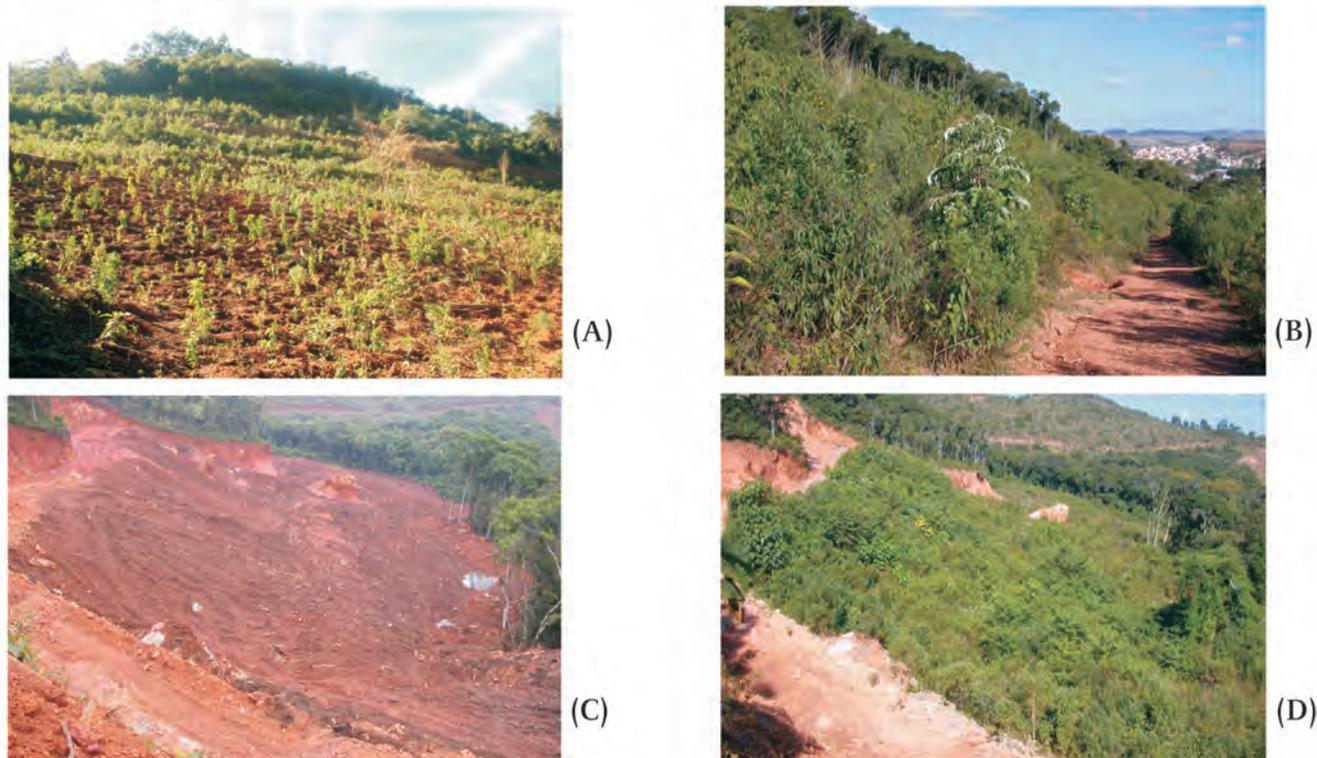


Figura 2 - Área minerada com 6 meses pós-plantio (A) e 17 meses (B), onde foram aplicados em conjunto: plantio adensado, espalhamento de serapilheira e instalação de poleiros artificiais. Outra área onde foi realizado o plantio adensado, sendo que 30% das mudas (de 63 espécies) foram formadas a partir do resgate de plântulas realizado no mesmo local antes do desmate (C), em novembro de 2006 após a remoldagem e devolução do topsoil (material mais escuro); (D) em maio de 2008, 17 meses após a implantação da reabilitação.

Recuperação de áreas poluídas por atividades pecuárias

Eduardo Teixeira da Silva¹
Claudio de Souza Magalhães²
Caroline Teixeira Marçal³
Luiz Angelo Pasqualin⁴
Rafael de Geus Alves⁵

Resumo - Informações a produtores e pessoas ligadas a atividades agropecuárias sobre o manejo de dejetos de forma ambientalmente recomendável e legal, bem como o processamento e o uso adequado de dejetos, de efluentes de confinamentos de atividades pecuárias, respeitando a legislação ambiental. Proprietários rurais, produtores e operadores são responsáveis pela obtenção de licenciamento ambiental para o desenvolvimento de atividades rurais poluidoras, bem como obrigados a operar a produção, dentro de normas e regulamentações legais existentes.

Palavras-chave: Área degradada. Impacto Ambiental. Pecuária.

INTRODUÇÃO

No Brasil, grandes expectativas e novas perspectivas surgem para o setor de produção animal, notadamente para bovinocultura, suinocultura e avicultura. O fato vem ocorrendo tanto pelo aumento do consumo interno, como do externo, sendo o atual momento vivido com euforia e grande expectativa em relação ao aumento das exportações para Europa, consequência de problemas lá ocorridos, com doenças como vaca louca, febre aftosa e pressões populares que se formaram por décadas de manejo inadequado dos dejetos.

Porém, deve-se considerar na expansão do processo produtivo o impacto am-

biental gerado pela produção, no que diz respeito à geração de resíduos (líquidos, sólidos e gasosos) nas propriedades rurais, com potencial poluidor aos sistemas ar, solo e água, principalmente quando o sistema de produção for intensivo.

A inter-relação da produção animal x geração de resíduos x qualidade ambiental x saúde determina que resíduos gerados devam ser reutilizados, reciclados, tratados e dispostos adequadamente, conforme normas e legislação pertinentes, sob pena de ter inviabilizado atividades pecuárias com base em sistemas confinados ou intensivos, a exemplo do que já ocorreu em países europeus.

O lançamento de dejetos animais não tratados ou quando manejados de forma

imprópria no solo, rios, lagos e açudes constitui riscos potenciais para o aparecimento ou recrudescimento de doenças (verminoses, alergias, hepatites, hipertensão, câncer de estômagos, etc.) desconforto na população (proliferação de moscas, borrachudos, mau cheiros, etc.) e a degradação dos recursos naturais (mortes de peixes e animais, toxicidade em plantas, comprometimento de recursos hídricos) (PERDOMO, 2000). Considerando que a interação do homem com o meio ambiente é o que determina a qualidade de vida, torna-se necessário que os produtores e demais envolvidos com a produção animal devam tomar consciência da gravidade dos fatos e passem a adotar medidas de controle para a proteção e con-

¹Eng^o Agrícola, D.Sc., Prof. UFPR - Setor Ciências Agrárias - Dep^o Solos e Engenharia Agrícola, R. dos Funcionários, 1540 - Cabral, CEP 80035-050 Curitiba-PR. Correio eletrônico: eduardo@agrarias.ufpr.br

²Eng^o Agrícola, Especialista em Engenharia do Saneamento Ambiental, IBAMA- Escritório Regional, R. Pedro Salles, 371, CEP 37200-000 Lavras- MG. Correio eletrônico: magalhaes.patropi@gmail.com

³Eng^a Agr^a, Mestranda em Ciências do Solo, UFPR - Setor Ciências Agrárias - Dep^o Solos e Engenharia Agrícola, R. dos Funcionários, 1540 - Cabral, CEP 80035-050 Curitiba-PR. Correio eletrônico: carol_tmarcal@hotmail.com

⁴Eng^o Agr^o, Mestrando em Ciências do Solo, UFPR - Setor Ciências Agrárias - Dep^o Solos e Engenharia Agrícola, R. dos Funcionários, 1540 - Cabral, CEP 80035-050 Curitiba-PR. Correio eletrônico: luizpasqualin@hotmail.com

⁵Eng^o Agr^o, Mestrando em Ciências do Solo, UFPR - Setor Ciências Agrárias - Dep^o Solos e Engenharia Agrícola, R. dos Funcionários, 1540 - Cabral, CEP 80035-050 Curitiba-PR. Correio eletrônico: de_geus@bol.com.br

servação da água, do solo e do ar. Destaca-se que os problemas se tornam ainda mais graves, à medida que aumentam as densidades de estocagem dos animais e/ou as densidades populacionais em determinadas regiões; estas populações precisam ser abastecidas, dentre outras, por água de boa qualidade, aumentando a responsabilidade dos produtores.

O aproveitamento dos resíduos gerados das atividades agropecuárias é parte de um processo de recuperação e reciclagem. Várias são as formas de transformação e aproveitamento desses resíduos, podendo constituir compostos orgânicos, que substituam parcialmente ou de forma integral a adubação mineral convencional, como também na recuperação de áreas degradadas (desmatadas e de solos exauridos) e ainda serem utilizados em reatores biológicos para a produção de biogás e biofertilizante, como fontes de energia e nutrientes. A aplicação de biofertilizantes e/ou compostos no solo aumenta o teor de matéria orgânica (MO), o conteúdo de micro e macronutrientes, a porosidade, a retenção e a capacidade de aeração. Podem ser utilizados em diferentes atividades agrícolas e florestais, como por exemplo: na produção de alimentos e vegetais, em vasos de plantas ornamentais e medicinais, em produção de mudas, em cobertura de talude de estradas, em áreas de recreação (parques, gramados, campos de futebol, etc.) e até mesmo em recobrimento de aterros sanitários. Entretanto cabe, ao produtor e às autoridades, verificar se o uso desses resíduos atende aos critérios da legislação e da segurança ambiental.

SITUAÇÃO BRASILEIRA E TENDÊNCIAS DAS ATIVIDADES PECUÁRIAS

Suinocultura

No Brasil, estima-se que 400 mil pessoas dependam diretamente da cadeia produtiva da suinocultura que tem, atualmente, um plantel de 34 milhões de cabeças. O valor

da cadeia produtiva da suinocultura brasileira é estimado em 1,8 bilhão de dólares. Em 1970, o plantel era de 31,5 milhões de cabeças e a produção de 705 mil toneladas. Em 2006, com 32 milhões de cabeças, a produção aumentou para 2,825 milhões de toneladas. Portanto, em 36 anos o crescimento do plantel foi de apenas 1,6%, enquanto a produção aumentou 300%. Esses números exemplificam claramente a evolução tecnológica do setor nesse período, graças a um forte trabalho dos técnicos e criadores nas áreas de genética, nutrição e manejo.

O rebanho brasileiro é formado atualmente por 2,428 milhões de matrizes. Deste total, 1,514 milhão são considerados “fêmeas tecnificadas” criadas nas Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do País. O restante, 0,914 milhão, é de matrizes “não tecnificadas”, e a maioria é criada nas Regiões Norte e Nordeste. As principais raças genéticas fornecedoras de matrizes no Brasil são a AGROCERES-PIC, Dalland, Dan Bred, Pen Ar Lan e Genetic Pork. Os dados referente às porcentagens de matrizes por Região estão no Quadro 1.

A exemplo de outras atividades pecuárias que se baseiam na comercialização internacional, a suinocultura pode passar períodos de maior ou menor aquecimento (SILVA, 2004), sendo que geralmente períodos de preços baixos fazem com que produtores abandonem a atividade, reduzindo a oferta e iniciando novo ciclo de

aumento de preços, o que novamente faz aumentar os plantéis (CRIVELLARO, 2005). Esses criadores ocasionais desenvolvem dois tipos de problema, o de ordem econômica e o de ordem ambiental, uma vez que não estão preparados para o manejo de resíduos.

No Quadro 2, pode-se verificar a produção de carne suína por região geográfica, expressa em milhões de toneladas produzidas. Como se observa, a Região Sul detém 58% da produção do País. É a região onde predomina o sistema de integração e o forte parque industrial das agroindústrias. A Região Sudeste, onde predomina o suinocultor independente, tem uma participação de 17,7%. A Região Centro-Oeste, considerada a nova fronteira de produção de carnes e grãos no Brasil, continua sua expansão e participa atualmente com 14%.

Bovinocultura

A bovinocultura brasileira possui dois segmentos distintos:

- bovinocultura de corte: onde existem dois sistemas de criação dos animais, o extensivo, no qual os animais são criados a pasto e, portanto, não se tem controle no manejo do dejetado gerado, e o intensivo, onde os animais são criados em confinamento e o dejetado gerado é totalmente recuperado;

QUADRO 1 - Matrizes alojadas por região - 2006 (milhões de cabeças)

Região	Rebanho (%)	
	Tecnificada	Não tecnificada
Sul	59,2	9,9
Sudeste	20,0	6,5
Centro-Oeste	11,0	14,0
Norte e Nordeste	9,8	69,6
Brasil	100,0	100,0

FONTE: ABIPECS (2007).

QUADRO 2 - Evolução da produção de carne suína por região geográfica – no período 2002-2006 (milhões de toneladas)

Região	2002	2006	Variação (%)
Sul	1.686,9	1.655,9	-1,8
Sudeste	561,7	502,6	-10,5
Centro-Oeste	385,6	399,5	+3,6
Norte e Nordeste	277,7	271,8	-2,1
Brasil	2.872,0	2.829,8	-1,4

FONTE: ABIPECS (2007).

b) bovinocultura leiteira: onde a geração de resíduo advém principalmente do esterco recolhido na sala de ordenha e esterco mais cama dos estábulos, quando o gado é manejado em instalações do tipo *free stall* (baias de descanso individual com livre acesso).

O manejo do esterco pode ser feito na forma líquida, semi-sólida e sólida. Se o regime de confinamento é total e a opção é por esterco líquido, todos os dejetos serão coletados.

Pode citar-se ainda um novo conceito de criação, que vem sendo empregado de forma incipiente: a integração lavoura-pecuária, priorizando a utilização de áreas para o gado durante o inverno e para a lavoura durante o verão, de maneira que se aproveitem a adubação e o esterco deixados na área, contribuindo para a preservação e conservação das áreas de pastagens.

Bovinicultura de corte

O processo competitivo entre cadeias e a evolução tecnológica na criação de bovinos de corte estão produzindo uma melhora na qualidade da carne no Brasil (SOUZA; BOOCK, 2006). Este novo cenário aponta outra expectativa importante para o setor que é o aumento da participação no cenário de consumo mundial. Projeções internacionais sinalizam para, em futuro próximo, consolidar o País

como o principal fornecedor de carne bovina. Tal projeção não está calcada na condição de maior rebanho do mundo, mas sim na rápida e contínua evolução do modelo produtivo, do uso intenso de novas tecnologias e nas condições favoráveis existentes para essa exploração no País. No entanto, é necessário destacar a presença e uma coexistência entre os modelos de negócio da bovinocultura e o sistema produtivo tradicional com ramificações em pontos do agronegócio pouco estruturados e competitivos. Esta coexistência acarreta um diagnóstico do setor, ainda negativo, com problemas estruturais a serem superados a curto prazo nas áreas de genética, nutrição, manejo sanitário, processos agroindustriais, ação governamental nas ações de *marketing* segmentado do produto, entre outros. Um dos fatores que prejudicam a avaliação do desempenho da bovinocultura de corte é a falta de organização de suas informações, fato este que impossibilita obter dados de desenvolvimento e importância.

O Brasil possui o segundo maior rebanho mundial, sendo superado pela Índia, mas esse país não utiliza a pecuária bovina para fins comerciais. Com o maior rebanho comercial do mundo, o Brasil é o maior exportador de carne em toneladas, entretanto, ainda possui taxas produtivas (abate, produção de bezerros) abaixo dos seus maiores concorrentes. A Austrália é o maior exportador mundial em valor. Na última década, os Estados Unidos, União Euro-

péia, Austrália e Índia apresentaram estabilidade da produção mundial de carne bovina e até mesmo queda em certos anos, isto acontece também com o volume de exportação. Sendo assim, o Brasil tem como manter sua hegemonia na exportação de carne bovina, por ter vantagens com relação à expansão horizontal, ao crescimento em terras não exploradas e à expansão vertical, incremento da produtividade (melhora na taxa de desmama, de abate e precocidade do rebanho). Para isso, tem que melhorar os aspectos de segurança sanitária e certificação de qualidade de origem (rastreadibilidade) do rebanho, que podem colocar em risco todo o trabalho conquistado até agora.

Fica então a questão: a alta tecnologia empregada para o aumento da produção deve ser acompanhada de novas técnicas para manejo e disposição dos resíduos gerados.

O potencial de impacto ambiental passa a ser de alto risco com a tendência de grandes explorações com alta produtividade e elevada concentração de animais, resultando em uma produção de dejetos de elevadas proporções pontuais. Nos EUA, as fazendas, de maneira geral, já são a principal fonte de poluição dos recursos hídricos, ultrapassando indústrias como refinarias, produtos químicos, frigoríficos, etc. Também na Europa o crescimento dos complexos agropecuários de carne, leite e aves tem causado graves problemas ambientais principalmente nos países densamente povoados (POHLMANN, 2000).

O rebanho bovino brasileiro por região e o total de animais no final de 2006 podem ser observados no Quadro 3.

Bovinicultura leiteira

A tendência do mercado da bovinocultura leiteira, a exemplo de outros setores econômicos, busca aumentar seus lucros e diminuir suas despesas pela economia de escala, diluindo os custos fixos e maximizando o uso da mão-de-obra. Grandes empresas estão controlando fatias maiores

QUADRO 3 - Rebanho bovino brasileiro - efetivo por região (cabeça)

Região	2004	2005	2006
Norte	27.206.014	27.966.692	28.933.700
Nordeste	23.151.607	23.414.881	23.755.895
Sudeste	34.764.861	33.909.891	33.462.337
Sul	22.365.255	21.233.230	21.128.139
Centro-Oeste	57.150.522	57.374.439	57.663.443
Brasil	164.638.260	163.899.133	164.943.515

FONTE: Dados básicos: Anualpec (2007).

de mercado, nos setores de distribuição, processamento e captação. Dessa forma, a concentração de grandes plantéis nos leva aos problemas de ordem ambiental relacionados com os recursos solo e água, principalmente.

Avicultura

A exemplo do ocorrido com a suinocultura, a avicultura passou por profundas transformações desde meados da década de 1980. Os sistemas de integração, com base na transferência de tecnologia por parte de grandes empresas aos produtores, mudaram o cenário familiar da atividade, criando verdadeiras linhas de série de produção.

De março de 2005 a fevereiro de 2006, produziram-se no Brasil perto de 9,550 milhões de toneladas de carne de frango, volume 12% superior ao registrado nos 12 meses imediatamente anteriores (Quadro 4).

INTERAÇÃO DOS COMPONENTES AMBIENTAIS

A produção animal moderna deve ser encarada como um processo de transformação biológica, que apresenta como principais entradas, além dos animais, o alimento, a água, o ar de ventilação e, em muitas situações, a energia para equipamentos e o controle climático. Os fatores de saída são: animais, ovos, leite, lã, ar de ventilação, odores e os dejetos. Especial-

mente os três últimos afetam de forma mais direta e adversamente o ambiente.

É necessário que, sobre estes sistemas, só se desenvolvam atividades que não ultrapassem a capacidade de suporte. Como receptor de efluentes, deve-se levar em conta a capacidade de assimilação do meio ambiente (capacidade de dispersão

atmosférica, capacidade de autodepuração da água, capacidade de filtração do solo, etc.). A emissão de efluentes de determinada atividade deverá sempre ser inferior à capacidade de assimilação do meio ambiente. Em função dessas considerações, torna-se fundamental na avaliação de sistemas de manejo de dejetos já implantados e no planejamento de novos sistemas a observação das premissas apresentadas na Figura 1.

No planejamento das atividades agropecuárias, devem ser considerados principalmente os aspectos relativos ao destino racional dos efluentes que são gerados no empreendimento. Deve-se salientar que a geração de efluentes é bastante variável nas explorações de algumas espécies, dependendo principalmente dos manejos animais, dos alimentos, e também do sanitário, ao passo que, em outras atividades, como avicultura de corte, a geração de resíduos acontece de forma mais homogênea,

QUADRO 4 - Produção mensal de frangos no Brasil

Meses	Produção de carne de frango em 24 meses (1.000 t)		
	2004/2005	2005/2006	Variação anual (%)
Março	691,1	750,6	8,61
Abril	686,4	739,5	7,74
Mai	700,8	763,7	8,89
Junho	676,5	755,3	11,65
Julho	720,1	797,4	10,73
Agosto	695,7	803,9	15,56
Setembro	694,5	786,3	13,22
Outubro	729,1	830,0	13,84
Novembro	720,5	827,1	14,79
Dezembro	788,7	883,6	12,03
Janeiro	762,8	856,8	15,35
Fevereiro	667,8	883,6	13,11
Em 12 meses	8.514,0	9.549,6	12,16
Em 2 meses	1.410,6	1.612,12	14,29

FONTE: AviSite (2006).

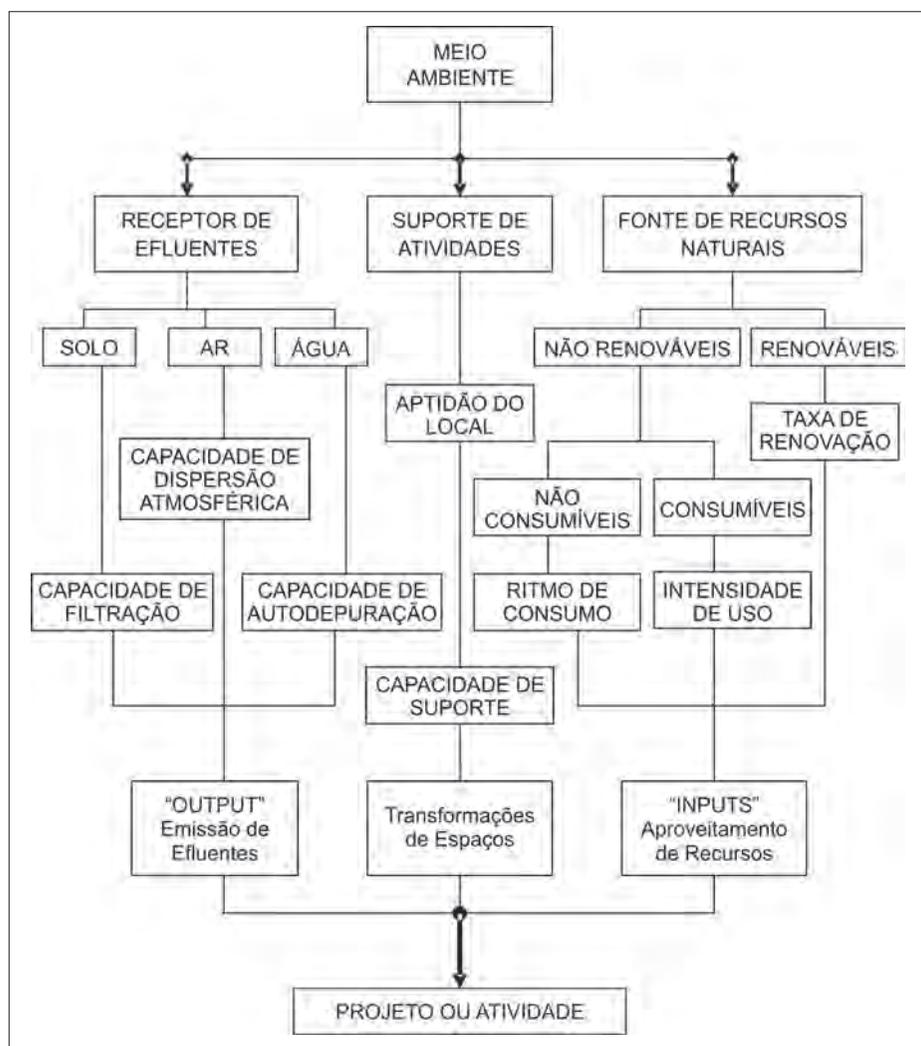


Figura 1 - Interação Projeto - atividade com o meio ambiente

FONTE: Dados básicos: Lucas Junior (1996).

uma vez que os diversos manejos são mais padronizados.

Como regra geral, os proprietários rurais, produtores e operadores são responsáveis pela obtenção de licenciamento ambiental para o desenvolvimento de atividades rurais poluidoras, bem como obrigados a operar a produção, dentro de normas e regulamentações legais existentes. Para assegurar que a produção ocorra dentro das melhores práticas de manejo, está previsto na Constituição Federal (BRASIL, 1988; CONFERÊNCIA..., 1997), que o Estado, por meio das agências ambientais federais, estaduais e municipais, deverá manter pessoal capacitado e conduzir ações de pesquisa, monitoramento,

análise de variáveis para avaliação das condições físicas, químicas e bacteriológicas do ar, do solo e da água. E ainda suprir informação, educação e assistência técnica aos produtores, para monitorar práticas que minimizem riscos de degradação ambiental.

RISCOS DE POLUIÇÃO AMBIENTAL E ALTERNATIVAS

Suinocultura

Segundo Loures (1998), a suinocultura tem como característica a ocupação de pequenas áreas com elevada concentração de animais, tendo, como consequência, um volume significativo de dejetos. A quan-

tidade produzida por dia, por animal adulto, corresponde, aproximadamente, à quantidade produzida por seis a oito pessoas. Portanto, uma criação com mil matrizes, com todas as suas etapas de produção, pode apresentar uma população de dez mil cabeças, considerando o potencial poluidor dos dejetos e o volume gerado por dia, o que equivaleria a uma cidade entre 60 e 80 mil habitantes.

Todo criador deve possuir um programa racional para controle de dejetos (PERDOMO, 2000), a fim de evitar problemas ambientais. Várias pesquisas do reúso desses dejetos estão sendo conduzidas, devendo produtores e técnicos avaliarem quais possibilidades são mais atrativas a sua situação. Ceretta et al. (2005) avaliaram a aplicação do dejetos líquido em Plantio Direto, trazendo nutriente às culturas. Porém, suas pesquisas também apontam que a dose e o sistema de conservação do solo devem ser constantemente observados, sob risco de contaminação das águas por escoamento superficial, ocasionando problemas de eutrofização por perdas de nitrogênio e fósforo.

Belli Filho et al. (2001) estudaram as criações intensivas localizadas no estado de Santa Catarina e apontam que apenas 15% das propriedades possuem metodologias para tratamento e manejo dos dejetos. Porém, grande parte destas metodologias não é aplicada ou construída de forma adequada. Neste estudo, várias tecnologias são avaliadas do ponto de vista do controle da poluição: criação de suínos sob camas biológicas, tratamento de dejetos em lagoas, tratamento em reatores anaeróbicos, armazenamento em esterqueiras e bioesterqueiras. Conclui que todos os métodos apresentam aspectos positivos e negativos, porém todos com resultados motivadores.

Outro ponto a ser revisto dentro do manejo de suínos é o uso da água, quando em excesso ocasiona diluição e aumento do volume de efluentes, dificultando as ações de tratamento.

Ainda sob o ponto de vista da qualidade e periculosidade desses resíduos, a

contaminação biológica deve ser considerada, uma vez que estes resíduos não devem conter patógenos após o tratamento.

Ao elaborar-se um programa para tratamento ou reaproveitamento de resíduos deve-se ter em mente: produção, coleta, armazenagem, tratamento, distribuição e utilização dos dejetos na forma sólida, pastosa ou líquida. O conhecimento de cada etapa é fundamental para o sucesso e a sustentabilidade do sistema.

Interesses imediatistas ou avaliações precipitadas podem trazer sérias consequências para a população como foi relatado por Seganfredo (2000b), ainda no início da década de 1980, foi vetada pelo governador de Wisconsin-EUA a divulgação do impacto dos dejetos animais na qualidade da água, com o argumento de que o fato causaria negatividade ao título da região do gado leiteiro dos EUA, colocado nas placas dos veículos daquele Estado. Tal atitude impediu que fossem tomadas medidas preventivas e educacionais, de maneira que, anos mais tarde, o problema tornou-se crítico, com parte significativa da população de algumas regiões tendo que ferver a água para consumo ou adquiri-la engarrafada, fora os casos de óbitos, doenças e os altos custos para recuperação dos danos resultantes.

Usar os dejetos como adubo no solo, apesar de parecer a maneira mais fácil de resolver o problema, não é a única solução e nem a final (SEGANFREDO, 2000a). A maneira como está sendo feita a adubação do solo com os dejetos de suínos ainda é potencialmente poluidora, porque as plantas não conseguem retirar todos os nutrientes disponibilizados pelos dejetos.

A única forma de evitar o desequilíbrio do solo, segundo Seganfredo (2000b), e os danos ambientais advindos do excesso de nutrientes provenientes dos dejetos aplicados por longos períodos, é limitar as quantidades aplicadas às quantidades extraídas pelas plantas. Os nutrientes não supridos integralmente via dejetos poderão ser complementados por meio de ferti-

zantes químicos isentos, ou com mínima quantidade de outros elementos contidos na condição de impurezas. Isto é especialmente válido para o cádmio, cromo, arsênio, níquel, chumbo e mercúrio. Quando em excesso, esses elementos são tão prejudiciais ao ambiente, que vários países já estabeleceram legislação específica para limitar o seu acúmulo no solo (Quadro 5). Informações recentes dão conta de que a União Européia deverá adotar limites ainda mais rígidos, o que poderá ocorrer também com os EUA.

Avicultura

Práticas adequadas de manejo dos resíduos são essenciais para que a indústria avícola cresça e desenvolva-se dentro das condições ambientais estabelecidas na legislação ambiental. Resíduos de aviários,

segundo Seiffert (2000), apresentam o potencial de ser tanto um recurso como um poluente. Quando adequadamente usados apresentam riscos ambientais mínimos, quando imprópriamente manipulados, no entanto, podem degradar o ambiente e causar dificuldades para a condução da atividade junto à comunidade e para a imagem dos criadores. Os poluentes potenciais encontrados em esterco de aves que podem alcançar os corpos d'água são nutrientes minerais, substâncias que demandam oxigênio, materiais em suspensão e patógenos.

Amaral et al. (2000), ao avaliarem a redução de microrganismos indicadores de contaminação fecal por meio do processo de biodigestão anaeróbica de dejetos de aves de postura em biodigestores contínuos, obtiveram uma redução acima de

QUADRO 5 - Limites máximos permitidos de metais no solo na União Européia, em alguns países europeus e nos EUA

País	Metal (mg/kg de solo)						
	Cd	Cu	Cr	Ni	Pb	Zn	Hg
União Européia	1-3	50-140	-	30-70	50-300	150-300	1-1,5
França	2	100	150	50	100	300	1
⁽¹⁾ Alemanha	1,5	60	100	50	100	200	1
Itália	3	100	150	50	100	300	-
Espanha	1	50	100	30	50	150	1
⁽²⁾ Holanda							
valor de referência	0,8	36	100	35	85	140	0,3
exige recuperação	12	190	380	210	530	720	10
⁽³⁾ Inglaterra	3	135	-	75	300	300	1
Dinamarca	0,5	40	30	15	40	100	0,5
Finlândia	0,5	100	200	60	60	150	0,2
Noruega	1	50	100	30	50	150	1
⁽⁴⁾ Suécia	0,5	40	30	15	40	100	0,5
EUA	20	750	1500	210	150	1400	8

FONTE: McGrath et al. (1994 apud SEGANFREDO, 2000b).

(1)Para pH maior que 6,0. Para pH entre 5,0 e 6,0, os limites de Cd e Zn são de 1,0 e 150 mg/kg, respectivamente. (2)Para solos que não receberam lodo de esgoto. (3)Para pH entre 6,0 e 7,0.

(4)Proposta preliminar.

99% para os coliformes totais e fecais, mostrando a eficiência do processo. Este resultado mostra que o processo de biodigestão anaeróbia melhora a qualidade microbiológica do estrume, constituindo uma medida preventiva importante para se preservar a qualidade do solo e dos mananciais de água, quando da sua aplicação como biofertilizante.

Outros estudos vêm sendo realizados objetivando-se a geração de biogás e energia elétrica a partir da cama de frango. Santos (1998) encontrou bons resultados na geração de biogás, sendo uma alternativa energética para galpões de frango de corte, demonstrando que o resíduo da avicultura é uma importante forma de biomassa, podendo ser utilizado como fonte primária para geração de energia elétrica.

Bovinocultura

De forma análoga a outras criações intensivas, a bovinocultura gera resíduos com potencial poluidor e passível de reaproveitamento. Porém, ao se elaborar uma estratégia neste tipo de criação, deve-se ter em mente que a forma extensiva torna a poluição difusa, enquanto que os confinamentos e criações de vacas de leite tornam a poluição pontual, o que acarreta maior perigo e, ao mesmo tempo, maior facilidade no controle.

Na bovinocultura leiteira, além dos resíduos gerados pelos animais, existem aqueles advindos da retirada e/ou processamento de leite. De acordo com Vitko (1999), a água residuária é gerada durante a higienização dos animais, da limpeza dos equipamentos de ordenha e do armazenamento do leite.

POHLMANN (2000) aponta a falta de critérios técnicos para aplicação dos dejetos no campo para melhor aproveitamento de suas propriedades físico-químicas. Por falta de análises, não sabe se as quantidades aplicadas atendem às necessidades das culturas ou se estão sendo aplicadas em excesso, sendo mais provável a primeira opção. A introdução do conceito de reciclagem dos nutrientes parece ser uma

boa alternativa para otimizar os benefícios da aplicação dos dejetos no campo.

ESTRATÉGIAS PARA REDUÇÃO DA POLUIÇÃO

As estratégias para redução da poluição em consequência das atividades agrícolas devem ter como meta a redução do deflúvio superficial, a redução do uso de agroquímicos e o manejo adequado dos efluentes produzidos pelos sistemas de criação de animais em confinamento, segundo Merten e Minella (2002). As práticas relacionadas com a redução do deflúvio superficial baseiam-se na melhoria da qualidade da estrutura do solo e, conseqüentemente, na qualidade do sistema poroso. Isso possibilita que as taxas de infiltração mantenham-se elevadas e, com isso, o volume escoado é reduzido. Uma vez formado o deflúvio superficial, é possível reduzir sua potência hidráulica por meio da construção de barreiras físicas que cortam a direção do fluxo do deflúvio pela implantação de terraços ou cordões vegetados. Além do controle do deflúvio por práticas de manejo, é importante ficar atento ao manejo da zona ripária (a faixa de vegetação próxima aos rios), uma vez que o manejo dessa zona é extremamente importante para reduzir a carga poluente que é introduzida para os corpos d'água por meio do deflúvio superficial. Para cumprir essa função é necessária a manutenção ou recomposição da Mata Ciliar e o estabelecimento de uma faixa de vegetação densa junto a ela para servir de filtro dos poluentes transportados pelo deflúvio. O manejo dos dejetos proveniente de confinamentos torna-se fundamental para o planejamento e implantação de sistemas de confinamento (bovinos, suínos, ovinos, aves).

Matos et al. (1997) avaliaram os efeitos da aplicação direta de dejetos líquidos de suínos sobre algumas características químicas e biológicas de um solo Podzólico Vermelho-Amarelo, a capacidade de remoção de nutrientes e o crescimento de plantas daninhas, foram aplicadas as doses de

0, 50, 100, 150 e 200 m³/ha. O dejetos líquido foi aplicado, superficialmente, em solo arado, sem incorporação. A quantificação da biomassa microbiana foi realizada, semanalmente, em amostras de solo retiradas a 5 cm de profundidade, e o N total e os teores trocáveis de K, Na, Cu e Zn foram determinados em amostras retiradas a 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, e 40-50 cm de profundidade, dois meses após a aplicação do dejetos. A aplicação de dejetos líquido de suínos em doses inferiores a 800 kg/ha de N não proporcionou acúmulo de sais no solo, em razão do aumento da absorção desses nutrientes pelas plantas daninhas. A mobilidade do nitrogênio, potássio e sódio no perfil do solo foi baixa no período experimental, não tendo sido encontrado aumento de suas concentrações com a elevação da profundidade do solo em quaisquer das doses de dejetos líquidos aplicados. A concentração de cobre e zinco trocáveis no solo não foi aumentada com a aplicação do dejetos. A adição do dejetos provocou rápido aumento da população de microrganismos do solo, seguido de decréscimo gradual. A sobrevivência de bactérias do grupo coliformes no solo foi inferior a duas semanas. A aplicação nas doses utilizadas, em solos de baixa condutividade hidráulica e mantidos com uma vegetação em pleno crescimento, pode ser importante opção de destinação dos dejetos de suínos em países de clima tropical, posto que demonstrou ser de pequeno impacto ambiental.

A aplicação de dejetos líquidos de suínos pode resultar em perdas de elementos, principalmente nitrogênio e fósforo, resultando em menor eficiência de utilização pelas plantas e aumentando os riscos de contaminação da água. Basso et al. (2005) avaliaram a percolação de nitrogênio e fósforo em área submetida a aplicações sistemáticas de dejetos líquidos de suínos. O trabalho foi desenvolvido na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS, no período de maio de 2000 a maio de 2002, em Argissolo Vermelho distrófico arênico, com rotação aveia-preta

(*Avena strigosa*), milho (*Zea mays*) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) e com a utilização das doses de 0, 20, 40 e 80 m³/ha de dejetos líquidos de suínos, distribuídas a lanco e em superfície antes da semeadura de cada espécie. Com o aumento da dose de dejetos ocorre incremento nas concentrações de nitrato na água percolada, principalmente logo após a aplicação, que coincide com estádios iniciais de desenvolvimento das culturas. Por outro lado, não se percebe efeito expressivo da dose de dejetos sobre as concentrações de fósforo disponível na água percolada. As perdas de nitrogênio e fósforo, em kg/ha, são pouco expressivas em relação às quantidades adicionadas, mas as concentrações de N-NO na água percolada nos maiores picos de perda estiveram acima do limite tolerável à qualidade da água.

Queiroz et al. (2004) avaliaram o efeito da aplicação intensiva de esterco líquido de suínos (ELS), pelo método do escoamento superficial, nas características químicas de um solo Podzólico Vermelho-Amarelo cultivado com quatro espécies forrageiras: quicuío-da-Amazônia (*Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick), braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf), *coast-cross* (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) e *tifton 85* (*Cynodon* spp.). O ELS foi aplicado em parcelas de 4 m² e com 5% de declividade, durante 4 meses, na taxa média equivalente a 800 kg/ha/d de demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅). Para caracterização química, amostras de solo foram coletadas à profundidade de 0-0,20 m, antes de iniciar o experimento e após o término dele. A aplicação de ELS proporcionou acúmulo de P, K, Na e Zn no solo, enquanto as concentrações de Mg e Cu diminuíram e a de Ca manteve-se inalterada. Houve aumento na acidez, na soma de bases, na capacidade de troca catiônica (CTC) e redução na saturação por bases. Devido ao acúmulo de nutrientes, recomenda-se monitoramento das características químicas do solo, ao longo de seu perfil e das águas subterrâneas, para que se avaliem riscos

de contaminação ambiental. Os nutrientes P, K, Na e Zn aplicados com o esterco líquido de suínos, acumularam no solo, na profundidade de 0-0,20 m, sendo recomendável um monitoramento das características químicas do solo, ao longo de seu perfil e das águas subterrâneas, para que se avaliem riscos de contaminação ambiental. O solo que recebeu esterco líquido de suínos teve aumento na soma de bases, CTC e alumínio trocável e decréscimo do pH e da saturação por bases.

Tamanini (2004) avaliou a eficiência do uso de altas doses de biossólido (0, 60, 120, 240 Mg/ha) na recuperação imediata de um área de empréstimo. O experimento foi instalado no aeroporto internacional de Curitiba. Teve como estudo um substrato com elevada acidez e poder tampão. O biossólido foi proveniente da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) - Belém, obtido por tratamento aeróbio de aeração prolongada e caleado com 10% a 20% de cal, o qual apresentou baixos níveis de metais pesados. Foi aplicado e incorporado ao substrato, onde posteriormente foi cultivado milho (*Pennisetum americanum*). Também utilizou-se um tratamento adicional, onde se aplicaram corretivo e adubo mineral suficientes para a necessidade da cultura. A produtividade, a nutrição da forrageira de verão e as características químicas do solo (conteúdo de metais pesados e parâmetros relacionados com a fertilidade do solo) foram utilizadas como indicadores da recuperação da área. A aplicação de biossólido atuou como corretivo da acidez do solo e elevação da saturação por base. O teor de matéria orgânica e P disponível foi diretamente proporcional à dose aplicada, passando de 21 para 43,5 g/dm³ e 4,4 para 156 mg/dm³, na testemunha e maior dose, respectivamente. O K trocável apresentou redução não significativa com a aplicação de biossólido, provavelmente pela alta capacidade de fixação de K pelo substrato. Dos metais pesados analisados, o Zn total no solo foi o único que apresentou aumento significativo. Porém, manteve-se abaixo dos

teores propostos pela Instrução Normativa – Instituto Ambiental do Paraná, legislação esta bastante restritiva. Grande aumento na produção de milho foi constatado. Houve acréscimos de 2, 12, 11 e 11 vezes na produção de matéria seca com uso de adubação mineral e aplicação de 60, 120 e 240 mg/ha (base seca) biossólido, respectivamente. Com exceção do P, não foi observada grande variação no teor foliar (K, Ca, Mg, Na, Cu, Fe), contudo, as quantidades extraídas pela planta aumentaram.

Para avaliar o lodo de esgoto alcalinizado (LEA), Chueiri et al. (2007) como complemento da adubação mineral instalou-se, em junho de 1997, um experimento em vasos com a cultura do trigo, cultivar BR 35, em casa de vegetação no Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná (UFPR), em Curitiba, PR, no qual se empregou o fatorial 5 x 5, combinando 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da adubação mineral recomendada para a cultura, com 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10,0 mg/ha do LEA em base seca. O LEA, aplicado ao solo vinte dias antes da semeadura e adubação mineral do trigo, elevou o pH acima da neutralidade. A saturação por bases, CTC e teores de P, K, Ca, Cu e Zn aumentaram, enquanto o Mn e H+Al diminuíram. O LEA afetou negativamente os parâmetros morfológicos e a matéria seca (MS) das plantas e ainda elevou os teores de K, N, Mg, Cu e Zn da parte aérea do trigo, enquanto o fertilizante os reduziu, indicando efeito de concentração e diluição, respectivamente. A elevação do pH do solo reduziu a disponibilidade de Mn para o trigo e danificou a cultura.

LEGISLAÇÃO PERTINENTE

A degradação do meio ambiente é um problema que afeta todas as formas de vida do globo. Assim, sua proteção é prioridade de todas as nações, notadamente daquelas economicamente mais desenvolvidas, que, por consequência e comprovadamente, são as que mais degradam o planeta.

No Brasil, segundo Milaré (2000), até 1980, o conjunto de leis ambientais existentes não se propunha em proteger o meio ambiente de forma específica e global, dele cuidando de maneira diluída, e mesmo casual, e na exata medida de atender sua exploração pelo homem. Ainda comenta que, o Estado, assistente omissivo, entregava a tutela do meio ambiente à responsabilidade exclusiva do próprio indivíduo ou cidadão que se sentisse incomodado com atitudes lesivas a sua saúde. Segundo esse sistema, por óbvio, a irresponsabilidade era a regra, a responsabilidade a exceção, isto, pelo fato de o particular ofendido não se apresentar normalmente, em condições de assumir e desenvolver ação eficaz contra o agressor, quase sempre, poderosos grupos econômicos, quando não o próprio Estado.

A partir da Lei nº 6.938/1981 (BRASIL, 1981) e da Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988), a questão ambiental passa a ser tratada legalmente de uma forma mais ampla. Porém, segundo Milaré (2000), infelizmente a proteção ao meio ambiente no País não recebe do Poder Público a atenção proposta pela Constituição de 1988. Dessa forma, se num plano mais amplo, a legislação ambiental brasileira é festejada, espanta verificar, então, que no terreno da realidade, isto é, das atividades degradadoras, as normas ambientais não tenham sido capazes de alcançar os objetivos que justificam sua existência, sendo o principal deles a compatibilização entre o crescimento econômico e a proteção do meio ambiente. O Poder Público justificava-se com prioridades mais urgentes, geralmente de cunho econômico e da produção, e a coletividade, igualmente, tem suas dificuldades em compreender, reivindicar e agir efetivamente na proteção do meio ambiente.

Neste contexto, a produção pecuária, relativa principalmente às atividades da avicultura, suinocultura e bovinocultura, tem-se mostrado como impactante e degradante ao meio ambiente, notadamente aos recursos naturais, água, solo e ar com

a disposição final inadequada dos seus resíduos. Isto ainda ocorre tanto por irresponsabilidade ambiental dos produtores como também por falta de legislação específica, mais responsável e abrangente. Somam-se a isto a inconsistência e a ineficácia fiscalizatória das instituições federais, estaduais e municipais representantes e executoras do Poder Público.

Resumo da Legislação Federal

Lei nº 6.938/1981

Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, estabelecendo, dentre outros, o Licenciamento Ambiental. Como um dos instrumentos dessa política (art. 9º, inciso IV), estabelece ainda outros instrumentos como “o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental” (inciso I) e “a avaliação de impactos ambientais” (inciso III) (BRASIL, 1981). Diz ainda no seu art. 10 (redação dada pela Lei nº 7.804, de 1989), que:

a construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, considerados efetiva e potencialmente poluidoras, bem como os capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento de órgão estadual competente, integrante do Sistema Nacional de Meio Ambiente – SISNAMA, e do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, em caráter supletivo, sem prejuízo de outras licenças exigíveis (BRASIL, 1989).

Resolução Conama nº 1/1986

Estabelece critérios básicos e diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), como mais um instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente, que institui em seu art. 2º:

dependerá da elaboração de estudo de impacto ambiental e respectivo relatório de impacto ambiental – RIMA, a serem

submetidos à aprovação do órgão estadual competente, e do IBAMA em caráter supletivo, o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente [...] (CONAMA, 1986a).

E inciso XVII, com redação da Resolução CONAMA nº 11/1986:

projetos agropecuários que contemplem áreas acima de 1000 ha, ou menores neste caso, quando se tratar de áreas significativas em termos percentuais, ou de importância do ponto de vista ambiental, inclusive nas áreas de proteção ambiental (CONAMA, 1986b).

Resolução Conama nº 3/1990

Estabelece padrões de qualidade do ar, métodos de qualidade do ar, métodos de amostragem e análise dos poluentes atmosféricos (CONAMA, 1990).

Resolução Conama nº 237/1997

Dispõe sobre a necessidade de regulamentação dos aspectos do licenciamento ambiental estabelecidos na Política Nacional de Meio Ambiente, relacionando ainda, dentre outros no seu anexo 1, as atividades agropecuárias de criação de animais como atividades sujeitas ao licenciamento ambiental (CONAMA, 1997).

Resolução Conama nº 357/2005

Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências (CONAMA, 2005).

Resolução Conama nº 375/2006

Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências (CONAMA, 2006).

Resumo da legislação estadual (Minas Gerais, 2005)

Decreto nº 39.424/1998

Institui o sistema de prevenção e controle da poluição, visando à proteção, conservação e melhoria do meio ambiente no estado de Minas Gerais, estabelecendo em seu art. 4º que:

os resíduos líquidos, gasosos, sólidos ou em qualquer estado de agregação da matéria, proveniente de atividade industrial, comercial, agropecuária, doméstica, pública, recreativa e de qualquer outra espécie, só podem ser despejadas em águas interiores, superficiais, e subterrâneas, ou lançadas a atmosferas ou ao solo, desde que não excedam os limites estabelecidos pelo Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM [...] (MINAS GERAIS, 1998).

Deliberação Normativa Copam nº 01/1981

Fixa normas e padrões para qualidade do ar.

Deliberação Normativa Copam nº 07/1981

Fixa normas para disposição de resíduos sólidos.

Deliberação Normativa Copam nº 10/1986

Estabelece normas e padrões para qualidade das águas, lançamento de efluentes nas coleções de águas, e dá outras providências.

Deliberação Normativa Copam nº 34/1995

Estabelece normas para o licenciamento e controle da atividade de suinocultura.

Deliberação Normativa Copam nº 74/2004

Que estabelece critério para classificação, segundo o porte e potencial po-

luidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ou de licenciamento ambiental no nível estadual, o potencial poluidor/degradados geral é obtido após conjugação dos potenciais impactos nos meios físico, biótico e antrópico.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O lançamento de dejetos animais não tratados ou quando manejados de forma imprópria no solo, rios, lagos e açudes constitui riscos potenciais para o aparecimento ou recrudescimento de doenças, desconforto na população e a degradação dos recursos naturais. Os proprietários rurais, produtores e operadores são responsáveis pela obtenção de licenciamento ambiental para o desenvolvimento de atividades rurais, bem como obrigados a operar a produção, dentro de normas e regulamentações legais existentes.

A produção animal moderna deve ser encarada como um processo de transformação biológico, que apresenta como principais entradas, além dos animais, o alimento, a água, o ar de ventilação e em muitas situações, energia para equipamentos e controle climático. Os fatores de saída são: animais, ovos, leite, lã, ar de ventilação, odores, dejetos, etc. Especialmente os três últimos afetam de forma mais direta e adversamente o ambiente.

No planejamento das atividades, devem ser considerados principalmente os aspectos relativos ao destino racional dos efluentes que são gerados no empreendimento. Deve-se salientar que a geração do efluente é bastante variável em função do empreendimento escolhido dependendo principalmente dos manejos adotados. Como exemplo temos que, na avicultura de corte, a geração de resíduos acontece de forma mais homogênea, uma vez que os diversos manejos são mais padronizados. É necessário, sobre qualquer sistema, o desenvolvimento de atividades que não ultrapassem a capacidade de suporte, garantindo auto-sustentabilidade tanto ao empreendimento, quanto aos recursos naturais envolvidos.

Enquanto as pesquisas para o estabelecimento de limites e legislação mais condizentes com as plantas, clima e solos brasileiros encontram-se ainda em andamento, alguns critérios deverão ser observados quando houver o interesse na utilização de dejetos como fertilizantes do solo (fornecimento de dietas mais bem balanceadas para os animais; proceder a análise química do dejetos e química do solo; analisar, periodicamente, as águas de subsuperfícies dos solos onde se aplica; acompanhar o comportamento de plantas a campo e utilizar espécies e linhagens de plantas com alta e seletiva capacidade de extração de nutrientes).

É importante enfatizar que o manejo de dejetos faz-se necessário não só nos grandes setores agropecuários, mas também nas pequenas propriedades, desprovidas de assistência técnica, tecnologias adequadas e recursos financeiros, o que transforma um problema de gerenciamento particular em um grande problema ambiental, afetando a todos diretamente.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, L.A.; SCHOCKEN, D.B.L.; LUCAS JUNIOR, J. Redução de bactérias indicadoras de poluição fecal em estume de aves de postura tratados por biodigestão anaeróbia. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v.2, n.1, p.27-30, jan./abr. 2000.
- ANUALPEC 2007: Anuário da Pecuária Brasileira. São Paulo: FNP, 2007. 368p.
- AVISITE. **Produção de carne de frango em fevereiro**. [2006]. Disponível em: <<http://www.avisite.com.br/noticias/default.asp?CodNoticia=6600>>. Acesso em: 27 mar. 2006.
- BASSO, C.J.; CERETTA, C.A.; DURIGON, R.; POLETTO, N.; GIROTTO, E. Dejetos líquidos de suínos – II: perdas de nitrogênio e fósforo por percolação no solo sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.6, p.1305-1312, nov./dez. 2005.
- BELLI FILHO, P.; CASTILHOS JUNIOR, A.B. de; COSTA, R.H.R. da; SOARES, S.R.; PERDOMO, C.C. Tecnologias para o tratamento de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.1, p.166-170, jan./abr. 2001.
- BRASIL. Constituição, 1988. **Constituição da**

República Federativa do Brasil. Brasília: Câmara dos Deputados, 1988. 160p.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 2 set. 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm>. Acesso em: fev. 2008.

_____. Lei nº 7.804, de 18 de julho de 1989. Altera a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, a Lei nº 7.735, de 22 de fevereiro de 1989, a Lei nº 6.803, de 2 de julho de 1980, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 20 jul. 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L7804.htm>. Acesso em: fev. 2008.

CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; VIEIRA, F.C.B.; HERBES, M.G.; MOREIRA, I.C.L.; BERWANGER, A.L. Dejeito líquido de suínos – I: perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.6, p.1296-1304, nov./dez. 2005.

CHUEIRI, W. A.; SERRAT, B. M.; BIELE, J.; FAVARETTO, N. Lodo de esgoto e fertilizante mineral sobre parâmetros do solo e de plantas de trigo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.5, p.502-508, set./out. 2007.

CONAMA. Resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 17 fev. 1986a. Seção 1, p.2548-2549. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/conama>>. Acesso em: fev. 2008.

_____. Resolução nº 11, de 18 de março de 1986. Dispõe sobre alterações na Resolução nº 1/86. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 2 maio 1986b. Seção 1, p.6346. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/conama>>. Acesso em: fev. 2008.

_____. Resolução nº 3, de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 22 ago. 1990. Seção 1, p.15937-15939. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/conama>>. Acesso em: fev. 2008.

_____. Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997. Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 22 dez. 1997. Seção 1, p.30841-

30843. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/conama>>. Acesso em: fev. 2008.

_____. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 mar. 2005. Seção 1, p.58-63. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/conama>>. Acesso em: fev. 2008.

_____. Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. Dispõe critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 30 ago. 2006. p.141-146. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/conama>>. Acesso em: fev. 2008.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1992, Rio de Janeiro. **Agenda 21**. 2.ed. Brasília: Senado Federal, 1997. 598p.

CRIVELLARO, A. Os ciclos econômicos da suinocultura: entender para sobreviver e prosperar na atividade. **Suinocultura Industrial**, Porto Feliz, v.27, n.2, p.28-30, 2005.

LOURES, E.G. Manejo de dejetos de suínos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TÉCNICOS, PESQUISADORES E EDUCADORES DE CONSTRUÇÕES RURAIS, 3.; CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. Lavras: UFLA, 1998. Anexo.

LUCAS JUNIOR, J. Sistemas de manejo de dejetos: ISO 14000. In: ENCONTRO NACIONAL DE TÉCNICOS, PESQUISADORES E EDUCADORES DE CONSTRUÇÕES RURAIS, 2., 1996, Campinas. **Anais...** Campinas: ABCP, 1996.

MATOS, A.T. de; SEDIYAMA, M.A.N.; FREITAS, S.P.; VIDIGAL, S.M.; GARCIA, N.C.P. Características químicas e microbiológicas do solo influenciadas pela aplicação de dejeito líquido de suínos. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v.44, n.254, p.399-410, jul./ago. 1997.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J.P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v.3, n.4, p.33-38, out./dez. 2002.

MILARÉ, E. Direito do ambiente: doutrina – prática jurisprudência-glossários. **Revista dos Tribunais**, São Paulo, 2000.

MINAS GERAIS. Decreto nº 39.424, de 5 de fevereiro de 1998. Altera e consolida o Decreto nº 21.228, de 10 de março de 1981, que regulamenta a Lei nº 7.772, de 8 de setembro de 1980, que dispõe sobre a proteção, conservação e melhoria do meio ambiente no Estado de Minas Gerais.

Minas Gerais, Belo Horizonte, 6 fev. 1998. Diário do Executivo, p.4. Disponível em: <<http://www.almg.gov.br>>. Acesso em: fev. 2008.

_____. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Direito ambiental: coletânea de legislação ambiental do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2005.

PERDOMO, C.C. Manejo e tratamento de dejetos de suínos. **Suinocultura Industrial**, Porto Feliz, ano 22, n.145, p.16-17, jun./jul. 2000.

POHLMANN, M. **Levantamento de técnicas de manejo de resíduos da bovinocultura leiteira no estado de São Paulo**. 2000. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

QUEIROZ, F.M. de; MATOS, A.T. de; PEREIRA, O.G.; OLIVEIRA, R.A. de. Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.5, p.1487-1492, set./out. 2004.

SANTOS, T.M.B. dos. **Impactos da produção animal sobre o meio ambiente**. Jaboticabal: UNESP-FCAV, 1998. 43p.

SEGANFREDO, M.A. **A questão ambiental na utilização de dejetos de suínos como fertilizante do solo**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2000a. 35p. (Embrapa Suínos e Aves. Circular Técnica, 22).

_____. Usando a cama certa: o impacto ambiental na utilização da cama de aves como fertilizante do solo. **Avicultura Industrial**, Porto Feliz, ano 91, n.24, p.24-27, ago. 2000b.

SEIFFERT, N.F. Planejamento da atividade avícola visando qualidade ambiental. In: SIMPÓSIO SOBRE RESÍDUOS DA PRODUÇÃO AVÍCOLA, 1., 2000, Concórdia. **Anais...** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2000. (Embrapa Suínos e Aves. Documentos, 66).

SILVA, D.F. Suinocultura brasileira em busca do equilíbrio. **Anualpec – 2004**: Anuário da Pecuária Brasileira. São Paulo: FNP, 2004. 376p.

SOUZA, T.W. de; BOOCK, A. Estádio da pecuária de corte. In: _____; _____. **Negócio Embrapa Gado de Corte: conhecimento – tecnologia – serviços**. Campina Grande: Embrapa Gado de Corte, [2006]. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 66). Disponível em: <<http://www.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/doc/doc101/01estadio.html>>. Acesso em: 27 mar. 2006.

TAMANINI, C.R. **Recuperação de áreas degradadas com a utilização de biossólido e gramínea forrageira**. 2004. 181p. Tese (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

VITKO, T.G. **Expected quality of dairy wastewater based on the characterization of a dairy farm in Chino, California**. Okland: CWEA, 1999. (Technical Articles).

Recuperação de áreas degradadas por cultivos anuais

Hugo Adelande de Mesquita¹

Miralda Bueno de Paula²

Regis Pereira Venturin³

Resumo - O solo é um recurso natural não renovável. Degradá-lo é dificultar a produção agrícola e agredir o meio ambiente. A sustentabilidade do solo somente deverá ocorrer quando sua qualidade for mantida ou melhorada. O objetivo a ser alcançado pelo setor agropecuário é garantir que os agrossistemas sejam produtivos, competitivos e sustentáveis ao longo do tempo. Os monocultivos intensivos ou a sucessão contínua de culturas estão entre as atividades responsáveis pelas maiores extensões de áreas degradadas. Os impactos sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos são decorrentes de fatores extrínsecos, estando entre estes, a mecanização intensiva, o uso inadequado de insumos, como corretivos, fertilizantes, agrotóxicos, que causam compactação, erosão e poluição, além de pragas, doenças e baixa produtividade. Verifica-se, então, a necessidade de adoção de práticas conservacionistas adequadas, a fim de manter a sustentabilidade da atividade agropecuária. Estas práticas não podem ser adotadas apenas pelo produtor, pois requerem ônus financeiro que devem ser divididos com os diferentes segmentos da sociedade e que precisam ser esclarecidos. A produção de alimentos deve caminhar junto com a preservação ambiental, para que a população tenha sua sobrevivência garantida. É necessária, portanto, uma política agrícola correta e educação da população, que tem a sobrevivência ameaçada caso a terra pare de produzir.

Palavras-chave: Área degradada. Monocultura. Sustentabilidade. Cultivo intensivo. Meio ambiente.

INTRODUÇÃO

A utilização do solo no Brasil desde os primórdios da colonização tem sido caracterizada pela implantação de sistemas agrícolas imediatistas, decorrentes quase sempre da ação de estímulos políticos e econômicos. Os solos cultivados continuamente têm suas propriedades químicas, físicas e biológicas diminuídas cada vez mais, devido principalmente ao manejo inadequado.

O estado de Minas Gerais, em virtude de sua vasta extensão territorial e variabilidade edafoclimática, apresenta uma

grande diversidade de sistemas agrícolas carentes de técnicas de manejo de acordo com as realidades regionais. A utilização inadequada dos recursos naturais, no caso, solo e água, expõe esses ecossistemas à degradação, transformando solos de boa qualidade em solos de pouca produtividade ou, até mesmo, improdutivos. Este fato implica na necessidade de recuperação do solo, o que nem sempre é possível e economicamente viável.

O solo é um recurso natural não renovável, degradá-lo é dificultar a produção agrícola e agredir o meio ambiente.

A qualidade do solo é definida como a capacidade de produzir alimentos a longo prazo de forma sustentável e contribuir para o bem-estar dos seres vivos, sem deteriorar os recursos naturais básicos ou prejudicar o meio ambiente (MESQUITA et al., 2000). Dessa forma, a sustentabilidade do solo somente ocorrerá, quando a qualidade for mantida ou melhorada.

O objetivo a ser alcançado pelo setor agropecuário é o de garantir que os agrossistemas sejam produtivos, competitivos e sustentáveis ao longo do tempo. Segundo Flores e Nascimento (1994), a com-

¹Eng^a Agr^a, D.Sc., Pesq. EPAMIG-CTSM/Bolsista FAPEMIG, Caixa Postal 176, CEP 37200-000 Lavras-MG. Correio eletrônico: adelande@epamig.ufla.br

²Eng^a Agr^a, D.Sc., Pesq. EPAMIG-CTSM, Caixa Postal 176, CEP 37200-000 Lavras-MG. Correio eletrônico: miralda@epamig.ufla.br

³Eng^a Agr^a, M.Sc., Pesq. EPAMIG-CTSM, Caixa Postal 176, CEP 37200-000 Lavras-MG. Correio eletrônico: regis@epamig.br

petitividade do setor agropecuário está diretamente dependente não só da eficiência econômica, mas também da qualidade ambiental e da diversificação da produção de acordo com a demanda do mercado. Com a exploração das culturas anuais, a monocultura, ou mesmo o sistema contínuo de sucessão do tipo trigo-soja, ou milho safrinha-soja, ocorre uma intensa movimentação de máquinas e implementos agrícolas para o manejo do solo e plantio, que estão entre as atividades responsáveis pelas maiores extensões de áreas degradadas. Podem ocupar áreas extensas como a soja e outras menores destinadas à olericultura, sendo contudo esta ocupação ininterrupta. Esses fatos têm contribuído para o aparecimento de áreas com problemas de ordem física, química e biológica, com conseqüente queda de produtividade. Esse ambiente também favorece condições ideais para o aparecimento de doenças e pragas.

Novas soluções tecnológicas devem ser desenvolvidas, visando o aspecto econômico, mas com restrições a técnicas que provocam degradação ambiental. Dentro desse contexto, o objetivo é apresentar de forma simples os impactos e as técnicas que permitem minorar os problemas.

INDICADORES DE IMPACTOS

Dentre os atributos físicos, químicos e biológicos que indicam impactos no solo, podem ser usados a densidade do solo e de partícula, a estrutura e distribuição dos poros, a estabilidade dos agregados, a permeabilidade do perfil, a compactação, a erosão, os teores de macro e micronutrientes e de matéria orgânica, a poluição, a eutrofização, etc.

Indicadores físicos

Os impactos sobre as propriedades físicas do solo na maioria das vezes são provenientes de fatores extrínsecos à sua natureza, geralmente por causa do manejo inadequado e do uso além de sua capacidade de suporte. Isso causa a compactação do solo, que pode ser definida como

ação mecânica por meio da qual se impõe ao solo redução de seu índice de porosidade. Tal fato define-se como a relação entre o volume de vazios e o volume de sólidos (SEIXAS, 1988). Os espaços porosos perdidos com o efeito da compactação são, na maioria, macroporos importantes na movimentação de água e de ar pelo solo. Esta é advinda do intenso tráfego de máquinas e implementos agrícolas em condições de umidade elevada, prática apontada como uma das principais causas da degradação do solo em áreas de lavoura, que leva à diminuição da capacidade de infiltração de águas das chuvas e ao aumento da erosão (ALVARENGA; DAVIDE, 1999).

A erosão tem conseqüências diversas entre as quais destacam-se o assoreamento das partes baixas e dos cursos d'água, a contaminação da água e do solo, quando o manejo inclui o uso de agrotóxicos, além da perda de nutrientes e corretivos que promovem a eutrofização de mananciais, potencializando o prejuízo dos produtores (Fig. 1).

Ao avaliar o município de Carandaí, em área cultivada com hortaliças, os técnicos da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) com os produtores

verificaram que, apesar da alta aplicação de fertilizantes e equilíbrio entre os nutrientes, houve um decréscimo na produção. Constatou-se que o problema era devido à presença de uma camada compactada decorrente de intensa movimentação de máquinas.

Os sintomas visuais do efeito da compactação no solo e em plantas são:

- sintomas visuais no solo: crosta no solo, zona compactada de superfície, água empoçada, erosão excessiva pela água, aumento de requerimento de potência mecânica para o preparo do solo;
- sintomas visuais em plantas: demora na emergência, plantas mais baixas que o normal, folhas com coloração não característica, sistema radicular superficial, raízes malformadas com modificações morfológicas e fisiológicas (MANTOVANI, 1987).

Indicadores químicos

Os indicadores químicos são dados pelos teores de nutrientes, presença de matéria orgânica, poluição, eutrofização e outros.



Figura 1 - Preparo inadequado do solo com conseqüências ambientais

Teores de nutrientes do solo

A queda de fertilidade nos solos intensamente cultivados e/ou cultivo mal planejado estão diretamente relacionados com a diminuição da matéria orgânica (MO) e modificação da estrutura do solo. A MO é importante para a capacidade de troca de cátions do solo, impede a lixiviação de íons, o aumento da retenção de água, além de melhorar a agregação do solo (MOTTA NETO, 1996).

A transformação de um ecossistema natural em monocultivo leva ao rompimento do ciclo da MO e das condições que promovem este ciclo. Além disso, ocorre a redução dos níveis de MO pela exposição ao sol e à chuva, principalmente quando o solo encontra-se descoberto.

Dentre os sistemas de produção agrícola, as maiores alterações do meio decorrem da agricultura tradicional, com capital e nível tecnológico mínimos e com alto investimento no sistema agroquímico (ALVARENGA; DAVIDE, 1999). Segundo estes autores, as áreas sob Cerrado adotaram o sistema agroquímico para implantação de monoculturas, dentre outras, sendo necessária a aplicação de corretivos e fertilizantes, provocando alterações químicas principalmente na camada superficial do solo.

Os monocultivos extensivos estão, atualmente, entre as atividades humanas responsáveis pelas maiores extensões de áreas degradadas (OLIVEIRA, 2000). Podem ocupar áreas extensas como a soja e outras, ou áreas menores destinadas à olericultura, sendo contudo esta ocupação ininterrupta, e com utilização de recursos tecnológicos sofisticados, como mecanização de todas ou da maior parte das etapas do cultivo, além da utilização intensiva de insumos, tais como corretivos de solo, adubos químicos, inseticidas e fungicidas (BERG, 2001). Os monocultivos rompem as relações existentes (biota, estrutura, teor de MO) no solo, conduzindo-o à degradação pela poluição e eutrofização.

Poluição

O termo poluição é dirigido à presença de substâncias tóxicas introduzidas pelo homem. As ações do homem sobre o ambiente refletem-se freqüentemente no solo e na água. O homem tem uma relação estreita com o ambiente por depender deste para todas as suas atividades, inclusive para a deposição de seus resíduos.

O controle de pragas, doenças e plantas invasoras levam à utilização de agrotóxico. Os princípios ativos deste têm como depósito o solo ou a água. Uma planta é degradada pelos microrganismos, sendo o restante retido pela MO e/ou argilas. Após a retenção, esses produtos podem ser perdidos tanto para a atmosfera como arrastados pela erosão. Dentre as práticas de produção agrícola, o uso de agrotóxicos é o fator mais importante na redução da biodiversidade.

Quanto à poluição pelos metais pesados presentes nos fertilizantes, Malavolta (1994) observou que em escala mundial os adubos minerais contribuem com menos de 1% da adição de metais pesados ao solo. A acumulação de metais pesados no solo em ensaios de longa duração, pelo uso contínuo de fertilizantes, mostra que o acúmulo de cádmio (Cd), por exemplo, resulta em aumentos desprezíveis na planta. Segundo o autor, entre os adubos orgânicos, o lodo de esgoto é uma das fontes mais ricas em metais pesados tóxicos como Cd, crômio (Cr) e chumbo (Pb.)

Segundo Tundisi (1988), a poluição dos recursos hídricos possui três origens básicas: doméstica (incluem-se as águas servidas, resíduos sólidos e o escoamento superficial de áreas urbanas), industrial (resíduos de mineração e processos industriais de transformação) e agrícola (resíduos de granjas, abatedouros, fertilizantes e pesticidas). No caso específico da agropecuária, os empreendimentos agrícolas geram resíduos orgânicos sólidos ou líquidos, ricos em fertilizantes inorgânicos e agrotóxicos.

Eutrofização

A eutrofização é o processo de enriquecimento da água com nutrientes, principalmente N e P, cuja conseqüência é o crescimento excessivo de algas ou de plantas aquáticas. O processo de eutrofização está associado tanto ao aumento da concentração de P na água, quanto à redução da profundidade da lâmina d'água. A tendência evolutiva é o seu desaparecimento pelo assoreamento. Em cursos d'água mais profundos, as moléculas de fosfato agregadas a partículas inorgânicas em suspensão, ou na forma de moléculas orgânicas sedimentam-se. A grande distância entre superfície e fundo impede a sua ressuspensão e a reabsorção pelo fitoplâncton, perdendo-se no sedimento.

Verifica-se que os monocultivos, quando manejados de forma inadequada, rompem as relações existentes no ambiente, conduzindo o solo à degradação, havendo necessidade da adoção de práticas culturais como alternativa viável para a sustentabilidade do solo.

SUSTENTABILIDADE DO SOLO

O termo sustentabilidade engloba todas as atividades que permitam o desenvolvimento de vegetação ou qualquer outra utilização racional do local alterado (FONTES, 1991). Além de outras, as formas mais adequadas de obter uma produção sustentável, constitui o uso da terra de acordo com a sua capacidade, manutenção da cobertura do solo por meio de resíduos de cultura e adubação verde, uso de MO, uso racional de corretivos, fertilizantes, agrotóxicos e manejo integrado de pragas e doenças.

PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS

A conservação do solo constitui prática básica para uma agricultura sustentável.

Capacidade de uso da terra

O uso adequado da terra é o primeiro passo

em direção à agricultura correta. Portanto, cada parcela de terra deve ser empregada de acordo com sua capacidade de sustentação e produtividade econômica, de forma que os recursos naturais sejam colocados à disposição do homem para seu melhor uso e benefício, procurando ao mesmo tempo preservar estes recursos para as gerações futuras (LEPSCH, 1991).

Assim, a capacidade de uso da terra dá idéia das possibilidades e limitações do seu uso, conceituando sua vocação para manutenção de uma agricultura sustentável. Aliada ao conceito de capacidade de uso, vem a adoção das práticas conservacionistas que visam à manutenção da potencialidade produtiva do solo. Bertoni e Lombardi Neto (1990) definem essas práticas como técnicas utilizadas para aumentar a resistência do solo ou diminuir as forças do processo erosivo (Fig. 2).

O estado de Santa Catarina, com experiência no manejo de microbacias hidrográficas, prioriza uma melhor cobertura vegetal e em seguida adota o cultivo mínimo ou plantio direto, associado com subsolagem e adubação orgânica para melhorar a estrutura do solo. Posteriormente, o plantio em nível, culturas em faixas, as barreiras vegetais e, somente em último caso, as barreiras mecânicas e a readequação das estradas internas para evitar o escoamento superficial excessivo (SILVA, 1996).

Segundo Shaxon (1988), quase toda compactação e erosão causadas pelas gotas de chuva poderão ser evitadas se, no mínimo, 40% a 50% da superfície do solo estiver protegida com algum tipo de cobertura bem distribuída, que pode ser obtida com a adoção de técnicas adequadas.

Resíduos culturais e adubação verde

Em um ecossistema não-perturbado, há equilíbrio do teor de MO no solo, graças ao processo da biodinâmica. Quando tais sistemas são incorporados ao processo produtivo, ocorre um rompimento desse



Figura 2 - Bacia de captação para controle erosivo

equilíbrio inicial, seguido de uma série de transformações que podem ocasionar uma melhoria em certas propriedades do solo, como também acelerar sua degradação, dependendo principalmente de sua natureza, da espécie vegetal, do sistema de manejo usado e do tempo de exploração agrícola.

Derpsch et al. (1985) comentam sobre o valor dos resíduos de culturas de inverno

deixados sobre o solo para as culturas de verão, como benefícios decorrentes da manutenção da estrutura, redução de temperatura, conservação de umidade, redução da formação de crostas superficiais, melhoria das condições químicas pela reciclagem dos nutrientes e fixação de nitrogênio, nesse caso pela presença de leguminosas, promovendo maiores rendimentos dos cultivos agrícolas (Fig. 3).



Figura 3 - Deposição de leguminosas na superfície do solo para posterior incorporação

A grande mobilização do solo, a incorporação ou a queima dos resíduos vegetais podem dificultar o estabelecimento das culturas, em consequência das oscilações de temperatura e umidade em solo descoberto, principalmente durante a germinação e na fase inicial, quando não há dossel de vegetação para produção, ocorrendo, segundo Sidiras et al. (1984), temperaturas com valores superiores a 40°C a 5 cm de profundidade.

A temperatura depende em grande parte da intensidade e duração da radiação solar e das condições do solo, como cobertura superficial e teor de água (BAVER et al., 1972). A cobertura geralmente dissipa parte da energia radiante que chega à superfície da terra com intensidade. Morote et al. (1990) observaram que, na presença de 6,6 t/ha de palha de trigo, houve redução de perda de água e a temperatura manteve-se em torno de 30°C nos primeiros dias após a implantação da soja. Por outro lado, no tratamento sem cobertura, ocorreram temperaturas mais altas (38°C), a 5 cm de profundidade que, segundo Hatfield e Egli (1974), prejudicam a germinação e o desenvolvimento da soja. Outros resultados que mostram o efeito da cobertura com resíduos culturais na diminuição da temperatura do solo são encontrados em Lal (1974), Derpsch et al. (1985), Bragagnolo e Mielniczuk (1990) e Vieira et al. (1991).

A temperatura e a umidade do solo são também influenciadas pela prática da adubação verde. Denomina-se adubo verde a planta cultivada, ou não, com a finalidade precípua de enriquecer o solo com sua massa vegetal, quer produzida no local, quer importada. Embora se considere também como adubação verde a incorporação ao solo de espécies vegetais, tanto de gramíneas como de outras espécies naturais ou cultivadas, a cultura de leguminosas constitui a prática mais racional e difundida, para essa finalidade. A razão dá-se, principalmente, pelo fato de as raízes dessas plantas em simbiose com bactérias do solo do gênero *Rhizobium* fixarem o nitrogênio do ar. Outros motivos são sua

riqueza em compostos orgânicos nitrogenados e a presença de um sistema radicular geralmente bem ramificado e profundo, que promove a reciclagem de nutrientes das camadas inferiores e, com a morte e a decomposição das raízes, formam canalículos que aumentam a infiltração de água. Por outro lado, as gramíneas, em razão do seu sistema radicular mais denso, provocam normalmente uma melhoria nas propriedades físicas do solo, tais como, aumento da macroporosidade, da agregação e estabilidade dos agregados, da friabilidade do solo e da retenção de água. No caso da gramínea no processo de decomposição do resíduo, a biomassa microbiana do solo ao imobilizar o N diminui sua disponibilidade para a cultura subsequente, podendo causar deficiência desse elemento (SANGOI et al. apud BERTOLINI et al., 2000).

Quando cultivados em períodos ociosos, os adubos verdes oferecem proteção ao solo, contra a ação direta da chuva, diminuindo o selamento superficial e, com isso, aumentando os índices de infiltração, conforme demonstrado por Monégat (1991) e Derpsch et al. (1991).

Miyasaka et al. (1966) verificaram, aos 45 dias após incorporação de uma massa vegetal não decomposta de capim-gordura e soja perene isoladas ou em combinação meio a meio, uma maior retenção de umidade e uma menor variabilidade térmica deste solo. Resck et al. (1982), estudando o efeito de 15 espécies de adubos verdes, na capacidade de retenção de água do solo, verificaram aumento na capacidade de retenção, que variou, em média de 0,21 a 0,24 cm³ de água/cm³ de solo até sete meses após a incorporação. Posteriormente, ocorreu um decréscimo desses valores.

Para Sil-Chung et al. (apud ANDRADE, 1982), os efeitos benéficos da adubação verde na parte física do solo restringem-se unicamente ao aumento de sua aeração e de sua capacidade de retenção de água, não havendo melhoria na sua estrutura.

Paula et al. (1997) e Primavesi (1982) afirmam ser a adubação verde uma técnica

capaz de economicamente possibilitar a recuperação de solo depauperado. Dessa forma, sendo o comportamento individual de cada adubo verde variável em função do tipo de solo e das condições climáticas, pode-se esperar também que sua ação no solo seja variável.

Entre os efeitos dos resíduos vegetais e da adubação verde sobre a fertilidade do solo estão: aumento do teor de MO, maior disponibilidade de nutrientes, maior capacidade de troca de cátions efetiva (t) do solo, fornecimento da produção de ácidos orgânicos (fundamental importância para a solubilização de minerais), diminuição dos teores de Al trocável por meio de sua complexação e incremento da capacidade de reciclagem e mobilização de nutrientes lixiviados ou pouco solúveis que estejam nas camadas mais profundas do perfil (CALEGARI et al., 1992; FRANCHINI et al., 1999). Estes efeitos dependem da espécie utilizada, do manejo da biomassa, da época de plantio e corte, condições locais (solo e ambiente) e interação entre esses fatores. Portanto, existem também evidências de falta de resposta dos adubos verdes à melhoria de fertilidade do solo. Camargo et al. (1997), ao estudarem a influência da adubação verde com *Crotalaria spectabilis* Roth e *Secale cereale* L. nas características químicas de uma Terra Roxa e de um Latossolo Vermelho-Amarelo, verificaram, após cinco meses de realização da prática, que não houve efeito significativo da adubação verde nos teores de P, K e Ca desses solos. Cáceres e Alcarde (1995) também não constataram alterações expressivas no teor de nutrientes e na MO, no pH, na capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases (SB), após a utilização de sete diferentes espécies de adubos verdes, inclusive de *Crotalaria juncea* e gandu, durante cinco meses.

Favero et al. (2000), estudando o crescimento e acúmulo de nutrientes nas espécies vegetais espontâneas, consideradas como plantas daninhas e leguminosas introduzidas, verificaram que o sistema com as espontâneas produziu menos biomassa

e apresentou menores teores de carbono, cálcio e nitrogênio, contudo para potássio, magnésio e fósforo ocorreu o inverso. No desempenho das espécies (feijão-de-porco, feijão-bravo-do-ceará, mucuna-preta, lab-lab e guandu) verificaram que o feijão-bravo-do-ceará apresentou maior produtividade de matéria seca (MS) e maior acúmulo de Ca, Mg, P, K, N, C, seguido por mucuna-preta e feijão-de-porco. Esses autores justificam a baixa produtividade de MS pelo guandu, contrário ao trabalho de Alvarenga et al. (1996) pela amostragem realizada em época anterior ao pleno desenvolvimento da cultura. Alvarenga et al. (1996), ao compararem diferentes adubos verdes concluíram ser o guandu a espécie de maior potencial para penetração de raízes no solo, maior produção de MS e maior quantidade de nutrientes imobilizados e maior capacidade de melhoria das propriedades químicas do solo (diminuição dos teores de Al, aumento dos teores de Ca e Mg, aumento da CTC e incremento nos teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^-). Kiehl (1960), em trabalho com guandu, feijão-de-porco, mucuna-preta, mucuna-rajada, *Crotalaria juncea* e *Crotalaria paulina*, verificou-se que o guandu e a *Crotalaria juncea* foram as espécies que mais se desta-caram na produção de matéria verde e MS.

Alcântara et al. (2000), com o objetivo de avaliar o desempenho de duas leguminosas utilizadas como adubo verde, em diferentes formas de manejo, na recuperação da fertilidade de um solo degradado, concluíram que as leguminosas utilizadas como adubo verde apresentam maior capacidade de reciclagem e mobilização de nutrientes, em comparação com a pastagem de braquiária, graças as suas maiores concentrações de nutrientes na biomassa; a contribuição do guandu nas propriedades químicas do solo ocorre num menor espaço de tempo que a da *Crotalaria juncea*; aos 150 dias após o manejo, não se observou nenhum efeito dos adubos verdes sobre a fertilidade do solo, o que evidencia o fim dos efeitos benéficos provenientes de seus processos de de-

composição e mineralização; a incorporação da biomassa acelera sua decomposição e favorece os efeitos benéficos dos adubos verdes.

O efeito benéfico do plantio de leguminosas antecedendo uma cultura econômica deve-se, sobretudo, ao fornecimento de N. Contudo, segundo Harris e Hesterman (1990), grande parte do N da biomassa de leguminosas permanece no solo na forma de N orgânico, não sendo disponível de forma imediata para a cultura subsequente. Em trabalho realizado em 10 anos com os sistemas de cultura aveia mais ervilhaca/milho mais caupi, Amado et al. (1999) verificaram que o efeito residual das leguminosas promoveu incrementos de 26% e 19% na quantidade de N absorvido e rendimento de grãos, respectivamente, quando comparado ao uso de aveia e de milho. Observaram também que a presença de resíduos de ervilhaca foi a principal fonte de N, de efeito imediato para o milho. Segundo esses autores, quando leguminosas são utilizadas, verifica-se aumento na disponibilidade de N para a primeira cultura em sucessão (efeito imediato). Contudo, o uso de leguminosas por vários anos pode aumentar a capacidade em fornecer N como efeito residual.

A produtividade de biomassa das leguminosas depende das condições nas quais elas são cultivadas. A quantidade de nutrientes acumulada é proporcional à quantidade de matéria seca produzida. Essa produtividade varia não só com a espécie cultivada, mas também com o manejo da cultura.

Segundo Sá (1996 apud BORTOLINI et al., 2000), a utilização de leguminosas como antecessoras ao milho é pequena, pois apresentam maior custo em relação às gramíneas, por terem desenvolvimento inicial mais lento e pela rápida decomposição dos resíduos.

O N é o nutriente requerido em maior quantidade pelas plantas, para a sustentabilidade do agroecossistema. É necessário o fornecimento de quantidades adequadas, podendo ser por meio de

fertilizantes químicos, que suprirão o desenvolvimento inicial, e por meio de leguminosas que fornecem o N orgânico, que será mineralizado pela atividade microbiana e liberado lentamente. A quantidade de N fornecida pelas espécies leguminosas de inverno pode chegar a 220 kg/ha (MONEGAT, 1991).

O N tem sido um nutriente estudado por sua importância na produção e qualidade do produto. Entretanto, no Brasil, a aplicação de N nas culturas, de modo geral, tem sido inferior ao requerido. Sob vegetação natural, o solo encontra-se em equilíbrio, dado entre as taxas de adição e perda do N (SANCHEZ, 1981). O preparo do solo para o plantio rompe esse equilíbrio entre adição e perda do N, pois há uma diminuição da proteção física da MO, que fica exposta aos fenômenos da natureza, que são mais intensos nos trópicos. Apesar de existir em grande quantidade na forma de N_2 atmosférico, a fonte de N para plantas não simbióticas é o solo. No solo, o N encontra-se principalmente na forma orgânica (85%-95%); em menor quantidade na forma mineral (NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^-), (5-15%) (BREMNER, 1965).

Efeito da rotação de culturas

As metas principais da rotação de culturas são, entre outras, criar as melhores condições possíveis de crescimento de uma cultura agrícola por meio do plantio após culturas prévias adequadas, alcançar utilização e ativação ótimas de fertilidade do solo e garantir a execução de todas as operações de cultivo desde o preparo, plantio e manejo até a colheita em tempo hábil, evitando ocorrência de picos de trabalho. Além disso, a rotação de culturas deve assegurar um controle eficiente de plantas daninhas e pragas com envolvimento mínimo de despesas (STEINHAUSER et al. apud DERPSCH et al., 1991). Segundo Primavesi (1982), a rotação de culturas contribui para a manutenção da bioestrutura do solo e da sanidade vegetal e beneficia-se das condições

mais saudáveis do solo, como arejamento adequado e melhor conservação da água disponível. Ela é uma medida poderosa no combate à erosão e ao deflúvio de água pluvial.

Cintra e Mielniczuk (1983) afirmam que a recuperação das características físicas do solo é viável por meio de práticas adequadas de manejo, que paralise e revertam o processo de degradação. Dentre estas práticas, um sistema de rotação de culturas desempenha papel fundamental, quando inclui neste sistema espécies vegetais capazes não só de se desenvolverem sob condições físicas adversas (alta resistência à penetração e deficiência de O_2), mas também de melhorar essas condições, ao promover agregação e rompimento de camadas compactadas. Esses autores estudaram ainda o potencial de algumas espécies vegetais na recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. A colza e o tremoço mostraram-se promissores para recuperação desses solos, pois suas raízes pivotantes penetram em solos compactados, com resistência à penetração de 11 kg/cm², além do fato de a colza apresentar um grande volume de raízes secundárias e, o tremoço, a possibilidade de fixação simbiótica de nitrogênio.

Para Derpsch et al. (1991), a influência da rotação de culturas sobre a infiltração é muito maior com o preparo convencional do solo do que com o plantio direto. A cobertura do solo tem efeito muito mais acentuado sobre a infiltração da água do que a rotação de culturas. A taxa de infiltração nitidamente mais baixa foi medida em solo preparado com monocultura de milho procedida de pousio de inverno e a mais alta foi medida em solo preparado com rotação de culturas soja/tremoço/milho/trigo. Segundo esses autores, as taxas de infiltração mais baixas na cultura de milho devem-se provavelmente ao fato de que, mesmo com o milho totalmente desenvolvido, uma quantidade significativa das chuvas caídas no período vegetativo atingiu diretamente o solo, en-

quanto que a soja em estágio de floração cobre totalmente o solo.

As leguminosas de verão têm demonstrado maior rusticidade, capacidade de fixação de nitrogênio atmosférico e controle de plantas daninhas, quando comparadas às de ciclo hibernal (MONEGAT, 1991). Magalhães et al. (1991) verificaram que a *Crotalaria juncea* apresentou teores mais elevados de N na parte aérea, quando comparada a mucuna-preta.

Além da espécie, a densidade populacional e a época de plantio afetam a absorção de nutrientes (CÁCERES; ALCARDE, 1995). Os teores e as quantidades de N, P e K absorvidos pelas leguminosas dependem tanto da espécie quanto da época de plantio, não havendo contudo, efeito do espaçamento (AMABILE et al., 1999). Assim, na seleção de uma cultura para rotação, todos estes fatores (espécie, solo, época, densidade de plantio, tempo entre uma cultura e outra, etc.), devem ser considerados, a fim de que se possam atingir os objetivos propostos.

Manutenção da matéria orgânica (MO)

A degradação do solo inicia-se com a retirada da vegetação natural, acentuando-se com os cultivos subseqüentes e com a decomposição da MO e dos nutrientes.

Na região tropical, onde a luminosidade é muito intensa e há predomínio de temperaturas altas, a queima da MO é rápida. Associada à distribuição irregular de chuvas com altas precipitações no verão, provoca em solo descoberto modificações das propriedades físicas, desorganização da estrutura, selamento superficial, perda da fertilidade e perda de solo por erosão, o que, por sua vez, leva a uma queda de rendimento das culturas.

A continuidade de suprimento da MO na região tropical é de extrema importância, pois seus processos de estabilização microbiológica são relativamente rápidos. Segundo Sanchez (1981), a taxa de decomposição da MO nas regiões tropicais chega a ser cinco vezes superior à de regiões temperadas, sendo de importância

manter o equilíbrio do teor de carbono orgânico (húmus) nos solos cultivados.

Pela sua dinâmica, complexão e custo de obtenção na indústria, o N constitui fator limitante para uma boa produtividade das culturas nos solos tropicais, sendo necessária a busca de alternativas para sua aplicação e manutenção da disponibilidade para as plantas (SOUZA; MELO, 2000).

As leguminosas apresentam capacidade de fixar o N atmosférico e transferir-lo para o solo, contudo as gramíneas evitam que o N adicionado seja perdido, por meio da absorção e imobilização deste na biomassa.

Na decomposição dos resíduos, segundo Stevenson (1994), ocorre liberação para a atmosfera de CO_2 e NH_3 , outra parte resultante é utilizada pelos microrganismos decompositores e, parte, permanece como N disponível para as plantas ou é perdido por lixiviação, ou utilizado para produção de substâncias húmicas. Tudo isso é decorrente do tipo e da qualidade do material adicionado na superfície do solo, as seqüências de cultivo adotadas, da forma de cultivar o solo e do tempo de adoção dessas práticas (MENGEL, 1996).

A MO também está correlacionada com a estabilidade dos agregados, já que funciona como aglutinadora entre as partículas minerais primárias. A ligação entre a formação mineral e a orgânica pode ser estabelecida por pontes com Ca^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{3+} e, possivelmente, Al^{3+} (MALAVOLTA, 1976). A agregação do solo aumenta o volume de macroporos e reduz o de microporos. A manutenção desta boa estrutura do solo é de importância para a conservação e a circulação da água e do ar. Em solos argilosos, a plasticidade e a pegajosidade são atenuadas pela incorporação de MO, o que os torna mais facilmente trabalháveis, quando úmidos. Por ser pouco densa em relação aos minerais dos solos e por favorecer a formação de grânulos, a MO reduz a densidade aparente do solo (MELO et al., 1984). Com a melhoria das condições físicas do solo, há um maior desenvolvimento do sistema radicular das

culturas, um aumento da capacidade de infiltração e, conseqüentemente, um menor escorrimento superficial e menores perdas de solo por erosão.

Na decomposição dos resíduos, segundo Malavolta (1976), cerca de 35% do carbono é assimilado por organismos heterotróficos e o restante liberado como CO₂. Ocorrem então situações diversas, quando se incorporam gramíneas ou leguminosas. No primeiro caso, com relação a C/N alta (30:1 ou 40:1), haveria um déficit de nitrogênio com perda de carbono, baixa formação de húmus e falta de nitrogênio para as culturas seguintes. No segundo caso, com relação a C/N baixa (20:1), ocorre um excesso de nitrogênio que resulta em estímulo à produção de húmus e fornecimento adequado de nitrogênio para as culturas. Segundo Oita et al. (1994 apud ANDREOLA et al., 2000), a gramínea cultivada para cobertura deve ser incorporada ao solo na época do florescimento pleno.

Como resultado das práticas agrícolas utilizadas, a MO, em muitos solos, pode ser reduzida a níveis subnormais. No caso do Cerrado em fase de incorporação ao processo produtivo, por exemplo, é necessário que, no seu sistema de produção, se faça um manejo adequado da MO. O manejo efetivo dos resíduos culturais, técnicas de adubação verde, rotação de culturas e aplicação de corretivos são medidas que promovem a elevação e a manutenção da capacidade produtiva dos solos, refletidas no seu potencial de fornecer nutrientes, disponibilidade da água, atividade biológica e características físicas inseridas dentro do contexto de controle da erosão.

A MO é uma das frações mais complexas do solo e não apresenta, quando manejada, a mesma estabilidade das frações minerais. É menos conhecida, embora seja uma das mais importantes para as plantas.

Efeito dos corretivos e fertilizantes

No cultivo dos solos, as práticas necessárias à conservação vêm sendo apli-

cadas, tendo por objetivo manter a capacidade produtiva, estando entre estas a calagem e a adubação. A calagem, por sua vez, melhora as condições químicas do solo em áreas com problemas de acidez superficial e em profundidade. Promove também maior fixação simbiótica do N pelas leguminosas. Disso resulta maior crescimento vegetal, que tem como consequência, maior retorno de matéria orgânica ao solo. Faltam informações sobre os efeitos da aplicação de calcário e gesso sobre as propriedades físicas do solo, ou as informações existentes são contraditórias.

Segundo Sumner (1992), o aumento da disponibilidade dos nutrientes pela calagem e adubações pesadas tem provocado a dispersão da argila, que se movimentam em profundidade, ocorrendo a formação de uma camada adensada (20 a 30 cm). A maioria dos solos das regiões tropicais é caracterizada por apresentar carga variável, devido aos óxidos de Fe e Al, caulinita e MO. Sob essas condições, os colóides do solo estão floculados. Quando a calagem é feita nestes solos, um número de processos químicos, físicos e biológicos ocorre simultaneamente e pode promover ou reduzir a estabilidade dos agregados e, conseqüentemente, tornar o solo mais ou menos suscetível à erosão. Butierres (1980) demonstrou que o uso da calagem diminui o grau de floculação em três solos do Rio Grande do Sul. Peele et al. (apud JUCKSCH, 1987) relatam que a calagem reduziu a permeabilidade e provocou efeitos dispersantes nos agregados de um solo laterítico. Efeito contrário foi observado por Roth et al. (1986), nos estudos em lavoura cafeeira, onde diferentes níveis de calcário necessários para elevar o pH a 5,0 - 6,0 - 7,0 e gesso foram aplicados em um Latossolo Roxo Distrófico. Observaram ainda que a estabilidade dos agregados, tanto em relação à classe 9,5 - 5,7 mm, como no diâmetro médio ponderado (DMP) aumentou com a elevação do pH, havendo um incremento significativo na infiltrabilidade. No tratamento com gesso,

houve também maior infiltrabilidade em comparação com a testemunha, equivalendo ao tratamento com calagem para elevar o pH a 6,0. A porcentagem de agregados foi correlacionada positivamente com os teores de cátions trocáveis (Ca e Ca+Mg) e com o pH. Segundo Rajj (1988), para floculação dos colóides é importante a existência de cátions divalentes no solo, principalmente Ca₂⁺, bem como um nível mínimo de eletrólitos na solução do solo.

Radcliffe et al. (apud RAIJ, 1988) encontraram efeito positivo do gesso nas propriedades físicas de um Ultisol ácido que apresentava barreiras física e química para penetração de raízes no subsolo. Três anos após aplicação de 10 t/ha de gesso, o tratamento com o sal acusou uma menor resistência do solo e maior estabilidade de agregados, na presença de vegetação. O que causou a melhoria das propriedades físicas foram as raízes que, ao penetrarem e desenvolverem-se no subsolo, alteravam as condições de macroporosidade.

O manejo adequado dos nutrientes é de grande importância, quando o solo é cultivado, pois as culturas retiram os nutrientes do solo por meio do produto colhido. A cultura da batata, por exemplo, é considerada esgotante. Assim, a correção e a adubação devem ser realizadas com critério, para manter um sistema equilibrado.

Além da deficiência de nutrientes, o alto teor de Al³⁺ no solo provoca na planta uma redução do crescimento radicular com a diminuição da absorção de nutrientes e H₂O, em consequência de menor volume de solo explorado. Com isso, a planta vai apresentar também menor tolerância ao estresse hídrico.

Um plano racional de adubação deve fazer parte de qualquer programa de conservação do solo, visando manter e restaurar sua fertilidade. Amado (1997) cita ser o fornecimento do N umas das práticas mais importantes na manutenção da sustentabilidade dos agroecossistemas.

Alvarenga e Davide (1999), em trabalho com cinco agroecossistemas, pastagem nativa, pastagem plantada de braquiária, culturas anuais, reflorestamento com eucalipto com 15 anos e área de reforma de eucalipto com um ano, verificaram que o agroecossistema com culturas anuais foi o que mais se diferenciou do ecossistema original de Cerrado quanto a características químicas e físicas. Em relação às características químicas, os maiores teores foram encontrados no solo com culturas anuais em consequência da calagem e da fertilização. Contudo, o cultivo anual provocou aumento da microporosidade e densidade do solo decorrentes do revolvimento para plantio das culturas do milho e do sorgo, o que pode dificultar o desenvolvimento do sistema radicular com prejuízo para a planta. Observaram também que a degradação física foi menor, quando a intensidade de mecanização foi intermediária.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização das terras, salvo algumas situações, é feita sem critérios de capacidade de uso e/ou aptidão agrícola, o que tem levado à queda de produtividade, menor retorno econômico, poluição e assoreamento de mananciais, rebaixamento do lençol freático, deslocamento do homem do campo, perda da biodiversidade, entre outras, resumindo-se em perda ou diminuição do potencial de sustentabilidade.

A agricultura reveste-se de grande importância econômica e social, com intensa utilização de mão-de-obra, contribuindo significativamente para o mercado de trabalho, além da importância como fornecedora de alimentos.

Precisa-se estar atento ao meio ambiente. Contudo, este procedimento não pode ser adotado apenas pelo produtor, pois requer ônus financeiro. Assim, os diferentes segmentos da sociedade precisam ser esclarecidos. A produção de alimentos deve caminhar junto com a preservação ambiental, para que a população tenha sua sobrevivência garantida. É necessária, portanto, uma política agrícola

correta e educação da população, que tem a sobrevivência ameaçada caso a terra pare de produzir.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, F.A. de; FURTINI NETO, A. E.; PAULA, M. B. de; MESQUITA, H. A. de; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p.277-288, fev. 2000.

ALVARENGA, M.I.N.; DAVIDE, A.C. Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.23, n.4, p.933-942, 1999.

ALVARENGA, R.C.; COSTA, L.M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A.J. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.2, p.319-326, 1996.

AMABILE, R.F.; FANCELLI, A.L.; CARVALHO, A.M. Absorção de N, P e K por espécies de adubos verdes cultivados em diferentes épocas e densidades num Latossolo Vermelho-Escuro argiloso sob Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.23, n.4, p.837-845, 1999.

AMADO, T.J.C. **Disponibilidade de nitrogênio para o milho em sistemas de cultura e preparo do solo**. 1997. 201p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

_____; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S.B.V.; BAYER, C. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.23, n.3, p.679-686, 1999.

ANDRADE, L.A. de B. **Efeitos da incorporação de *Crotalaria juncea* L. sobre algumas características do solo e do desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*Sacharum spp.*)**. 1982. 129p. Tese (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ANDREOLA, F.; COSTA, L.M.; OLSZEWSKI, N.; JUCKSCH, I. A cobertura vegetal de inverno e a adubação orgânica e ou mineral influenciando a sucessão feijão/milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.24, n.4, p.867-874, 2000.

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. (Ed.). **Soil physics**. New York: J. Wiley, 1972. 498p.

BERG, E. van den. Recuperação de áreas degradadas por monocultivos extensivos.

Informe Agropecuário. Recuperação de áreas degradadas, Belo Horizonte, v.22, n.210, p.27-35, maio/jun. 2001.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1990. 355p.

BORTOLINI, C.G.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G. Sistemas consorciados de aveia preta e ervilhaca comum como cobertura de solo e seus efeitos na cultura do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.24, n.4, p.897-903, 2000.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.3, p.369-374, set./dez. 1990.

BREMNER, J.M. Total nitrogen. In: BLACK, C.A. **Methods of soil analysis chemical and microbiological properties**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. v.2, p.1149-1178.

BUTIERRES, M. de F. M. **Efeito do calcário e fosfato de potássio no ponto de carga zero (PCZ) e grau de floculação em três solos do Rio Grande do Sul**. 1980. 59p. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

CÁCERES, N.T.; ALCARDE, J. C. Adubação verde com leguminosas em rotação com cana-de-açúcar. **Revista Stab**, v.13, n.5, p.16-20, 1995.

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E.A.; WILDNER, L.P.; COSTA, M.B.B. da; ALCÂNTARA, P.B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T.J.C. **Adubação verde no sul do Brasil**. 2.ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1992. 346p.

CAMARGO, F.A.O.; GIANELLO, C.; VIDOR, C. Potencial de mineralização do nitrogênio em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.21, n.4, p.575-580, 1997.

CINTRA, F.L.D.; MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies vegetais para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.2, p.197-201, maio/ago. 1983.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN, F.X. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.7, p.761-773, jul. 1985.

_____; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistema de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Eschborn: GTZ: IAPAR, 1991. 272p.

FAVERO, C.; JUCKSCH, I.; COSTA, L.M.; ALVARENGA, R.C.; NEVES, J.C.L. Crescimento e acúmulo de nutrientes por plantas espontâneas e por leguminosas utilizadas para adubação verde. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.24, n.1, p.171-177, 2000.

- FLORES, M.X.; NASCIMENTO, J.C. Novos desafios da Pesquisa para o desenvolvimento sustentável. **Agricultura Sustentável**, Jaguariúna, v.1, n.1, p.10-17, jan./abr. 1994.
- FONTES, M.P.F. Estudo pedológico reduz impacto da mineração. **Ambiente**, São Paulo, p.58-61, 1991.
- FRANCHINI, J.C.; MALAVOLTA, E.; MIYASAWA, M.; PAVAN, M.A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.23, n.3, p.533-542, 1999.
- HARRIS, G.H.; HESTERMAN, O.B. Quantifying the nitrogen contribution from alfafa to soil and two succeeding crops using nitrogen-15. **Agronomy Journal**, Madison, v.82, p.129-134, 1990.
- HATFIELD, J.L.; EGLI, D.B. Effect of temperature on rate of soybean hypocotyl elongation and field emergency. **Crop Science**, Madison, v.14, n.3, p.423-426, 1974.
- JUCKSCH, J. **Calagem e dispersão de argila em amostra de um Latossolo Vermelho-Escuro**. 1987. 37p. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- KIEHL, E.J. **Contribuição para o estudo da poda e da decomposição de adubos verdes**. 1960. 113p. Tese (Livres Docência) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- LAL, R. Effect of constant and fluctuating soil temperature on growth, development and nutrient uptake of maize seedlings. **Plant and Soil**, Amsterdam, v.40, n.3, p.589-606, June 1974.
- LEPSCH, I. F. (Coord.). **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175p.
- MAGALHÃES, J.C.A.J. de; PEREIRA, J.; SOUSA, D.M.G. de; PERES, J.R.R.; SUHET, A.R. Eficiência da adubação verde na disponibilidade de fósforo de fosfato numa sucessão de culturas em solos de Cerrado. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. **Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1985/1987**. Planaltina, 1991. p.112-117.
- MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos**. São Paulo: Produquímica, 1994. 153p.
- _____. **Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo: Agrônômica Ceres, 1976. 528p.
- MANTOVANI, E.C. Compactação do solo. **Informe Agropecuário**. Manejo do solo, Belo Horizonte, v.13, n.147, p.52-55, mar. 1987.
- MELO, F. de A.F. de; BRASIL SOBRINHO, M. de O.C. do; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R.I.; COBRA NETO, A.; KIEHL, J. de C. **Fertilidade do solo**. Piracicaba: Nobel, 1984. 400p.
- MENGEL, K. Turnover of organic nitrogen in soils and its availability to crops. **Plant and Soil**, v.181, n.1, p.83-93, 1996.
- MESQUITA, H.A. de; PAULA, M.B. de; ALVARENGA, M.I.N. Indicadores de impacto das atividades agropecuárias. **Informe Agropecuário**. Agropecuária e ambiente, Belo Horizonte, v.21, n.202, p. 57-62, 70-71, jan./fev. 2000.
- MIYASAKA, S.; CAMARGO, A.P. de; INFORZATO, R.; IGUE, T. Efeitos da cobertura e da incorporação ao solo, imediatamente antes do plantio, de diferentes formas de matéria orgânica não decomposta, na cultura do feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v.25, t. 2, p.349-363, 1966.
- MONEGAT, C. **Plantas de cobertura do solo: características e manejo em pequenas propriedades**. Chapecó, 1991. 336p.
- MOROTE, C.G.B.; VIDOR, C.; MENDES, N.G. Alterações na temperatura do solo pela cobertura morta e irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.1, p.81-84, jan./abr. 1990.
- MOTTA NETO, J.A. Processos químicos e físicos na dinâmica de recuperação de solos degradados: uma visão interior. In: BALENSIEFER, M. (Coord.). **Recuperação de áreas degradadas**. Curitiba: UFPR, 1996. p.123-133. III curso de atualização.
- OLIVEIRA, M. O Nordeste no mapa mundi da desertificação. **Boletim Informativo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v.25, n.1, p.18-20, jan./mar. 2000.
- PAULA, M.B. de; MESQUITA, H.A.; CARVALHO, J.G. **Recuperação de solos sob pastagens degradadas**. Lavras: EPAMIG-CTSM, 1997. 28p. Relatório técnico CNPq.
- PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico de pastagens**. Porto Alegre: Centaurus, 1982. 184p.
- RAIJ, B. van. **Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo**. São Paulo: ANDA, 1988. 88p.
- RESCK, D.V.S.; SHARMA, R.D.; PEREIRA, J. Efeito de quinze espécies de adubos verdes, na capacidade de retenção de água e no controle de nematóides, em Latossolo Vermelho-Escuro sob Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, n.3, p.459-467, mar. 1982.
- ROTH, C.H.; PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.D.; MEYER, B.; FREDE, H.G. Efeitos das aplicações de calcário e gesso sobre a estabilidade de agregados e infiltração de água em um Latossolo Roxo cultivado com cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n.2, p.163-166, maio/ago. 1986.
- SÁ, J.C. de M. **Manejo de nitrogênio na cultura de milho no sistema plantio direto**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1996. 23p.
- SANCHEZ, P.A. **Suelos del trópico: características y manejo**. San José, Costa Rica: IICA, 1981. 660p. (IICA. Libros y Materiales Educativos, 48).
- SEIXAS, F. **Compactação do solo devido à mecanização florestal**. Piracicaba: IPEF, 1988. p.1-10. (IPEF Circular Técnica, 163).
- SHAXON, T.P. Produção e proteção integradas em microbacias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., 1987, Campinas. **Anais...** A responsabilidade social da ciência do solo. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988. p.263-271.
- SIDIRAS, N.; DERPSCH, R.; HEINZMANN, F.X. Influência da adubação verde de inverno e seu efeito residual sobre o rendimento nas culturas de verão, em Latossolo Roxo distrófico. **Plantio Direto**, Ponta Grossa, v.2, n.9, p.4-5, 1984.
- SILVA, M.C. A experiência de Santa Catarina no manejo de microbacias hidrográficas. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F. (Ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, MG: UFV: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p.771-779.
- SOUZA, W.J.O.; MELO, W.J. Teores de nitrogênio no solo e nas frações da matéria orgânica sob diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.24, n.4, p.885-896, 2000.
- STEVENSON, J.F. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2.ed. New York: J. Wiley, 1994. 443p.
- SUMNER, M.E. Uso atual do gesso no mundo em solos ácidos. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2., 1992, Uberaba. [Anais...] São Paulo: IBRAFOS, 1992. p.7-40.
- TUNDISI, J.G. **Limnologia e manejo de represa**. São Paulo: USP-EESC, 1988. (USP. Monografia em Limnologia, 1).
- VIEIRA, S.R.; NASCIMENTO, P.C. do; SARVASI, F.O.C.; MOURA, E.G.de. Umidade e temperatura da camada superficial do solo em função da cobertura morta por resteva de soja em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.2, p.219-224, 1991.

Recuperação de pastagens degradadas

Domingos Sávio Queiroz¹

Luís Tarcísio Salgado²

Leonardo de Oliveira Fernandes³

Resumo - A área de pastagens no Brasil vem reduzindo e é provável que essa redução continue, podendo, até mesmo, se intensificar, em decorrência da expansão da agricultura convencional e daquela dirigida para a produção de biocombustíveis. Nesse caso, para manter o rebanho bovino e aumentar a produtividade, a intensificação do uso dos pastos e a aplicação de insumos serão inevitáveis. Estima-se que 80% das áreas de pasto, principalmente no bioma Cerrado, encontram-se degradadas ou em processo de degradação. A expansão da pecuária dependerá fortemente da recuperação da produtividade dessas áreas. A recuperação de pastagens degradadas permite diversas abordagens, dependendo da condição do produtor e de seus interesses em relação ao uso do pasto. Será dada ênfase às espécies forrageiras e ao seu manejo, bem como à gestão da fertilidade do solo sob pastagem e à agregação do componente florestal, além do eucalipto.

Palavras-chave: Área degradada. Degradação de pastagem. Adubação. Manejo. Integração Lavoura-Pecuária. Sistema silvipastoril.

INTRODUÇÃO

A troca de espécie ou variedade forrageira em uma propriedade não determinará melhora sensível na produtividade animal, a não ser que se verifiquem outras mudanças no manejo das pastagens e dos animais, na adubação, nas práticas de conservação, etc. Sem essas mudanças, é provável que a melhor das espécies desapareça (BURTON, 1970 apud CORSI, 1988).

O agronegócio brasileiro vem passando por intensas transformações nos últimos anos. Alguns setores vêm experimentando forte expansão, como é o caso da bioenergia, com destaque especial para o etanol. Isso implica em mobilização de imensas

áreas de terra para o cultivo de cana-de-açúcar. As espécies oleaginosas para a produção de biodiesel, embora em menor intensidade que a cana, também experimentam expansão da área cultivada. A utilização do milho para produção do etanol nos Estados Unidos e do óleo de soja para biodiesel no Brasil pressiona os preços e a expansão dessas culturas. Outro setor do agronegócio que passa por expansão é o florestal, decorrente do previsto “apagão florestal”, já vigente no Brasil, segundo os estudiosos do setor. Considerando que o epicentro de todas essas transformações está concentrado nas Regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, para onde vai desaguar a expansão dessas culturas em termos de terras ocupadas? Não há dúvida

de que a expansão avançará em áreas antes ocupadas pela pecuária. Esse movimento já foi detectado pelas estatísticas (IBGE, 2006). Os resultados preliminares do Censo Agropecuário de 2006 mostram que a área de lavouras no País aumentou 83,5% em relação ao Censo de 1995, enquanto a de pastagens reduziu em, aproximadamente, 3,0%, confirmando um modelo de desenvolvimento do setor com expansão das fronteiras agrícolas. Em relação ao Censo de 1995, a área de pastagens reduziu de 177,7 milhões de hectares, para 172,3 milhões, em 2006, enquanto a área de culturas expandiu de 52 milhões para 76 milhões. Em Minas Gerais, esse mesmo fenômeno vem ocorrendo com redução na área de pastagem, de 25 milhões, em 1995, para

¹Zootecnista, D.Sc., Pesq. EPAMIG-CTZM/Bolsista FAPEMIG, Caixa postal 216, CEP 36570-000 Viçosa-MG. Correio eletrônico: dqueiroz@epamig.br

²Eng^o Agr^o, M.Sc., Pesq. EPAMIG-CTZM, Caixa postal 216, CEP 36570-000 Viçosa-MG.

³Zootecnista, D.Sc., Pesq. EPAMIG-CTTP/Bolsista FAPEMIG, Caixa Postal 351, CEP 38001-970 Uberaba-MG. Correio eletrônico: leonardo@epamiguberaba.com.br

20,5 milhões, em 2006. Estima-se que no Brasil, nos próximos dez anos, cerca de 30 milhões de hectares de pastagens serão ocupados com atividade de agricultura, especialmente soja e milho, além de cana-de-açúcar e eucalipto (MELO et al., 2005).

Paralelamente a esse processo de expansão da agricultura e a despeito da redução na área de pastagens, a pecuária bovina experimentou forte expansão nos últimos anos no Brasil. A produção brasileira de leite aumentou 70%, entre 1990 e 2005 (MARTINS et al., 2007), e a produção de carne bovina aumentou 25,32%, no período de 1995 a 2004. O Brasil alcançou a posição de maior exportador mundial de carne bovina, saltando de 287 mil toneladas de equivalente carcaça, em 1995, para 2.200 mil toneladas, em 2006 (CONSELHO..., 2008). Nesse período também houve aumento do efetivo bovino, de 153 milhões, em 1995, para 170 milhões de cabeças, em 2006 (IBGE, 2006). Isso significa que houve melhoria da produtividade animal, mas também da taxa de lotação dos pastos. Utilizando os números do IBGE (2006), verifica-se que a taxa de lotação aumentou de 0,85, em 1996, para 0,98 animal/hectare, em 2006, desconsiderando a idade do animal. O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) apresenta números bem mais grandiosos, com efetivo bovino no Brasil de 207 milhões de cabeças (BRASIL, 2006), o que eleva a taxa de lotação, mantida a área de pasto, para 1,20 cabeça por hectare. É provável que a redução nas áreas de pastagens continue, podendo, até mesmo, se intensificar, já que as pressões da sociedade para reduzir os desmatamentos e a incorporação de novas áreas são muito grandes. Nesse caso, a intensificação do uso dos pastos e a aplicação de insumos para aumentar a produtividade serão inevitáveis.

Apesar dos avanços que o Brasil vem apresentando na pecuária, a produtividade das pastagens ainda é muito baixa. A criação de bovinos é feita em bases empíricas, caracterizando a atividade, na maioria das propriedades, como extrativista,

particularmente em relação ao uso do pasto. Nesse aspecto, os pecuaristas não se apropriaram das tecnologias disponíveis, como tem ocorrido na agricultura. E não é por falta de tecnologia que isso ocorre, pois o Brasil dispõe de bom número de pesquisadores nos diversos biomas brasileiros e de bom volume de pesquisas em forragicultura.

Prova da falta de aplicação de tecnologias na exploração de pastagens é a ocorrência de degradação até os dias atuais. Alguns pesquisadores estimam que 80% das áreas de pasto, principalmente no bioma Cerrado, encontram-se degradadas ou em processo de degradação. Na Zona da Mata de Minas Gerais um estudo radiométrico de campo foi conduzido com o objetivo de identificar os níveis de degradação das pastagens (NASCIMENTO et al., 2006). Da área de 3.670 ha avaliada, aproximadamente 70% correspondem a pastagens. De acordo com os resultados, as pastagens com nível de degradação moderado, forte e muito forte ocupam 8,21%, 56,46% e 5,07% da área, respectivamente. As áreas com nível de degradação forte e muito forte ocorrem predominantemente em áreas de relevo forte ondulado e, em situações mais graves, já se observa perda acentuada de solo.

Como o processo de degradação é contínuo, é inevitável que, em algum momento, se faça a recuperação dessas áreas. Isso faz com que milhões de hectares de pastagens sejam formados anualmente no Brasil. Uma parte em substituição a áreas de agricultura e outra grande parcela em renovação de antigas pastagens que se degradaram, exigindo nova implantação.

CAUSAS DA DEGRADAÇÃO DAS PASTAGENS

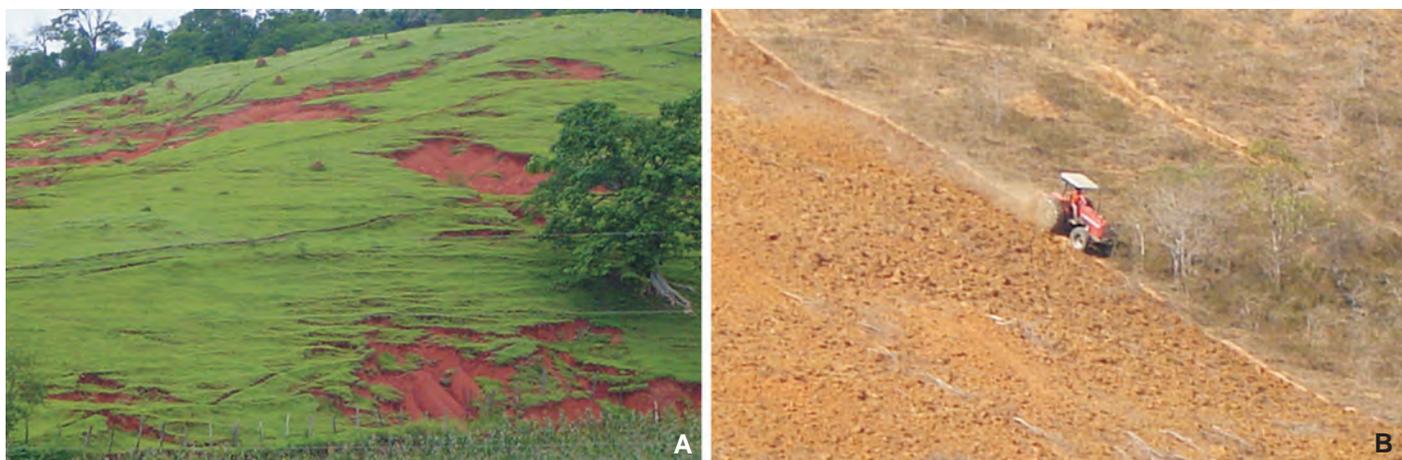
O processo de degradação das pastagens é dinâmico e caracterizado por um conjunto de fatores que agem de maneira associada. Entre os fatores que mais determinam a degradação, podem-se citar o manejo inadequado com sobrepastoreio, perda da fertilidade do solo, esta-

belecimento de espécies indesejáveis, ataque de pragas e doenças e falta de adaptação da espécie forrageira (SPAIN; GUALDRON, 1991). Descrição detalhada de possíveis causas da degradação de pastagens é encontrada em Macedo (2005).

Por definição, considera-se que uma pastagem está degradada, quando sofreu diminuição considerável na sua produtividade potencial para as condições edafoclimáticas e bióticas a que está submetida (SPAIN; GUALDRON, 1991). A redução na produtividade é ocasionada por um processo evolutivo de perda do vigor e da capacidade de recuperação natural, tornando-a incapaz de manter determinado número de animais por certo período e superar efeitos nocivos de pragas, doenças e invasoras (MACEDO, 1995). As principais fases de degradação de uma pastagem incluem o distúrbio fisiológico da espécie principal com perda de vigor, mudanças na composição botânica do pasto, com invasão de novas espécies, desaparecimento da espécie principal e diminuição da densidade de invasoras menos palatáveis. Nessa fase, mesmo as espécies menos palatáveis passam a ser consumidas pelos animais, levando à ocorrência de áreas de solo descoberto e erosão (Fig. 1). Uma vez atingida a última fase, o restabelecimento da sua capacidade produtiva torna-se bastante oneroso (NASCIMENTO JUNIOR et al., 1994). Num estágio avançado de degradação, poderão ocorrer consideráveis danos aos recursos naturais, como alterações na estrutura do solo, evidenciadas pela compactação e, conseqüentemente, diminuição nas taxas de infiltração de água e aumento nas taxas de escoamento superficial, causando erosão e assoreamento de nascentes, lagos e rios.

RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS DEGRADADAS

A recuperação de pastagens degradadas permite diversas abordagens, dependendo da condição do produtor e de seus interesses em relação ao uso do pasto.



Fotos: Domingos Sávio Queiroz

Figura 1 - Área de pastagem degradada

NOTA: A - Com cobertura de grama-batatais (*Paspalum notatum*) apresentando erosão; B - Preparação de área com aração "morro abaixo" para nova semeadura de pasto na Zona da Mata de Minas Gerais.

Entende-se por recuperação direta de pastagens as práticas que não fazem uso de uma cultura associada. As operações são feitas diretamente nos pastos e podem incluir ações mecânicas, tais como, aração, gradagem, subsolagem e escarificação; ou ações químicas como a calagem, gessagem e adubações parciais ou completas. Pode incluir a manutenção da espécie anterior (sem alterar a vegetação), manter a espécie anterior introduzindo nova(s) espécie(s) como, por exemplo, uma leguminosa (alteração parcial da vegetação) ou fazer a substituição por outra espécie ou cultivar forrageira (com alteração total da vegetação). Macedo (2005) descreve alternativas para a recuperação direta de pastagens.

O manejo inadequado da forrageira e o esgotamento da fertilidade do solo têm conduzido os pecuaristas a uma cíclica substituição das espécies forrageiras, sempre buscando aquelas consideradas menos exigentes em nutrientes e, freqüentemente, de menor valor nutritivo. Como o tema degradação e recuperação de pastagens foi tratado em diversos artigos nos Informes Agropecuários recentes, este, entretanto, dará ênfase às espécies forrageiras e ao seu manejo, bem como à gestão da fertilidade do solo sob pastagem e à agregação do componente florestal, além do eucalipto, e procura trazer informações adicionais ao que já foi apresentado.

Escolha da espécie

Uma pastagem somente será produtiva e duradoura, se a espécie forrageira presente for adaptada às condições ambientais e edáficas do local e tiver capacidade de superar os fatores adversos que ocorrem com variada freqüência, tais como ataque de pragas, doenças, veranicos, secas, inundações, etc. No Quadro 1, são apresentadas algumas características agrônomicas e de adaptação de espécies e cultivares de forrageiras em uso no Brasil. Descrição das espécies mais recentemente lançadas pode ser encontrada em Jank et al. (2005).

Efeito do manejo na degradação de pastagens

No Brasil, explora-se um número grande de espécies forrageiras e, dentro de cada espécie, podem ocorrer várias cultivares, que se ampliam freqüentemente com o lançamento de outras. Isto faz com que o manejo de pastagens no Brasil continue sendo praticado mais como "arte" do que como "ciência". Não se dispõem de informações básicas e essenciais para o planejamento e o desenvolvimento de sistemas eficientes e efetivos de exploração com respaldo do conhecimento científico de nossas plantas forrageiras (DA SILVA; PEDREIRA, 1997). Além disso, a diversidade das espécies com relação às suas

características morfofisiológicas e dos ecossistemas, onde são cultivadas, torna difícil o estabelecimento de critérios acurados para avaliar estádios de degradação de pastagens cultivadas.

Para as condições brasileiras, Nascimento Junior et al. (2002) afirmam que é tarefa difícil definir a melhor abordagem, notadamente quando se considera a diversidade de ecossistemas em que pastagens são cultivadas e os níveis de exploração encontrados, indo desde os mais extensivos em campos nativos até os mais intensivos irrigados e adubados sob pivô-central. Segundo esses autores não existe um conjunto único de variáveis que seja apropriado para definir métodos de pastejo para todos os ecossistemas brasileiros de pastagens.

Em geral, a perda da capacidade produtiva de um pasto está estreitamente relacionada com o manejo inadequado durante vários anos (Fig. 2). Eventualmente, há casos em que falhas ligadas ao seu estabelecimento concorrem para sua degradação. O superpastejo, a deficiência de nitrogênio e de outros nutrientes e o uso da queima são os principais agravantes que contribuem para a situação encontrada hoje nas pastagens. A dificuldade do criador para administrar a estacionalidade de produção das forrageiras constitui um grande problema. Normalmente, o

QUADRO 1 - Características de algumas espécies e cultivares de gramíneas forrageiras em uso no Brasil

Característica	<i>Brachiaria decumbens</i>	<i>Brachiaria humidicola</i>	<i>Brachiaria ruziziensis</i>	<i>Brachiaria brizantha</i> (Marandu)	<i>Brachiaria brizantha</i> (Xaraés)	<i>Brachiaria mutica</i>	⁽¹⁾ Tangola	Mombaça	Tanzânia-1	Massai
Facilidade de estabelecimento	rápido	lento	rápido	rápido	rápido	lento	lento	rápido	rápido	rápido
Cobertura de solo	boa	boa	boa	média	média	boa	boa	média	média	boa
Tolerância a solos ácidos	alta	alta	baixa	baixa	alta	média	média	baixa	baixa	média
Exigência de fertilidade de solo	baixa	baixa	média	média a alta	média a alta	média a alta	média	alta	alta	média
Resposta à adubação	alta	-	-	alta	alta	alta	-	alta	alta	alta
Adaptação ao pastejo diferido	alta	baixa	alta	média	média	baixa	baixa	baixa	baixa	-
Qualidade da forragem	média	baixa	alta	alta	-	alta	alta	alta	alta	média
Tolerância à cigarrinha	baixa	alta	baixa	alta	média	alta	alta	alta	alta	alta
Tolerância ao encharcamento	baixa	alta	baixa	baixa	média	alta	alta	baixa	baixa	baixa
Tolerância à seca	média	média	baixa	média	alta	baixa	baixa	média	média	média

(1) Híbrido de *B. arrecta* x *B. mutica*.

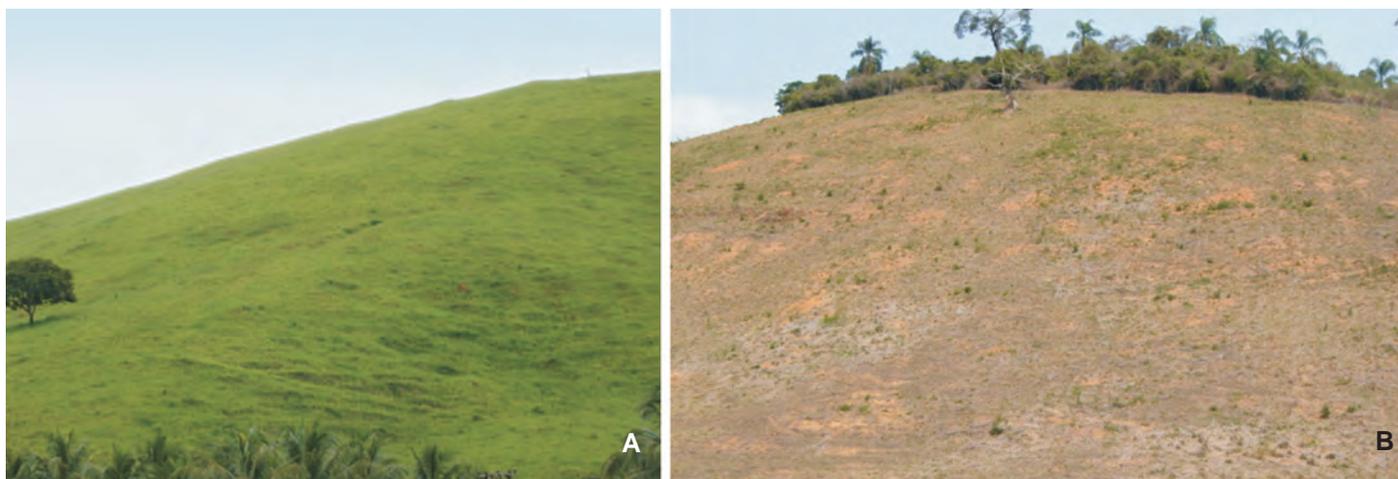


Figura 2 - Pastagem de *Brachiaria decumbens*

NOTA: A - Área bem manejada com excelente cobertura vegetal; B - Área superpastejada com início de erosão do solo.

Fotos: Domingos Sávio Queiroz

criador adota uma taxa de lotação animal na pastagem, que, apesar de permitir grandes sobras na estação de crescimento das forrageiras, pode provocar pastejo excessivo no período frio e seco do ano, quando o pasto apresenta taxa de crescimento muito baixa. Se o excesso de forragem disponível não é consumido, o produtor faz uso da queima para eliminar a macega e favorecer a brotação na estação de crescimento seguinte. Entre as causas que têm levado as pastagens cultivadas à degradação, o manejo inadequado das plantas e o esgotamento da fertilidade do solo são as mais comuns.

O sistema de pastejo animal sobre as plantas forrageiras ganha importância no processo de degradação de pastagem, principalmente pela possibilidade de ajustá-lo às condições de produção dessas plantas. Em condições que limitam a produtividade e os períodos de estresse, como durante os veranicos e ataque de cigarrinhas-da-pastagem, a taxa de lotação animal deve ser reduzida, de modo que não comprometa a sobrevivência da planta. Assim, a taxa de lotação animal na pastagem deve estar compatibilizada com sua taxa de crescimento momentânea, a fim de representar pressão ótima de pastejo que não comprometa a persistência da forrageira na pastagem e o equilíbrio do complexo clima-solo-planta-animal (NASCIMENTO JUNIOR et al., 1994). Isto só pode ser atingido com o pleno conhecimento das características da espécie forrageira, incluindo a sua morfologia, fisiologia e o modo como responde às condições do meio ambiente onde a pastagem se insere.

Recomendações de manejo para algumas gramíneas tropicais

Segundo Da Silva e Corsi (2003), para o capim-tifton explorado sob pastejo contínuo, os resultados revelaram uma amplitude de altura do pasto que varia de 10 a 20 cm, com disponibilidade de forragem que varia de 3.500 a 5.500 kg de matéria seca (MS) por hectare, respectivamente, na qual

as taxas de acúmulo de forragem líquida foram relativamente constantes. Para o capim-marandu, a faixa de equilíbrio na altura do dossel forrageiro em que a taxa de acúmulo de forragem líquida foi relativamente constante ficou entre 20 e 40 cm, com o equivalente a 8.500 a 12.500 kg de MS por hectare. Estes autores concluíram que existe uma grande flexibilidade de manejo do pastejo para as cultivares de *Cynodon* e para o capim-marandu sob pastejo contínuo. A amplitude de condições de pasto, em que o equilíbrio foi mantido para essas duas espécies, correspondeu a uma ampla faixa de regimes de desfolhação possível de ser aplicada em condição de campo.

Cavalcante (2001) observou que a elevação na altura de pastejo de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens* cv. Basilisk), no período chuvoso de 10 para 25 cm, em lotação contínua com taxa variável, aumentou a disponibilidade de forragem de 1.759 para 3.433 kg/ha de MS. A taxa de acúmulo de forragem foi de 47,61 para 86,27 kg/ha de MS por dia. Em contrapartida, a taxa de senescência da forragem elevou de 15,55 para 32,81 kg/ha de MS por dia e a relação folha/colmo caiu de 1,09 para 0,35 entre 10 e 25 cm. Este autor concluiu que a elevação na altura de pastejo resultou em maior perda de forragem e grande acúmulo de colmo na massa forrageira. Entretanto, o acúmulo de folhas verdes, principal fração consumida pelos animais em pastejo, não sofreu grandes alterações entre 10 e 25 cm, indicando que a *B. decumbens* pode ser manejada dentro desse intervalo. Grasselli et al. (2000) também obtiveram máximo rendimento forrageiro em pasto de *B. decumbens* manejado à altura de 20 cm em sistema com lotação contínua e taxa de lotação variável.

Para o capim-mombaça (*Panicum maximum*) sob pastejo rotativo, Da Silva e Corsi (2003) recomendam a entrada dos animais no piquete, quando o estrato de folhas do pasto atingir 90 cm de altura e saída com um resíduo pós-pastejo de 30 cm de altura. No capim-tanzânia (*Panicum*

maximum) sob pastejo rotativo, estes mesmos autores recomendam a entrada dos animais na altura pré-pastejo de 70 cm e saída com resíduo pós-pastejo em torno de 30 cm.

Manejo da fertilidade do solo em pastagens

Os solos utilizados com pastagens normalmente são aqueles que apresentam alguma limitação, como baixa fertilidade natural, acidez elevada, topografia acidentada, má drenagem. Por isso, apresentam baixa capacidade de suprir nutrientes, além de teores tóxicos de Al, o que resulta em níveis de produtividade relativamente baixos. Na fase inicial de utilização apresenta produção razoável, decorrente de pequenos investimentos que são feitos na implantação, como correção da acidez e do revolvimento de solo, que promove a mineralização da matéria orgânica (MO) disponibilizando nutrientes, mas cuja produtividade decresce com o passar dos anos. Se o solo aporta quantidades insuficientes de nutrientes para atender à demanda de produção da forrageira, a fertilização torna-se necessária. Se o produtor planeja intensificar a produção de leite ou carne, a fertilização torna-se essencial. Apesar disso, poucos produtores adotam a adubação dos pastos, por não reconhecerem nessa prática retorno financeiro. Levantamento da CATI (apud MAYA, 2003), revelou que em São Paulo, Estado mais rico da federação e onde a pecuária sofre grande concorrência com a cana-de-açúcar e a laranja, somente 15,7% das pastagens recebem investimento em adubação que possam caracterizá-las como de exploração intensiva.

No Brasil, apesar do crescimento no consumo de fertilizantes, a utilização em pastagens é muito baixa, segundo Ramos et al. (2004), menos de 5 kg/ha, incluídos os fertilizantes fosfatados de baixa solubilidade. Isto explica em parte, porque a maioria das pastagens encontra-se degradada ou em degradação. Por carência de

nutrientes minerais, as gramíneas sob pastejo não conseguem sustentar um crescimento adequado para a intensidade de uso a que são submetidas.

Em campos naturais, onde o pastejo é muito leve e praticado apenas por herbívoros silvestres, a taxa de crescimento é mantida pela reciclagem. Internamente, as plantas mobilizam os nutrientes das partes maduras e senescentes para as partes em crescimento. Externamente, a palha que retorna ao solo é decomposta e os nutrientes nela contidos são novamente disponibilizados para absorção. Em pastagens artificiais sob pousio ou com pastejo muito leve, um processo semelhante ocorre.

Sob pastejo em sistemas de produção, os processos que ocorrem são diferentes. O bovino introduz um novo compartimento em que grande parte da forragem produzida passa por ele. O animal reduz a velocidade de reciclagem, altera o padrão de distribuição dos resíduos pastejados que retornam ao pasto por meio das excreções e reduzem a reciclagem interna da forrageira pelo consumo das partes mais tenras. Nascimento Junior et al. (1994) afirmam que embora a concentração de nutrientes nas excreções seja elevada, devolvendo ao solo grande parte dos nutrientes ingeridos, sua distribuição irregular e a imobilização parcial na MO das fezes limitam sua reutilização total. Esses efeitos variam com a taxa de lotação, sistema de pastejo, área de descanso dos animais, manejo do rebanho e quantidade e frequência de excreção. No Gráfico 1, pode-se ver a maior concentração de fezes e urina em torno do bebedouro, utilizado por vacas lactantes, em um piquete sob pastejo com lotação rotacionada, em diversos períodos do ano. Se esse efeito se manifesta sob pastejo com lotação rotacionada, em que áreas menores são pastejadas por curtos períodos, espera-se que seja muito mais intenso sob pastejo com lotação contínua em pastos maiores, situação comumente encontrada no Brasil.

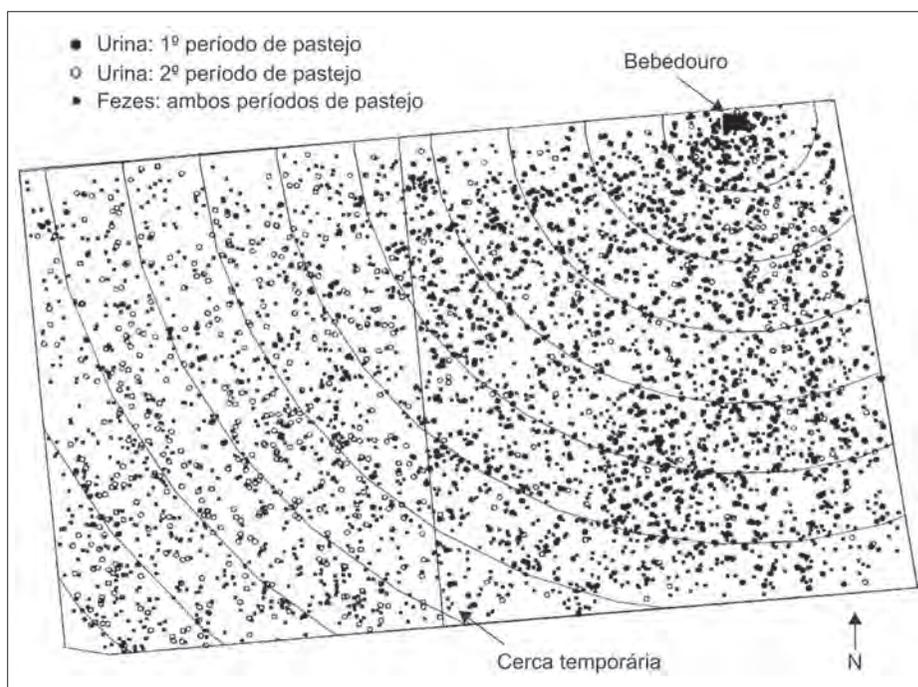


Gráfico 1 - Distribuição de fezes e urina em cinco períodos de 24 h, obtidos de julho de 1997 a abril de 1998, em um piquete de 0,74 ha utilizado sob pastejo com lotação rotacionada (média de 2,48 vacas/ha), por vacas lactantes
 FONTE: White et al. (2001).

Assim, práticas de recuperação de pastagens degradadas que não promovam a reposição de nutrientes têm efeito pouco duradouro. Entre essas práticas incluem-se a movimentação do solo, pousio, queima, etc. Por outro lado, a aplicação de fertilizantes em pastagens degradadas é que tem proporcionado as melhores respostas na recuperação da produtividade da forrageira. Naturalmente que outras práticas, além da fertilização, podem ser necessárias, como em situações que houve comprometimento do solo, com erosão, grande infestação por invasoras, presença de cupinzeiros, etc. Em qualquer situação, um levantamento detalhado da área a ser recuperada, com análise do solo, é recomendado. Freire et al. (2005) discutem aspectos relacionados com a amostragem de solo, correção da acidez e aplicação de nutrientes minerais em pastagens.

No Quadro 2, são apresentados resultados que mostram claramente o efeito de reposições anuais de fósforo e potássio sobre a sustentabilidade de pastagens. Os dados foram obtidos em um estudo de

nove anos, o que dá consistência aos resultados. Nesse caso, não houve adubação nitrogenada, pois o pasto era consorciado com as leguminosas forrageiras estilossantes e soja perene, que fixam nitrogênio do ar e transferem parte dele ao pasto. A quantidade de nitrogênio reciclado é proporcional à quantidade de leguminosa na composição botânica do pasto.

A ausência de adubação de reposição levou à queda intensa na produtividade do pasto, de 299 kg, no primeiro ano, para apenas 50 kg ao final de nove anos (Quadro 2). Essa situação é normalmente observada em pastagens artificiais. Nos primeiros anos, após a formação do pasto, consegue-se boa produção decorrente de pequenos investimentos na formação, como a calagem e o revolvimento do solo, que promove a decomposição da MO do solo e libera nutrientes para a forrageira. Com o passar dos anos, parte dos nutrientes minerais é extraída em produto animal (bovinos, leite e esterco comercializados), e a outra parte que fica vai sendo imobilizada novamente na MO.

QUADRO 2 - Taxa de lotação e rendimento de peso vivo de bovinos em pastagem de *Panicum maximum* (cv. Makueni) consorciada com leguminosas e adubada com três doses anuais de fósforo e potássio durante nove anos

Ano	Adubação de manutenção (kg/ha/ano de P ₂ O ₅ e K ₂ O)	Taxa de lotação (1UA/ha)	Ganho peso vivo (kg/ha/ano)
1	0	1,01	299 e
	20+20	1,20	369 d
	40+40	1,45	376 d
3	0	0,73	170 f
	20+20	1,15	339 d
	40+40	1,60	448 c
6	0	0,52	100 d
	20+20	1,24	365 c
	40+40	1,80	520 b
9	0	0,29	50 h
	20+20	1,25	350 d
	40+40	2,05	560 a

FONTE: Dados básicos: Vilela et al. (2004).

NOTA: Letras minúsculas diferentes na coluna, diferem entre si pelo teste F (P<0,05).

(1)UA – Unidade animal = 450 kg de peso vivo.

A produtividade do pasto vai diminuindo pela redução dos nutrientes minerais disponíveis. Esses efeitos são mais acentuados para o fósforo, potássio e nitrogênio, que são requeridos pelas plantas em maior quantidade.

O pasto que recebeu apenas 20 kg/ha/ano de P₂O₅ e de K₂O, o equivalente a 110 kg de superfosfato simples (pouco mais de 2 sacos) e 33 kg de cloreto de potássio (menos de 1 saco), por hectare, respectivamente, manteve a produtividade obtida no primeiro ano ao longo dos nove anos avaliados. Este trabalho mostra que o investimento requerido para manter o pasto produtivo ao longo dos anos não é alto. Quando a adubação de manutenção foi elevada para 40 kg/ha/ano de P₂O₅ e de K₂O, a produtividade animal do pasto apresentou elevação consistente a cada ano, passando de 376 kg/ha de peso vivo no primeiro ano, para 560 kg/ha no nono

ano, com elevação na capacidade de suporte animal do pasto.

A análise anterior levou em conta apenas a produção do animal. Há outros ganhos paralelos, como melhor cobertura do solo pelo pasto, o que reduz a erosão, aumenta a infiltração de água e diminui a infestação por invasoras. Há o apelo ecológico de maior sequestro de carbono, compensando parcialmente a produção de gás metano pelos bovinos. Segundo Cerri et al. (2006), o solo sob pastagem bem manejada proporciona acúmulo de carbono em quantidade que pode equiparar-se ou mesmo superar aquele encontrado sob vegetação nativa.

Integração Lavoura-Pecuária na recuperação de pastos degradados

Em condições que não há urgência na recuperação e utilização do pasto, a Inte-

gração Lavoura-Pecuária pode ser utilizada. Há inúmeros casos de sucesso na formação do pasto pelo Brasil, com a vantagem que a integração com lavoura amortiza totalmente ou parcialmente o custo de formação do pasto (SOUZA; TEIXEIRA, 2007). Apresenta o inconveniente de exigir do pecuarista treinamento e maquinário para o cultivo da lavoura. Quando o pecuarista não tem as condições exigidas, parcerias podem ser feitas com agricultores, cuja negociação pode incluir o pasto formado após a colheita da lavoura. A Integração Lavoura-Pecuária está descrita em diversos artigos do Informe Agropecuário (2007).

A Integração Lavoura-Pecuária já vem sendo avaliada com a introdução do componente florestal na renovação do pasto. As propostas mais recentes incluem a introdução de fileiras de eucalipto junto com a lavoura e o pasto (Fig. 3). Após a colheita da lavoura, tem-se o pasto formado e a espécie florestal em crescimento. No caso da introdução de espécies florestais, pode ser necessário esperar maior tempo para iniciar o pastejo, assegurando que os animais não danifiquem as árvores. Esse sistema difere daquele que vem sendo aplicado e difundido por algumas empresas da área florestal, em que o pasto é introduzido no ano 2, após dois cultivos de lavoura (normalmente arroz e soja). Os primeiros estudos com a implantação simultânea da lavoura, do pasto e da espécie florestal estão começando e não existe uma recomendação tecnológica definida. No caso da introdução do pasto após dois anos do plantio do eucalipto, como é praticado por empresas da área florestal, existem muitos estudos e a tecnologia já está bem consolidada. Normalmente, o arroz é plantado por ocasião do plantio do eucalipto e a soja no ano agrícola seguinte, com a formação do pasto nas entrelinhas do eucalipto com dois anos de idade e de porte suficiente para conviver com o pastejo. Esse método está descrito em Macedo et al. (2008).



Figura 3 - Pastagem degradada sendo renovada com integração de milho *B. brizantha*, cv. Marandu, e eucalipto, em Viçosa, MG

Uso de sistemas silvipastoris

Entre as propostas disponíveis para recuperação de pastagens degradadas, o uso de sistemas silvipastoris (SSPs) pode ser uma alternativa viável, por causa do potencial desses sistemas para desenvolver modelos sustentáveis de exploração pecuária. Os SSPs, modalidade dos sistemas agroflorestais, intencionalmente integram árvores ou arbustos, culturas forrageiras e animais herbívoros dentro de uma estrutura com interações planejadas. Conforme citado anteriormente, as opções de SSPs que integram a utilização do eucalipto já foram bastante estudadas. No caso de outras espécies florestais, particularmente árvores nativas e exóticas, os estudos ainda são poucos e a tecnologia de utilização é pouco consistente.

Garcia et al. (2005 apud MACEDO et al., 2008) listam 17 benefícios da presença de árvores nas pastagens cultivadas. A seguir são destacados alguns mais importantes:

- a) aumento da biodiversidade;
- b) produção de sombra e redução da intensidade de calor ou frio, proporcionando um ambiente favorável para os animais;

- c) renovação e/ou incremento do ciclo orgânico e de nutrientes, principalmente quando se utilizam espécies fixadoras de nitrogênio;
- d) oferecimento de suplementação alimentar para os animais por meio de árvores forrageiras;
- e) fornecimento de madeira, lenha, postes, mourões que podem ser utilizados na propriedade rural e/ou produtos de base florestal com agregação de valor econômico;
- f) melhoria das propriedades físicas e químicas do solo;
- g) controle da erosão;
- h) oferta de pasto de melhor qualidade no período da seca.

As desvantagens, segundo Montoya Vilcahuaman et al. (2000), são:

- a) custos associados à implantação e à manutenção das árvores;
- b) competição das árvores por luz, água e nutrientes minerais poderá prejudicar o pasto, se o sistema não for devidamente manejado;
- c) número reduzido de árvores no pasto, levando à competição do gado pela sombra, o que provoca a

deterioração do pasto sob as árvores, compactação do solo e concentração de dejetos no entorno.

Além dessas desvantagens citadas, pode-se acrescentar a imobilização da área do pasto durante a implantação das árvores até que elas cresçam o suficiente para conviver com o pastejo.

A implantação de sistemas agroflorestais (SAFs) é indicada para diversas situações, onde for planejada a recuperação da produtividade da pastagem, sendo, no entanto, particularmente apropriada, quando houver a renovação da pastagem. O sucesso da implantação de um SSP, em determinada região, depende de fatores como o uso de espécies arbóreas e forrageiras adaptadas e tolerantes às condições impostas pelo ambiente. A escolha da espécie arbórea deve ser feita com base no tipo de exploração que se pretende e no potencial que o mercado oferece na região. No caso das forrageiras, deve-se optar por espécies mais tolerantes ao sombreamento, como as espécies do gênero *Brachiaria* e *Panicum*, que apresentam desenvolvimento satisfatório sob sombra moderada. Apesar de tolerantes, espécies desses dois gêneros apresentam forte redução da produção sob sombreamento intenso.

Quanto às árvores, o ideal seria a utilização de espécies nativas ou bem adaptadas às condições edafoclimáticas da região, com crescimento inicial rápido e copa reduzida ou pouco densa, para diminuir o sombreamento do pasto, de preferência leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio. A adaptação, a acidez e a baixa fertilidade do solo devem ser consideradas. Espécies que apresentam sistema radicular profundo reduzem a competição por nutrientes minerais com o pasto, além de reciclar os nutrientes das partes mais profundas para a superfície do solo. Outra característica desejável seria a regeneração rápida, quando danificada. A produção de madeira, frutos, óleo, carvão ou outros produtos com alto potencial para comercialização agrega valor econômico ao

sistema. Entre as espécies de leguminosas nativas da Zona da Mata de Minas Gerais destaca-se o angico-mirim por apresentar crescimento rápido e alta capacidade para adicionar nutrientes ao solo e à pastagem. Outras espécies nativas como o angico-vermelho, angico-branco, jacarandá-da-bahia, bordão-de-velho, mulungu e jacaré também são recomendadas. Dentre as espécies exóticas pode-se destacar a *Racosperma mangium* (ex *Acacia mangium*).

Deve-se ter cuidado com a introdução de espécies exóticas, com alto potencial de produção de sementes e disseminação, pelo risco de se tornarem problema como invasoras. Há relatos de problemas com a espécie ipê-mirim (*Tecoma stans*), usada como planta ornamental. A planta tem grande capacidade de reprodução, tornando-se uma infestante de importância, especialmente em pastagens, onde forma povoamentos densos, diminuindo a capacidade de suporte. No estado do Paraná, na década de 1990, cerca de 50 mil ha, em 73 municípios, estavam infestados, sendo que em 10 mil ha a criação de gado chegou a ser inviabilizada. Pela dificuldade de eliminação e facilidade de reinfestação, muitas áreas infestadas foram abandonadas (KRANZ; PASSINI, 1997).

Dentre os modelos de SSP que têm sido recomendados com objetivo de recuperar pastagens tropicais degradadas podem-se destacar o plantio de árvores em linha simples, em linhas duplas, disperso no pasto e o plantio em bosquetes. No plantio em linhas, as árvores são dispostas em espaçamentos regulares entrelinhas e entre plantas. O espaçamento recomendado depende das características da árvore, da finalidade do empreendimento e da espécie animal. Em áreas declivosas, a disposição das linhas de plantio das árvores deve seguir a orientação de curvas de nível, com o objetivo de controlar a erosão.

No plantio disperso, as árvores são distribuídas aleatoriamente pelo pasto. Esse modelo é o que mais se aproxima da situação natural e pode ser utilizado quan-

do existe a intenção de aumentar a biodiversidade do sistema. Pode ser desenvolvido pelo plantio de árvores ou permitindo-se a regeneração de espécies já existentes na pastagem.

No plantio em bosquetes, as árvores são arrançadas em grupos compactos na pastagem. No interior destes pequenos bosques, o excesso de sombra pode reduzir o crescimento do pasto, induzir o agrupamento do gado e provocar a compactação do solo.

A Embrapa Gado de Leite vem avaliando, na Zona da Mata de Minas Gerais, um SSP plantado em 1998 com leguminosas arbóreas (*Acacia mangium*, *A. angustissima*, *Mimosa artemisiana*) e eucalipto, estabelecidas em faixas de 10 m, alternadas com faixas de 30 m de *Brachiaria decumbens*. Outra área contígua foi plantada apenas com *B. decumbens* e manejada da mesma forma que a anterior. Paciullo et al. (2007) fez uma compilação dos resultados obtidos em nove anos, apresentando as seguintes conclusões:

- não foram detectadas diferenças significativas na produção de forragem e na capacidade de suporte entre os dois sistemas (houve um desbaste nas plantas de eucalipto no final de 2003);
- sob a copa das árvores foi obtido melhor valor nutricional da *Brachiaria*, mas considerando toda

a área, não houve diferença significativa entre os sistemas;

- os ganhos de peso vivo, por área e por animal, variaram com o ano. Em 2004/2005 e 2006/2007, o SSP apresentou ganho superior à *Brachiaria* solteira (Quadros 3 e 4). Em 2005/2006, não houve diferença. O melhor valor nutricional do capim sob as copas das árvores e o conforto térmico explicam a diferença de desempenho;
- o desbaste realizado em 2003 rendeu 7,3 dúzias de mourões e 10 m (estéreo) de madeira por hectare.

Paciullo et al. (2007) concluem pela viabilidade do SSP, atendendo aos pressupostos de maior produtividade animal (Quadro 4), produção adicional de madeira, reserva de madeira para colheita futura, manutenção da produtividade da gramínea, ausência de sinais de degradação do pasto, assegurando a sustentabilidade do sistema no período avaliado.

Outra possibilidade é a implantação de sistemas silvipastoris, em que o componente arbóreo arbustivo seja constituído por espécies oleaginosas. Segundo Dias et al. (2007b), é uma opção que, além de contribuir para evitar a degradação das pastagens, irá proporcionar produção de matéria-prima para a indústria de óleos vegetais, com particular interesse para a produção de biocombustíveis.

QUADRO 3 - Ganho diário (g) de peso vivo de novilhas em pastagem de *Brachiaria decumbens* em cultivo solteiro e em sistema silvipastoril (SSP)

Ano de avaliação	Época do ano/Tipo de sistema			
	Seca (180 dias)		Chuva (180 dias)	
	Solteiro	SSP	Solteiro	SSP
2004/2005	360a	328a	717b	836a
2005/2006	252a	276a	563a	647a
2006/2007	214a	204a	576b	706a

FONTE: Paciullo et al. (2007).

NOTA: a>b, na linha, compara sistemas, para uma mesma época do ano (P<0,05).

QUADRO 4 - Ganho (kg) por hectare de peso vivo de novilhas em pastagem de *Brachiaria decumbens* em cultivo solteiro e em sistema silvipastoril (SSP)

Ano de avaliação	Tipo de sistema/Época do ano					
	Solteiro			SSP		
	Seca	Chuva	Total	Seca	Chuva	Total
2004/2005	97	261	358	88	304	392
2005/2006	59	182	241	62	221	283
2006/2007	63	217	280	60	266	326

FONTE: Dados básicos: Paciullo et al. (2007).

Dias et al. (2007b) apresentam a possibilidade de consórcio do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) com a pastagem. Já existem algumas iniciativas de produtores nos estados de Minas Gerais e São Paulo, mas as avaliações ainda são muito recentes. Segundo esses autores, o fato de as folhas do pinhão-manso não serem consumidas pelo gado dispensa a proteção adicional das mudas, quando introduzidas em sistemas de produção que integram a exploração animal, qualificando essa espécie para inclusão em SSPs. No caso do pinhão-manso, já há recomendação de espaçamento para o consórcio com pastagens, sendo de 6,0 x 1,5 m para fileiras simples e de 6 x 2 x 2 m para fileiras duplas (DIAS et al., 2007a).

Outra planta oleaginosa com potencial para uso em SSPs, segundo Dias et al. (2007b), é a macaúba (*Acrocomia aculeata*), uma palmeira nativa das florestas tropicais, que contém de 20% a 30% de óleo nos frutos. O óleo é produzido de modo extrativista pela população onde ele ocorre, cujo uso abrange diversas aplicações. É encontrada em Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e em Minas Gerais, em áreas de Cerrado.

Outras palmáceas oleaginosas apresentam potencial para uso em SSPs como babaçu (*Orrbignya oleifera*), o dendê (*Elaeis guineensis*) e o coco (*Cocos nucifera*). No Vale do Rio Doce, em Minas Gerais, Wendling et al. (2006) avaliaram dois

sistemas constituídos por coco-anão (*Cocos nucifera*) + *Brachiaria brizantha* e cultivo exclusivo de coco. O coco foi plantado no espaçamento de 7 x 7 m. A pastagem foi manejada com novilhas leiteiras em crescimento, utilizando o pastejo rotacionado. Não houve diferença na produção de coco entre os dois sistemas, mas o sistema pasto+coco foi mais rentável. No Norte do Brasil e no Pantanal, o babaçu é tido como invasora de pastagens, embora existam relatos na literatura de exploração do babaçu em áreas utilizadas com pecuária. Também, nesse caso, não existem estudos direcionados para exploração dessas espécies em consórcio com pastagens, buscando mecanismos de controle da sua reprodução, arranjos espaciais que otimizem a produção da palmeira e do pasto, etc. De qualquer maneira, as palmáceas apresentam grande potencial para uso em SSPs, pois apresentam arquitetura de copa que permite boa passagem de luz para o estrato herbáceo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área de pastagens no Brasil vem diminuindo e é provável que essa redução continue, podendo, até mesmo, intensificar-se, decorrente da expansão de agricultura convencional e daquela dirigida para a produção de biocombustíveis. Apesar da redução na área de pasto, há espaço para crescimento do rebanho, bastando que haja pequeno aumento da

capacidade de suporte das pastagens, cujas tecnologias já estão disponíveis.

A recuperação de pastagens degradadas permite diversas abordagens, dependendo da condição do produtor e de seus interesses em relação ao uso do pasto. As forrageiras apresentam grande potencial de resposta à fertilização, e ações de melhoria podem ser feitas diretamente na pastagem com a prática de adubações regulares, explorando épocas estratégicas que permitam aliviar o déficit de forragem no período seco do ano. Em condições que o pecuarista possa desenvolver atividades agrícolas, poderia optar por um sistema de Integração Lavoura-Pecuária, visando reformar e manter as pastagens produtivas ao longo do tempo, tendo na agricultura uma fonte adicional de renda. A introdução do componente florestal na pastagem aparece como alternativa, embora com prazo de retorno mais longo. Os SSPs e agrossilvipastoris apresentam grande potencial de benefícios econômicos e ambientais, tanto para os produtores como para a sociedade. São sistemas multifuncionais, onde existe a possibilidade de intensificar a produção. Outra possibilidade é a implantação de SSPs, em que o componente arbóreo arbustivo seja constituído por espécies oleaginosas, com especial interesse na produção de biocombustíveis.

A visão que incorpora a questão ambiental, a sustentabilidade, a qualidade do produto, a disponibilidade de tecnologia, a rentabilidade e a cadeia produtiva deverá nortear o processo de tomada de decisão pelos pecuaristas.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Estatísticos:** Brasil - rebanho bovino - efetivo por unidade da Federação. Brasília, [2006]. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: mar. 2008.
- CAVALCANTE, M.A.B. **Características morfológicas, estruturais e acúmulo de forragem em relvado de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk sob pastejo, em diferentes altu-**

- ras. 2001. 134p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.
- CERRI, C.E.P.; FEIGL, B.J.; PICCOLO, M.C.; BERNOUX M.; CERRI, C.C. Seqüestro de carbono em áreas de pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 3., 2006, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, 2006. p.73-80.
- CONSELHO NACIONAL DA PECUÁRIA DE CORTE. **Balanco da pecuária bovina de corte: 1994 a 2007**. São Paulo: ABIEC, [2008]. Disponível em: <<http://www.abiec.com.br/estatisticas/14.pdf>>. Acesso em: mar. 2008.
- CORSI, M. Manejo de plantas forrageiras do gênero *Panicum*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 9., 1988, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1988. p.57-76.
- DA SILVA, S.C.; CORSI, M. Manejo do pastejo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 20., 2003, Piracicaba. **Anais...** Produção animal em pastagens: situação atual e perspectivas. Piracicaba: FEALQ, 2003. p.155-185.
- _____. PEDREIRA, C.G.S. Princípios de ecologia aplicados ao manejo da pastagem. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS, 3., 1997, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: UNESP-FCAV, 1997. p.1- 62.
- DIAS, L.A.S.; LEME, L.P.; LAVIOLA, B.G.; PALLINI FILHO, A.; PEREIRA, O.L.; DIAS, D.C.F.S.; CARVALHO, M.; MANFIO, C.E.; SANTOS, A.S.; SOUZA, L.C.A.; OLIVEIRA, T.S.; PRETTI, L.A. **Cultivo do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) para produção de óleo combustível**. Viçosa, MG, 2007a. 40p.
- _____. MILLER, M.D.; FERNANDES, E.N. Potencial do uso de oleaginosas arbóreas em sistemas silvipastoris. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL: SISTEMAS AGROSSILVIPASTORIS NA AMÉRICA DO SUL, 2., 2007, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2007b. 1 CD ROM.
- FREIRE, F.M.; FONSECA, D.M. da; CANTARUTTI, R.B. Manejo da fertilidade do solo em pastagens. **Informe Agropecuário**. Pastagem, Belo Horizonte, v.26, n.226, p.44-53, 2005.
- GRASSELLI, L.C.P.; GOMIDE, C.A.M.; PACIULLO, D.S.C.; GOMIDE, J.A. Características morfológicas e estruturais de um relvado de *B. decumbens* sob lotação contínua. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., 2000, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: SBZ, 2000. CD-ROM.
- IBGE. **Censo Agropecuário 2006**. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/2006/defaulttab_censoagro.shtm>. Acesso em: abr. 2008.
- INFORME AGROPECUÁRIO. Integração Lavoura-Pecuária. Belo Horizonte: EPAMIG, v.28, n.240, set./out. 2007.
- JANK, L.; VALLE, C.B. do; KARIA, C.T.; PEREIRA, A.V.; BATISTA, L.A.R.; RESENDE, R.M.S. Opções de novas cultivares de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais para Minas Gerais. **Informe Agropecuário**. Pastagem, Belo Horizonte, v.26, n.226, p.26-35, 2005.
- KRANZ, W.M.; PASSINI, T. Amarelinho: biologia e controle. Londrina: IAPAR, 1997. 19p. (IAPAR. Informe da Pesquisa, 121).
- MACEDO, M.C.M. Degradação de pastagens: conceitos, alternativas e métodos de recuperação. **Informe Agropecuário**. Pastagem, Belo Horizonte, v.26, n.226, p.36-42, 2005.
- _____. Pastagens no ecossistema cerrado: pesquisas para o desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO SOBRE PASTAGENS NOS ECOSSISTEMAS BRASILEIROS; REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 32., 1995, Brasília. **Anais...** Pesquisas para o desenvolvimento sustentável. Brasília: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1995. p.28-62.
- MACEDO, R.L.G.; VALE, A.B. do; VENTURIN, N. Eucalipto em sistemas silvipastoris e agrossilvipastoris. **Informe Agropecuário**. Eucalipto, Belo Horizonte, v.29, n.242, p.71-85, jan./fev. 2008.
- MARTINS, P.do C.; ZOCCAL, R.; YAMAGUCHI, L.C.T.; CARNEIRO, A.V. Competitividade da produção animal no setor agropecuário do Brasil Central. **Informe Agropecuário**. Integração – Lavoura – Pecuária, Belo Horizonte, v.28, n.240, p.9-14, set./out. 2007.
- MAYA, F.L.A. **Produtividade e viabilidade econômica da recria e engorda de bovinos em pastagens adubadas intensivamente com e sem o uso da irrigação**. 2003. 94f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- MELO, C.T. de; PIRES, C.A. de A.; FERNANDES, M.R. Situação atual das pastagens em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**. Pastagem, Belo Horizonte, v.26, n.226, p.9-14, 2005.
- MONTOYA VILCAHUAMAN, L.J.; BAGGIO, A.J. **Guia prático sobre arborização de pastagens**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 15p. (Embrapa Florestas. Documentos, 49).
- NASCIMENTO, M.C.; RIVA, R.D.D.; CHAGAS, C. da S.; OLIVEIRA, H. de; DIAS, L.E.; FERNANDES FILHO, E.I.; SOARES, V.P. Uso de imagens do sensor ASTER na identificação de níveis de degradação em pastagens. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.1, p.196-202, jan./mar. 2006.
- NASCIMENTO JUNIOR, D.; GARCEZ NETO, A.F.; BARBOSA, R.A.; ANDRADE, C.M.S. Fundamentos para manejo de pastagens: evolução e atualidade. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 1., 2002, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: SBZ, 2002. p.149-196.
- _____. QUEIROZ, D.S.; SANTOS, V.F. Degradação de pastagem e critério de avaliação. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 11., 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. p.107-152.
- PACIULLO, D.S.C.; SILVA, V.P.; CARVALHO, M.M.; CASTRO, C.R.T. Arranjos e modelos de sistemas silvipastoris. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SISTEMAS AGROSSILVIPASTORIS NA AMÉRICA DO SUL, 2., 2007, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2007. 1 CD-ROOM.
- RAMOS, A.K.B.; KARIA, C.T.; ANDRADE, R.P. de; BARCELLOS, A. de O.; VILELA, L. **Consortiação de gramíneas e leguminosas para a produção de bovinos**. Botucatu: UNESP-FCA, [2004]. Disponível em: <<http://www.fca.unesp.br/nutrir/artigos/pastagem/Consoqramleg.pdf>>. Acesso em: mar. 2008.
- SOUZA, J.A. de; TEIXEIRA, M.R. Experiências com a implantação do sistema Integração Lavoura-Pecuária. **Informe Agropecuário**. Integração Lavoura-Pecuária, Belo Horizonte, v.28, n.240, p.112-119, set./out. 2007.
- SPAIN, J.M.; GUALDRON, R. Degradação e reabilitação de pasturas. In: LASCANO, C.; SPAIN, J.M. (Ed.). **Establecimiento y renovación de pasturas**. Cali: CIAT, 1991. 426p.
- VILELA, H.; BARBOSA, F.A.; VILELA, D.; SILVA JUNIOR, F.V. da. **Sustentabilidade econômica da adubação de manutenção com fósforo e potássio em pastagem consorciada de *Panicum maximum* e leguminosas sob pastejo e seu impacto na cadeia produtiva de carne bovina**. [2004]. Disponível em: <<http://www.drslucoes.com.br:8085/brasilpecuaria/artigos/5/HerbertVilelaSustentabilidadeCBA2003Completo.pdf>>. Acesso em: mar. 2008.
- WENDLING, I.J.; RUFINI, J.C.M.; YAMAGUCHI, L.C.T.; PREZOTTI, L.; COSTA, A.S.V.; CARNEIRO, J.C.; SOUZA, F.A.; OLIVEIRA, P.F. Avaliação do consórcio *Cocos nucifera* e *Brachiaria brizantha*, como alternativa de sistema silvipastoril para a região do Vale do Rio Doce. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBZ, 2006. 1 CD-ROM.
- WHITE, S.L.; SHEFFIELD, R.E.; WASHBURN, S.P.; KING, L.D.; GREEN JUNIOR, J.T. Spatial and time distribution of dairy cattle excreta in a intensive pasture system. **Journal of Environmental Quality**, v.30, n.6, p.2180-2187, Nov./Dec. 2001.

Revegetação e estabilidade de taludes

Liane Barreto Alves Pinheiro¹
Nívea Adriana Dias Pons²

Resumo - Conhecer os atributos do solo e suas propriedades mecânicas possibilita melhores resultados no processo de revegetação de taludes, como medida de recuperação. Na maioria das vezes, a intervenção antrópica de encostas, de forma inadequada, gera condicionantes de escorregamentos, como cortes, aterros, concentração de água superficial e subsuperficial, entre outros. Os fatores e condições que causam a instabilidade de encostas podem ser minimizados pela vegetação. No solo vegetado existe uma maior resistência ao cisalhamento, devido ao reforço gerado pelo sistema radicular. O tipo de vegetação, em relação ao sistema radicular e à parte aérea, deve ser considerado na análise de projetos para revegetação de encostas, levando-se em conta o tipo de solo, a inclinação do talude e as condições climáticas.

Palavras-chave: Área degradada. Recuperação. Solo. Raiz. Encosta. Talude.

INTRODUÇÃO

Para a implantação dos projetos de recuperação de áreas degradadas, independente da cobertura vegetal a ser utilizada, devem-se conhecer as características químicas, físicas e biológicas do solo ou substrato, que, na maioria das vezes, necessita de adequação.

Do mesmo modo, o estudo das formas de relevo e dos processos associados pode ser útil, não só na recuperação de áreas degradadas, mas também na prevenção da ocorrência de tais processos que acontecem, em especial, sobre as encostas, como erosões e movimentos de massa.

A estabilidade de uma encosta depende de uma série de variáveis, tais como: textura, forma, declividade e comprimento das rampas, presença de matações na matriz do solo, entre outras. Qualquer fator que aumente a força de cisalhamento ou diminua a resistência ao cisalhamento poderá causar o movimento na encosta.

A colocação do revestimento vegetal, como forma de prevenção ou recuperação de degradação, permite o aumento da resistência ao cisalhamento do solo, diminuição da tensão da umidade do solo e aumento da estabilidade geral.

Além do suporte físico para as plantas, o solo será o meio onde ocorrerão reações e fenômenos, determinantes do sucesso ou fracasso de todo processo de recuperação, assim como de seu estabelecimento. Embora exista grande conhecimento neste assunto, o aperfeiçoamento e a utilização em maior escala poderão aumentar a eficiência dos trabalhos de recuperação, pela redução do custo e aumento na qualidade dos projetos (MOTTA NETO, 1996).

Neste sentido, alguns aspectos em relação aos atributos do solo são abordados, assim como aqueles relacionados com a estabilidade de encostas e com a revegetação de taludes, a fim de auxiliar no pro-

cesso de recuperação de áreas de encostas degradadas.

ATRIBUTOS DO SOLO

No seu processo de formação, os solos desenvolvem-se como resultado do interrelacionamento de cinco fatores: material de origem, clima, organismos, relevo e tempo.

O material de origem inclui todos os materiais, orgânicos ou minerais, intemperizados ou não, dos quais os solos são formados. Pode ser definido como o corpo físico, onde, a partir de suas propriedades químicas e minerais, iniciam-se os efeitos de um ou mais dos outros fatores de formação (BUOL et al., 1973).

As principais propriedades do solo que se correlacionam com o clima são o conteúdo de matéria orgânica (MO), conteúdo de argila, natureza da argila e minerais de ferro, cor, extratos químicos, presença ou ausência de CaCO_3 e outros sais solúveis

¹Eng^a Florestal, D.Sc., Prof^a - UNIFEI-Instituto de Recursos Naturais, Caixa Postal 50, CEP37500-903 Itajubá-MG. Correio eletrônico: liane@unifei.edu.br

²Eng^a Civil, D.Sc., Prof^a Adj. I UNIFEI-Instituto de Recursos Naturais, Caixa Postal 50, CEP37500-903 Itajubá-MG. Correio eletrônico: npons@unifei.edu.br

e a profundidade dos horizontes salinos. Os dois aspectos do clima mais importantes no controle das propriedades do solo são a umidade e a temperatura (ALVARENGA, 2003).

Os organismos que habitam a superfície ou o interior do solo afetam seu desenvolvimento. Tais organismos englobam plantas superiores, vertebrados, microrganismos e mesofauna. As plantas extraem água e nutrientes do solo e, sob condições naturais, retornam a maioria desses nutrientes para a superfície, decompondo-se e deixando os nutrientes disponíveis para uma reabsorção.

O relevo local controla a distribuição dos solos na paisagem. Muitas das diferenças dos solos, que variam com a topografia, devem-se a alguma combinação de microclima, pedogênese e processos geológicos superficiais, sendo difícil a ordenação dos seus efeitos para cada distribuição de solo. As propriedades do solo variam lateralmente sob dois aspectos: quanto à orientação dos declives, a qual afeta o microclima e influencia na formação dos solos; quanto à porcentagem de declive, a qual interfere nas taxas de escoamento superficial e subsuperficial das águas, sendo componente da determinação do potencial erosivo.

A formação do solo é um processo longo e lento, que requer anos ou milhões de anos. A relação do solo com o tempo pode ser discutida quanto ao estágio de desenvolvimento, à idade absoluta de horizontes e perfis, à taxa de formação, à relação da idade com formas declivosas e planas, associadas com o intemperismo complexo, à pesquisa em experimentos e laboratórios (ALVARENGA, 2003).

Os processos que operam na formação dos solos referem-se à adição, remoção, translocação e transformação, enquanto que os fatores de formação dos solos definem o estado do sistema solo, definindo suas propriedades.

A análise mais detalhada do ambiente requer o conhecimento das interações entre os atributos do solo, suas proprie-

dades físicas, químicas e biológicas. Tais propriedades têm efeito direto nas taxas de crescimento e desenvolvimento das raízes.

Atributos químicos

São os teores dos nutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, zinco, ferro molibdênio, cobre e boro), pH e teores de MO, que devem ser avaliados de acordo com o *status* do solo e a vegetação a ser implantada. Os teores adequados são importantes, para que não ocorram problemas de toxidez ou deficiência.

Das propriedades químicas dos solos de região tropical, a MO tem grande importância, pois quanto maior os teores, melhor será a capacidade de retenção da umidade, estruturação dos agregados, porosidade do solo e capacidade de troca de nutrientes. Além disso, a MO favorece a biologia do solo e, de acordo com Wooster e Swift (1994), são os processos biológicos que controlam a fertilidade dos solos tropicais.

Atributos físicos

É sabido que não basta ter condições químicas adequadas para o bom desenvolvimento vegetal. As propriedades físicas também têm grande importância no processo de recuperação de áreas, entre as quais têm-se a textura, densidade das partículas, densidade do solo, estrutura e estabilidade dos agregados, que estão diretamente relacionados com a permeabilidade do solo e sua resistência à erosão. O arranjo do espaço poroso do solo é condicionado por diversas variáveis, sendo a textura mais estável e importante no que diz respeito à identificação e ao comportamento do solo. Em função da textura, o solo responde de maneira diferente aos fenômenos, principalmente de ordem hídrica. De modo geral, estas propriedades interferem de maneira positiva melhorando as características físicas, evitando a compactação e aumentando a infiltração de água. O manejo desejável para

melhorar as condições físicas dos solos é o incremento de material orgânico, que tanto pode ser pela adição de matéria ou pelo crescimento da biomassa no próprio local. Uma vez que essa MO, somada à ação do sistema radicular das plantas e à biologia do solo, é responsável pela formação de agregados, resultando no melhoramento da estrutura, aeração, densidade, infiltração e retenção de água no perfil.

Atributos biológicos

Em áreas degradadas é comum a remoção ou perda total dos horizontes superficiais do solo, onde está a maior concentração de nutrientes, material orgânico e a maior parte da biota do solo, que, quando removidos, resultam na perda da fertilidade e acarretam problemas físicos como baixa permeabilidade e adensamento do solo.

A baixa atividade biológica dos solos, somada à perda da fertilidade natural e a problemas físicos, como a compactação e a questão da drenagem inadequada, são obstáculos para o estabelecimento da cobertura vegetal, que promove a proteção do solo. Assim, o conteúdo de MO do solo é o principal fator, que está associado com a melhoria ou o declínio da sua fertilidade. Para solos de regiões tropicais, a quantidade de MO é um excelente indicador de qualidade do ambiente, que está diretamente relacionada com a serapilheira depositada, a biota do solo, que incluem todos os organismos que vivem no solo, bem como com a distribuição das raízes ao longo do seu perfil.

Franco et al. (1992) relatam que espécies associadas a bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico e a micorrizas apresentam maior capacidade de estabelecimento em solos do que espécies que não possuem tais associações. Em virtude da estreita associação da comunidade da fauna com os processos de ciclagem de nutrientes que ocorrem no solo, as densidades da fauna refletem o padrão de funcionamento do ecossistema. Costa et al. (2002), ao estudarem a fauna do solo em plantios expe-

rimentais de eucalipto e de leguminosas, para fins de recuperação de áreas degradadas, relatam que a fauna do solo mostrou-se um excelente bioindicador de retorno para a qualidade deste.

As árvores podem contribuir para o processo de restabelecimento da fauna do solo, sendo importante para a decomposição de resíduos de plantas.

GEOMORFOLOGIA

A geomorfologia tem como principal objeto de estudo as formas de relevo. Além disso, também são investigados os processos que deram origem e os materiais que foram trabalhados pelos processos para resultar em diferentes formas.

Pela forma do relevo é possível inferir sobre a dinâmica da água no perfil do solo, em função das variações de infiltração e escoamento superficial que agem modificando o clima dos solos. Sendo assim, pode-se dizer que solos mais declivosos tendem a ser mais secos e solos de relevo mais suave tendem a ser mais úmidos.

O relevo, analisado com a fase de vegetação original, traz muitas informações importantes, como por exemplo, no caso de ocorrência de relevo plano com vegetação de Cerrado, indica a presença de solo profundo.

No estudo das formas de relevo devem ser levados em conta os materiais que constituem as encostas e que são trabalhados pela ação dos processos geomorfológicos. Esses materiais podem oferecer maior ou menor resistência à ação dos agentes externos. Como exemplo, considerando-se apenas a textura, no caso de solos com maior teor de areia fina e silte, estes apresentam maior suscetibilidade à erosão do que solos mais argilosos (ARAÚJO et al., 2005).

No estudo da estabilidade de encostas deve-se considerar uma série de variáveis, tais como: textura, contato solo/rocha abrupto, existência de fraturas no material rochoso, presença de matacões na matriz do solo, forma, declividade e comprimento das encostas etc.

Encostas

Classicamente, as encostas têm sido estudadas pelas Ciências Naturais (Geomorfologia e Pedologia) e pelas Ciências de Engenharia (Mecânica dos Solos e Mecânica das Rochas) (LOPES, 1996). A Figura 1 mostra o esquema representativo das Ciências que estudam as encostas e a ponte entre as Ciências Naturais e as Ciências de Engenharia constituídas pela Geologia de Engenharia e a Geologia Ambiental.

A Geomorfologia sempre teve como enfoque básico a origem e a evolução das encostas e só recentemente tem-se voltado para a quantificação.

As Mecânicas dos Solos e das Rochas seguem a metodologia da experimentação e quantificação. O objetivo destas Ciências é prático e imediato, considerando a situação de estabilidade das encostas.

A Geologia de Engenharia busca a aplicação dos conhecimentos desenvolvidos nas Ciências Geológicas, enquanto que a Geologia Ambiental, com estes mesmos conhecimentos, busca uma melhoria na utilização e conservação dos recursos do meio ambiente.

As encostas são formadas, basicamente, por dois conjuntos de processos: o intemperismo e o transporte. O intemperismo transforma os corpos rochosos em um manto particulado, inconsistente e friável. O modo como uma rocha se intemperiza depende do clima e, principalmente, da natureza desta rocha e do seu grau de fraturamento. O transporte dos materiais

intemperizados pode ocorrer por meio dos processos erosivos, em que as partículas são separadas e transportadas individualmente, ou por meio dos movimentos de massa, como o rastejo e os escorregamentos, em que as partículas são movidas em conjunto.

Uma encosta pode ser caracterizada como estável ou instável e seu equilíbrio pode ser estimado ao limite de segurança, sendo calculadas as forças ativas e resistentes, distribuídas ao longo de superfícies potenciais de ruptura, como é feito pelas Mecânicas dos Solos e das Rochas.

No entanto, deve-se considerar que, a longo prazo, não existem encostas estáveis, visto que estas evoluem continuamente e os equilíbrios são dinâmicos.

Augusto Filho e Virgili (1998) apontam como principais condicionantes dos escorregamentos e processos correlatos na dinâmica ambiental brasileira:

- características climáticas, com destaque para o regime pluviométrico;
- características e distribuição dos materiais que compõem o substrato das encostas/taludes, abrangendo solos, rochas, depósitos e estruturas geológicas (xistosidade, fraturas, etc.);
- características geomorfológicas, com destaque para inclinação, amplitude e forma do perfil das encostas (retilíneo, convexo, côncavo);
- regime das águas de superfície e subsuperfície;

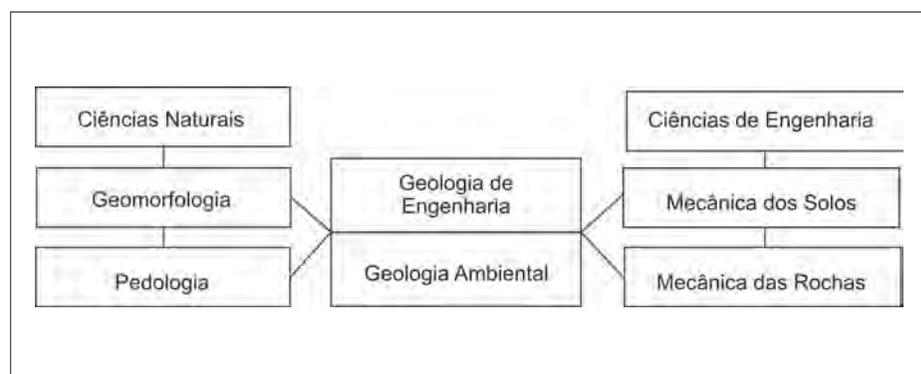


Figura 1 - Esquema representativo das Ciências que estudam as encostas

- e) características do uso e ocupação, incluindo cobertura vegetal e as diferentes formas de intervenção antrópica das encostas, como cortes, aterros, concentração de água pluvial e servida, etc.

Forças que mantêm o equilíbrio das encostas

A estabilidade das encostas é regulada por variáveis topográficas, geológicas e climáticas que controlam a força de cisalhamento e a resistência ao cisalhamento em uma encosta.

Os materiais particulados que constituem os solos podem-se acumular formando uma superfície limitada por taludes inclinados, em razão de possuírem resistência ao cisalhamento, a qual é garantida por forças de natureza atritiva. No caso de encostas constituídas por areia pura, seca, sua estabilidade deve-se ao atrito grão a grão, o qual se manifesta em função da pressão exercida pelo peso próprio desses grãos: cada grão transmite aos que estão abaixo uma pressão proporcional ao seu peso próprio e ao dos grãos que estão acima. A pressão é resistida pela estrutura do grão e pelo atrito que se desenvolve nas interfaces (Fig. 2).

O fenômeno do atrito nos solos ocorre pelo deslocamento de um grande número de grãos, que podem deslizar entre si ou rolar uns sobre os outros, acomodando-

se em vazios que encontrem no percurso.

As forças transmitidas nos contatos entre os grãos de areia e os grãos de argila são diferentes, pois, nos contatos entre os grãos de areia, geralmente as forças transmitidas são suficientemente grandes para expulsar a água da superfície, de tal forma que os contatos ocorrem entre os dois minerais. No caso das argilas, o número de partículas é maior e a força transmitida num único contato é reduzida. Isto deve-se ao fato de que as partículas de argila são envolvidas por moléculas de água quimicamente adsorvidas a elas e as forças de contato não são suficientes para remover as moléculas de água, sendo estas responsáveis pela transmissão das forças.

O coeficiente de atrito entre dois corpos de uma mesma substância é representado em Mecânica dos Solos pela tangente do “ângulo de atrito interno” dessa substância, o qual corresponde ao ângulo (ϕ) formado pela resultante (F) entre a reação à força normal aplicada (N) e à força de atrito disponível (T), com essa mesma força normal (Fig. 3A). O deslizamento pode ser provocado pela inclinação do plano de contato, que altera as componentes normal e tangencial ao plano de contato, que altera as componentes normal e tangencial ao plano do peso próprio (Fig. 3B).

Quando o ângulo formado pela resultante entre uma força externa normal e outra tangencial com a força normal exceder o

ângulo de atrito interno do material, haverá movimentação interparticular e, quando não exceder, haverá imobilidade. Sendo assim, em encostas constituídas por areia pura e seca, a inclinação do talude não deve ser maior que o ângulo de atrito interno do material constituinte da rampa (próximo de 33°), não havendo limitação de altura.

As argilas são compostas basicamente por minerais que possuem forma plana (de lamela), com tamanho de grão pequeno ($< 2 \text{ mm}$) e apresentam propriedades particulares como: capacidade de adsorção de água e cátions, plasticidade e coesão. Diante da existência das forças coesivas nas argilas é possível existir taludes com inclinações maiores que o ângulo de atrito interno, no entanto, haverá limitação de altura.

Portanto, o ângulo de inclinação do talude depende fundamentalmente das condições geotécnicas do solo. A definição do ângulo de inclinação deve ser feita pelo especialista em Mecânica dos Solos. Por norma brasileira, para solos coesivos (argilosos), esse ângulo poderá ser menor ou, no máximo, igual a 60° e, para solos não coesivos (siltes arenosos), esse ângulo será menor ou, no máximo, igual a 45° (Fig. 4).

Ao analisar a estabilidade de taludes, pode-se considerar uma coluna de solo, conforme é mostrado na Figura 5. Nesta coluna, serão avaliadas quatro forças

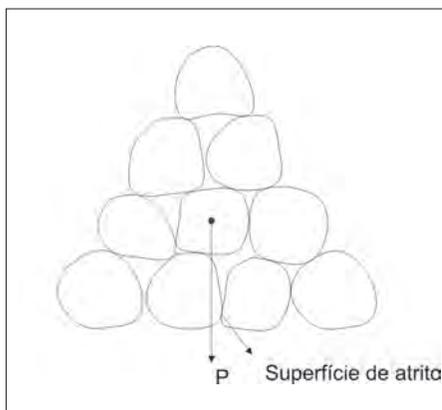


Figura 2- Atrito em nível granular

FONTE: Lopes (1996).

NOTA: P - Peso.

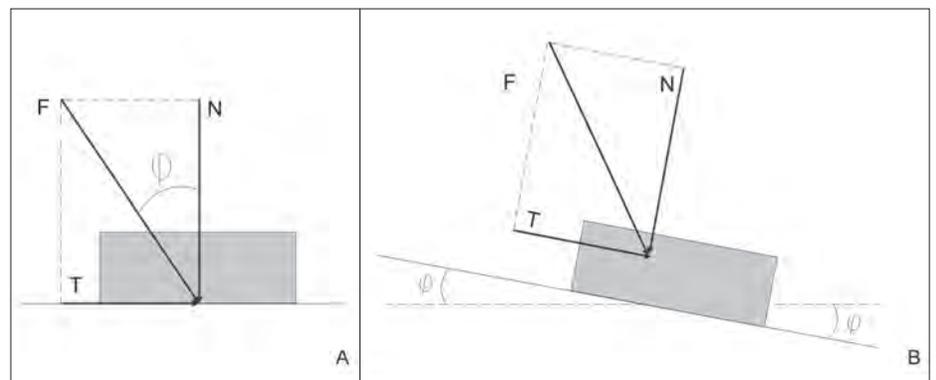


Figura 3 - Esquemas referentes ao atrito entre dois corpos

NOTA: Figura 3A - Plano de contato paralelo ao plano do peso próprio. Figura 3B - Plano de contato inclinado em relação ao plano do peso próprio, promovendo o deslizamento.

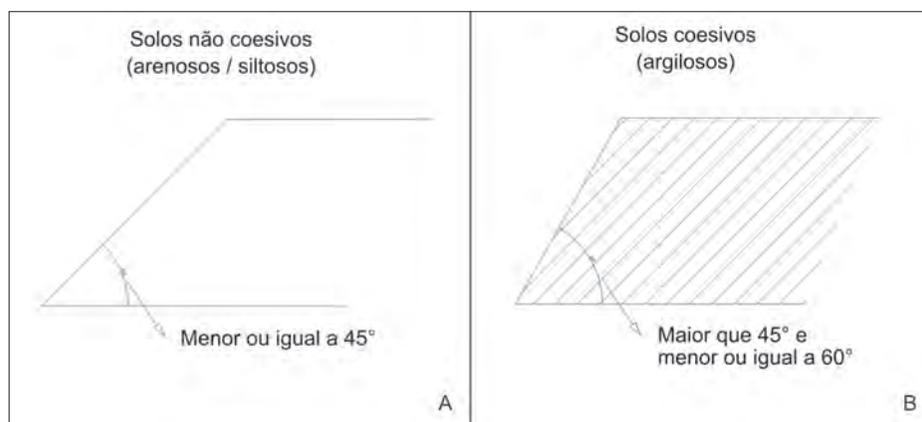


Figura 4 - Ângulo de inclinação

NOTA: A - Para taludes em solos não coesivos; B - Para taludes em solos coesivos.

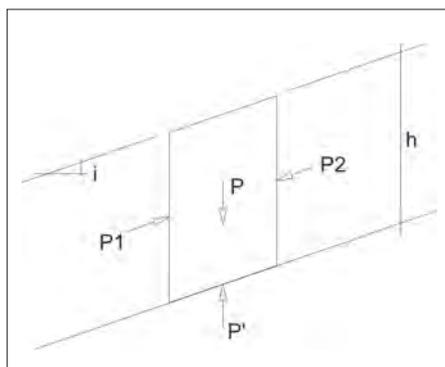


Figura 5 - Esquema representativo das quatro forças atuantes em uma coluna de solo, que devem estar em equilíbrio, para manter a estabilidade de um talude

NOTA: i - Inclinação; h - Altura.

atuantes que deverão estar em equilíbrio, ou seja: o peso da coluna de solo (P), passando pelo ponto médio da base; as forças que atuam nas faces laterais (P1 e P2) e que deverão ser iguais e terem a mesma linha de ação paralela à superfície do terreno; a força oposta ao peso da coluna (P').

Deve-se considerar que na maioria dos processos de instabilização de encostas e taludes atuam mais de um condicionante, agente, causa ou fator, concomitantemente. Alguns dos condicionantes têm particular importância, em função de referir-se diretamente às características geológico-geotécnicas, como é o caso do substrato, água de subsuperfície, chuva, cobertura vegetal e ação antrópica.

Além do ângulo de atrito e da coesão, outros parâmetros e propriedades dos solos influenciam suas suscetibilidades aos movimentos de massa e ao tipo de mecanismo da instabilização atuante, como por exemplo, peso específico, porosidade, índice de vazios, mineralogia, granulometria, plasticidade, permeabilidade, compressibilidade e histórico de tensões.

Cabe ressaltar que a estabilidade de taludes também está relacionada com o tipo

de construção, ou seja, talude de aterro ou de corte. No primeiro caso, o material de aterro proporciona homogeneidade na estabilidade, já que o apropriado para aterro é constituído de partículas pequenas (fração < 2 mm f), de baixa atividade, material oxídico proveniente de horizonte subsuperficial de solos em avançado estágio de intemperismo, como horizonte B de oxissolos e argissolos; também denominados solo residual maduro.

Para o talude de corte, deve-se considerar a sua profundidade sendo que o talude formado, via de regra, apresenta diferentes condições de estabilidade ao longo da encosta, em função da exposição de materiais em diferentes estágios de intemperismo. Normalmente, nos cortes mais profundos observa-se a exposição de solos coesivos (argilosos) na superfície, seguido por solos não coesivos (siltosos e arenosos), à medida que se distancia da superfície, podendo chegar até a rocha de origem (Fig. 6). Nessa situação os cuidados com a estabilidade devem variar com o material exposto, sendo que por medida de segurança, recomendam-se as técnicas para situações de baixa estabi-



Figura 6 - Taludes de cortes em diferentes profundidades com exposição de materiais em diferentes estágios de intemperismo

NOTA: A - O perfil expõe os horizontes A e C e a rocha em decomposição; B - Perfil com material mais homogêneo e presença de blocos da rocha de origem; C - Corte de talude em avançado estágio de instabilidade.

lidade, ou seja, ângulo de corte menor ou igual a 45°.

Qualquer variável ou fator que aumente a força de cisalhamento ou, pelo contrário, diminua a resistência ao cisalhamento, poderá causar um movimento na encosta. O Quadro 1 apresenta as causas de rupturas nas encostas, as quais foram agrupadas em duas categorias por Varnes (1958 apud GEO-RIO, 2000).

Os fatores e as condições que causam a instabilidade de encostas podem ser minimizados pela vegetação. Pelo reforço das raízes, uma vegetação arbórea que cresce em uma encosta pode aumentar a resistência ao cisalhamento do solo, diminuir a tensão da umidade do solo pela evapotranspiração e aumentar a estabilidade geral (ARAÚJO et al., 2005).

Para que a colocação do revestimento vegetal seja eficaz, deve ser escolhido o procedimento e a espécie mais adequada, levando-se em conta o tipo de solo, a inclinação do talude e as condições climáticas.

REVEGETAÇÃO DE ENCOSTAS

O plantio de árvores, principalmente as de rápido crescimento, é um método barato e eficiente para estabilização de encostas. A cobertura vegetal fornecida pelas copas das árvores, especialmente as de grande porte, tem um papel estabilizador muito importante sobre as encostas, por amortecer o efeito da erosão provocado pela chuva, além de fornecer cobertura morta ao solo, que será fonte de material orgânico. Isto favorece o solo, tanto em aspectos

físicos, como na retenção de partículas, quanto em aspectos químicos e biológicos, pela ciclagem do material. Tal benefício pode ser somado ao papel que as raízes têm em estruturar, condicionar, reforçar e conter mecanicamente o solo. As raízes também modificam a encosta, por meio da extração de umidade pela sucção no processo de evapotranspiração, ocasionando o rebaixamento do lençol freático, fenômeno muito importante tanto na manutenção como na recuperação do equilíbrio nas encostas (ARAÚJO et al., 2005; LOPES, 1996).

Além do efeito estabilizador, seus tecidos também funcionam como uma reserva de nutrientes e material orgânico para o processo de recuperação de solos degradados. Espécies de leguminosas arbóreas, associadas a microrganismos, são uma boa opção para revegetação de solos degradados. A técnica de revegetação é empregada para recompor áreas degradadas desprovidas dos meios naturais de regeneração (FRANCO et al., 1992; ANDRADE; FARIA, 1997).

A recuperação, muitas vezes, está relacionada com o bom desenvolvimento da vegetação, que tem uma função importante no controle da erosão. Araújo et al. (2005) comentam que os benefícios protetores ou estabilizadores dependem do tipo de vegetação e do tipo de processo de degradação da encosta. Na maior parte das vezes, têm influência benéfica na estabilidade. Porém, ocasionalmente, a vegetação pode afetar a estabilidade de maneira adversa, como por exemplo, obstruindo vistas, atrapalhando a inspeção ou pela escolha inadequada das espécies de acordo com o seu posicionamento na encosta. Embora a presença de vegetação adicione uma sobrecarga, se as árvores forem dispostas na base do talude, tendem a aumentar a estabilidade. Além do que, as raízes das árvores promovem uma significativa força estabilizadora em áreas montanhosas, onde os solos estão sujeitos a processos erosivos e movimentos de massa (PRITCHETT, 1979). Porém, o desenvolvimento das raízes das espécies

QUADRO 1 - Causas de rupturas nas encostas

Causas	Fator de instabilidade
Aumento na tensão de cisalhamento	Encosta sobrecarregada (estruturas e preenchimento no topo). Remoção do apoio lateral (cortes e escavações no sopé). Mudanças rápidas no nível d'água adjacente à encosta. Aumento na tensão lateral (rachaduras e fissuras preenchidas pela água). Terremotos (aumento na força condutora encosta abaixo).
Diminuição na resistência ao cisalhamento	Aumento na poropressão, o que reduz a tensão efetiva (infiltração das águas pluviais na encosta, vazão descontrolada da água dos drenos). Presença de argilas dilatadas (absorção d'água com perda da coesão intrínseca). Intemperismo e degradação físico-química (troca de íons, hidrólise, etc.). Falha progressiva pelo enfraquecimento da tensão de cisalhamento.

FONTE: Dados básicos: GEO-RIO (2000).

arbóreas depende de características genéticas das plantas e de fatores edafoclimáticos.

Hábito de crescimento das raízes

A forma da raiz de uma árvore tende a ser controlada por fatores genéticos e ambientais e tem influência considerável na estabilidade dos taludes.

Quando cresce sob condições favoráveis, cada espécie de árvore tende a desenvolver um sistema diferente de raiz, porém existem algumas partes comuns ao sistema radicular que são: raiz pivotante, que é a principal raiz da planta, com crescimento vertical formando a continuação do tronco da árvore; as raízes

secundárias, que crescem a partir do caule na direção horizontal; e as raízes terciárias, que crescem a partir das secundárias, em direção vertical, aprofundando-se no solo (Fig. 7).

A maioria dos sistemas radiculares pode ser caracterizada quanto ao hábito de enraizamento, que está relacionado com a forma, direção e distribuição das raízes, em formatos denominados pivotante, em forma de coração e em forma plana (ou apumada), conforme apresentado na Figura 8. As raízes são ainda caracterizadas quanto a sua intensidade, que está relacionada com a forma, a distribuição e o número de pequenas raízes.

As árvores que apresentam sistemas radiculares com raízes pivotantes são for-

tes e profundas, sendo capazes de penetrar no solo a grandes profundidades, contribuindo para estabilidade de encostas (ARAÚJO et al., 2005). Os sistemas com raízes do tipo planas ou apumadas são dominados por raízes laterais fortes e desenvolvem-se bem em solos rasos ou com algum problema de drenagem em profundidade. Aquelas em forma de coração apresentam raízes fortes e numerosas, que radiam diagonalmente sem uma raiz pivotante predominante. Embora se desenvolvam melhor em solos profundos, também são capazes de explorar fissuras nas rochas a uma extensão maior que os outros tipos de raiz. O hábito de crescimento tem considerável influência no tipo de habitat no qual irá desenvolver-se. Dependendo do formato do sistema radicular das árvores, pode-se ter uma menor ou maior aeração e principalmente infiltração de água até as camadas mais profundas do solo.

O número e a distribuição de raízes pequenas determinam a intensidade com que o solo é ocupado. Esta pode ser classificada em intensiva, quando um volume relativamente pequeno de solo está ocupado por um número grande de raízes, ou extensiva, quando se tem um volume maior de solo ocupado por poucas raízes. Para a maioria das árvores, as raízes pequenas estão na superfície do solo (ARAÚJO et al., 2005).

Limitações ao crescimento da vegetação

Além das características genéticas das plantas, o desenvolvimento vegetal será regulado pelas condições químicas físicas e biológicas dos solos. Os sistemas radiculares são responsáveis pelo bom desenvolvimento vegetal, que tendem a desenvolver-se melhor em solos profundos e bem drenados.

Freqüentemente, o lento crescimento da árvore é associado aos solos rasos, porém, não é exatamente pela falta de espaço para a raiz desenvolver-se que o torna lento, mas sim por causa do fornecimento de água e nutrientes (PRITCHETT, 1979).

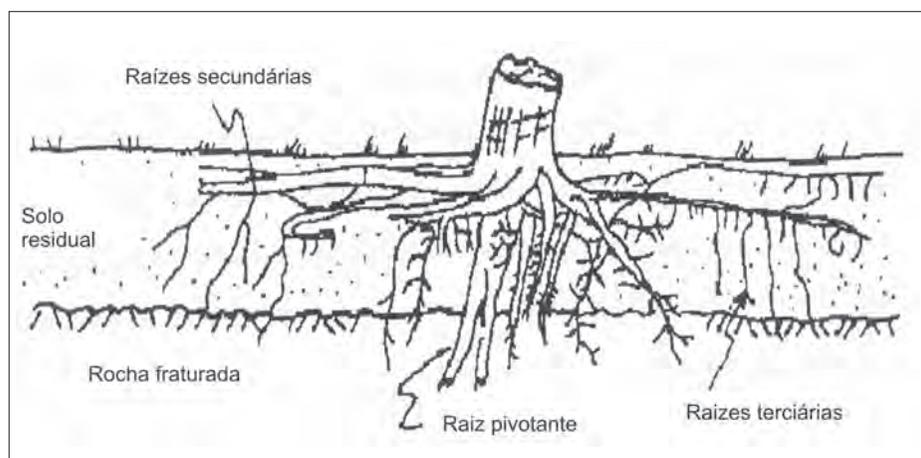


Figura 7 - Principais componentes do sistema radicular

FONTE: Gray (1996 apud ARAÚJO et al., 2005).

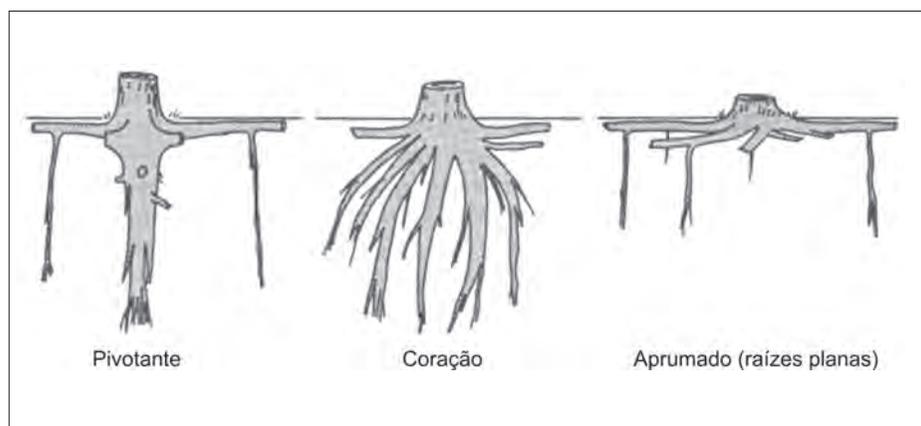


Figura 8 - Esquema representando o hábito de crescimento das raízes

FONTE: Pritchett (1979).

Os fatores que podem interferir em maior ou menor intensidade, na morfologia e no desenvolvimento radicular são, entre outros:

- a) profundidade do perfil;
- b) presença de rochas ou de pedras, que podem algumas vezes limitar a penetração das raízes;
- c) camadas de impedimento compactadas e baixa porosidade;
- d) excesso ou ausência de disponibilidade de água, pois o teor de umidade no solo tem uma grande influência no desenvolvimento e na distribuição das raízes;
- e) profundidade do lençol freático;
- f) acidez do solo e deficiências químicas;
- g) toxicidade de alguns elementos químicos.

O conhecimento destas características pode contribuir para a seleção de espécies adequadas ao reflorestamento de encostas e outras situações.

Andrade e Faria (1997), ao estudarem arquitetura e a biomassa de raízes de *Mimosa caesalpinifolia*, *Acacia mangium*, encontraram o sistema radicular distribuído horizontalmente até 30 cm de profundidade e atribuíram que o baixo desenvolvimento foi pelo impedimento edáfico, causado pela presença de um horizonte adensado em subsuperfície, que apresentou uma alta resistência à penetração das raízes e/ou à alta saturação com água no solo durante o período de maior precipitação.

Outra função muito importante está relacionada com o desenvolvimento do solo, que é o resultado da interrelação dos cinco fatores, já citado. As raízes participam ativamente, durante o seu crescimento, pela extração de água e nutrientes do solo, exercendo, assim, influência significativa no desenvolvimento do seu perfil.

Seleção das espécies para revegetação

Para escolha da espécie a ser utilizada

na revegetação, devem-se considerar a disponibilidade de água, a fertilidade do solo e o clima local. Existem plantas mais adequadas em relação ao tipo de raiz e parte aérea, e mais aptas às condições locais, para serem utilizadas na estabilização de taludes. A vegetação arbórea tem um sistema radicular profundo, fornecendo maior força mecânica e agindo na sustentação. As herbáceas e as gramíneas possuem o sistema radicular mais à superfície, fornecendo uma boa cobertura ao solo, que amortece o

impacto direto da gota da chuva, prevenindo, assim, a erosão. Os arbustos, quando comparados às árvores, não têm um sistema radicular tão profundo, porém, podem fornecer um reforço similar ao das árvores, além de exercerem menor sobrecarga na encosta, devido ao menor tamanho e à flexibilidade (ARAÚJO et al., 2005).

No Quadro 2, são apresentados alguns tipos de plantas e suas vantagens e desvantagens para aplicação na recuperação de taludes.

QUADRO 2 - Características dos diferentes tipos de plantas por porte, funções e aplicações para recuperação de taludes

Porte da planta	Vantagem	Desvantagem
Arbóreo	Sistema radicular vigoroso, com manutenção somente até seu estabelecimento; é perene; algumas espécies podem ser semeadas.	Crescimento mais lento, custo elevado.
Arbustiva	Enraizamento profundo; baixa manutenção; rústica; boa cobertura do solo; algumas são perenes e podem ser semeadas.	Algumas vezes apresenta estabelecimento difícil, plantio mais caro.
Herbácea		
Leguminosa	Fixa nitrogênio; adaptada a diversas condições de clima e solo; custo baixo. Sistema radicular mais profundo que as gramíneas, geralmente apresenta rápido crescimento.	Sementes são caras, algumas espécies são difíceis de estabelecer, ciclo de vida curto.
Gramínea	Baixo custo; muito rústica; rápida para se estabelecer; possui uma densa e boa cobertura superficial; tolerante a diferentes condições de clima e solo.	Sistema radicular pouco profundo necessita manutenção relativamente frequente.

FONTE: Dados básicos Araújo et al. (2005).

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, M.I.N. **Atributos do solo e o impacto ambiental**. 3.ed. Lavras: UFLA-FAEPE, 2003. 141p.

ANDRADE, A.G. de; FARIA, S.M. de. Arquitetura e biomassa de raízes de *Mimosa caesalpinifolia*, *Acácia mangium* e *Acácia holosericea* com seis anos de idade em planossolo. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 3., 1997, Ouro Preto. **Anais...** Do substrato ao

solo. Viçosa-MG: SOBRADE: UFV, 1997. p.144-149.

ARAÚJO, G.H. de S.; ALMEIDA, J.R. de; GUERRA, J.A.T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 320p.

AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J.C. Estabilidade de taludes. In: OLIVEIRA, A.M. dos S.; BRITO, S.N.A. de (Ed.). **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. cap.15, p.15-38.

BUOL, S.W.; HOLE, R.D.; MCCRAKEN, R.J. **Soil genesis and classification**. Ames: Iowa State University, 1973. 360p.

COSTA, P.; CORREIA, M.E.F.; FRANCO, A.A. Fauna do solo em plantios experimentais de eucalipto e de leguminosas arbóreas utilizados para fins de recuperação de áreas degradadas – I: densidade. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 5., 2002, Belo Horizonte. **Anais... Água e biodiversidade**. Belo Horizonte: SOBRAGE, 2002. p.78-80.

FRANCO, A.A.; CAMPELO, E.F.; SILVA, E.M.R. da; FARIA, S.M. de. **Revegetação de solos degradados**. Seropédica: EMBRAPA-UAPNPBS, 1992. 9p. (EMBRAPA-UAPNPBS. Comunicado Técnico, 9).

GEO-RIO. **Manual Técnico de encostas**. Rio de Janeiro, 2000. 3v.

LOPES, J.A.U. Estimativa de estabilidade de encostas naturais e procedimento preventivo/corretivos da engenharia civil. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO DA UFPR, 3., 1996, Curitiba. **Recuperação de áreas**

degradadas. Curitiba: FUPEF, 1996. p.59-81.

MOTTA NETO, J.A. Processos químicos e físicos na dinâmica de recuperação de solos degradados: uma visão interior. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO DA UFPR, 3., 1996, Curitiba. **Recuperação de áreas degradadas**. Curitiba: FUPEF, 1996. p.129-133.

PRITCHETT, W. **Properties and management of forest soils**. New York: J. Wiley, 1979. 500p.

WOOMER, P.L.; SWIFT, M.J. (Ed.). **The biological management of tropical soil fertility**. Chichester, UK: J. Wiley, 1994. 243p.

AVALIAÇÃO DE VARIEDADES MELHORADAS DE CANA-DE-AÇÚCAR

Produção de mudas e capacitação técnica para produtores

Avaliação e recomendação de variedades para produção de cachaça, utilização em usinas e alimentação animal.



EPAMIG

Centro Tecnológico do Centro-Oeste

Rod. MG-424 km 64 - Caixa Postal 295 - CEP 35701-970 - Prudente de Moraes - MG

Telefax: (31) 3773-1980 - e-mail: ctco@epamig.br

Proteção de taludes e controle de erosão com técnicas de bioengenharia

*Jéssica Schumann Costa¹
Maria Inês Nogueira Alvarenga²
Eliane Guimarães Pereira Melloni³
Rogério Melloni⁴*

Resumo - As técnicas de bioengenharia constituem alternativas às obras tradicionais de engenharia civil para a estabilização de taludes, contenção de erosões, recuperação de voçorocas, entre outras. Possuem a função de recuperar áreas degradadas a partir da vegetação, conjugadas a elementos inertes que podem ser estacas de madeira, troncos e produtos confeccionados com material degradável. Cada técnica tem uma aplicação mais indicada, dependendo do grau de degradação da área e a maioria pode ser aplicada em inclinações elevadas, de até 55°. Justificam-se, portanto, pelo fato de, geralmente, requerer utilização mínima de equipamentos e de movimentação de terra; podem ser aplicadas em locais de difícil acesso ou inacessíveis para o maquinário, e constituir, muitas vezes, única opção viável para obras de proteção de taludes e controle de erosão. Consta-se, ainda, que a maioria das técnicas pode ser utilizada em conjunto umas com as outras, o que pode aumentar sua eficiência.

Palavras-chave: Área degradada. Degradação do solo. Bioengenharia. Erosão. Estabilização. Recuperação do solo. Talude. Vegetação.

INTRODUÇÃO

A recuperação de áreas degradadas tem sido tema de diversos estudos, que procuram estabelecer metodologias para que possam ser recuperadas características físicas, químicas e biológicas, bem como melhorar o aspecto visual, das áreas impactadas.

Tanto no meio urbano como no rural, é comum observar ações como mineração, construção de estradas e represas, instalações industriais e agrícolas, urbanização, entre outras, que resultam em um impacto imediato sobre a estabilidade do

solo, acarretando em lixiviações, assoreamentos de corpos d'água e processos erosivos. No Brasil, de acordo com a Embrapa Agrobiologia (2007), estima-se que há mais de 200 milhões de hectares de solo degradado. No entanto, Rocha (2006) relata que existem poucos estudos sobre o tratamento de erosões, os quais abordem a eficiência e a técnica adequadas a serem aplicadas. Geralmente, são utilizadas somente técnicas tradicionais, que não consideram os aspectos biológicos necessários ao sucesso e à garantia da eficiência do trabalho ao longo do tempo.

Neste contexto, evidenciam-se técnicas de bioengenharia, que consistem na utilização da vegetação, conjugada a elementos inertes, que podem ser estacas de madeira, troncos e produtos confeccionados com material degradável. Esses materiais são aplicados de forma estruturada no solo em padrões e configurações especiais, de maneira que proporcionem a estabilização do solo e de sedimentos. Esta estruturação passa então a ter funções de reforço para o talude, barreira contra movimentos de terra, concentrador de umidade e dreno hidráulico.

A adoção dessas técnicas justifica-se

¹Eng^a Ambiental, Rua Aurélio Correale, 59 - Bairro Nossa Senhora de Fátima, CEP 37502-518 Itajubá-MG. Correio eletrônico: jessica_scosta@yahoo.com.br

²Eng^a Agr^a, D.Sc., Prof^a Adj. UNIFEI, Caixa Postal 50, CEP 37500 Itajubá-MG. Correio eletrônico: mariaines@unifei.edu.br

³Eng^a Agr^a, D.Sc., Prof^a Adj. UNIFEI, Caixa Postal 50, CEP 37500-903 Itajubá-MG. Correio eletrônico: elianegp@unifei.edu.br

⁴Eng^a Agr^a, D.Sc., Prof^a Adj. UNIFEI, Caixa Postal 50, CEP 37500-903 Itajubá-MG. Correio eletrônico: rmelloni@unifei.edu.br

pelo fato de, geralmente, requerer utilização mínima de equipamentos e de movimentação de terra; possibilitar sua aplicação em locais de difícil acesso ou inacessíveis ao maquinário, constituindo, muitas vezes, única opção viável para obras de proteção de taludes e controle de erosão.

MEDIDAS PREVENTIVAS NA IMPLANTAÇÃO DAS TÉCNICAS DE BIOENGENHARIA

As técnicas de bioengenharia, por utilizarem partes de plantas e/ou materiais inertes, têm o inconveniente de levar algum tempo para atingir a estabilidade, ou seja, uma boa estruturação do solo e o desenvolvimento de uma malha de raízes que otimizem a eficiência das técnicas empregadas. Nesse contexto, ressalta-se que o escoamento de águas de drenagem e a presença de água de insurgência comprometem e, até mesmo, inviabilizam a adoção das técnicas de bioengenharia, se medidas preventivas não forem adotadas, no momento de sua aplicação.

A insurgência d'água (infiltração e emergência), na face de uma encosta não protegida, pode acarretar na formação de dutos, solapamentos em nascentes ou recalques em aterros. Nesse sentido, a drenagem subsuperficial terá a função de interceptar e coletar a insurgência d'água.

Antes da aplicação de qualquer técnica de bioengenharia, deve-se atentar para a prévia necessidade de aplicar as obras de drenagem, que têm por finalidade a captação e o direcionamento seguro das águas do escoamento superficial, assim como a retirada de parte da água de percolação interna do maciço. Dessa maneira, essas obras representam um dos procedimentos mais eficientes e de mais larga utilização na estabilização de todos os tipos de taludes. A drenagem tem sido utilizada tanto nos casos em que é aplicada como único recurso, quanto naqueles em que é um recurso adicional, utilizada em conjunto com obras de contenção, retaludamento ou proteções diversas. Nesse sentido, independentemente se as técnicas de pro-

teção de taludes são de caráter biotécnico ou utilizam apenas concreto, a drenagem, quando necessária, é essencial para o sucesso da prática adotada (FREITAS, 2006; MACHADO JÚNIOR, 2007).

As obras de drenagem podem ser classificadas em drenagem superficial e drenagem profunda.

Drenagem superficial

Captação do escoamento das águas superficiais por meio de canaletas, valetas, sarjetas ou caixas de captação e, em seguida, condução dessas águas para um local adequado. Por meio da drenagem superficial evitam-se fenômenos de erosão na superfície dos taludes e reduz-se a infiltração da água nos maciços, resultando em uma diminuição dos efeitos nocivos da saturação do solo sobre sua resistência (MACHADO JÚNIOR, 2007).

Drenagem profunda

Tem como objetivo principal retirar água da percolação interna dos maciços (do fluxo por fendas e fissuras de um maciço terroso ou por fendas e fissuras de

maciços rochosos), reduzindo a vazão de percolação e as pressões neutras intersticiais. É realizada por drenos profundos, cujo funcionamento se dá por fluxo gravitacional, poços de alívio (com ou sem bombeamento d'água), ponteiras (com bombeamento por sucção), trincheiras drenantes ou galerias (Fig. 1). Ressalta-se que, para aumentar a eficiência desses métodos, muitas vezes é utilizado biotêxtil, para revestimento das tubulações e trincheiras, que poderá facilitar a retenção de água (FREITAS, 2006; MACHADO JÚNIOR, 2007).

ESPÉCIES UTILIZADAS NAS TÉCNICAS DE BIOENGENHARIA

A ausência de vegetação em um talude pode acarretar no desenvolvimento de processos erosivos e movimentos de massa. Nesse sentido, a vegetação é utilizada para a contenção desses processos. Na bioengenharia, a estabilidade de um talude é assegurada, a princípio, exclusivamente pelo material inerte, em função de sua estrutura, fixação e resistência. No entanto, em grande parte das técnicas, após

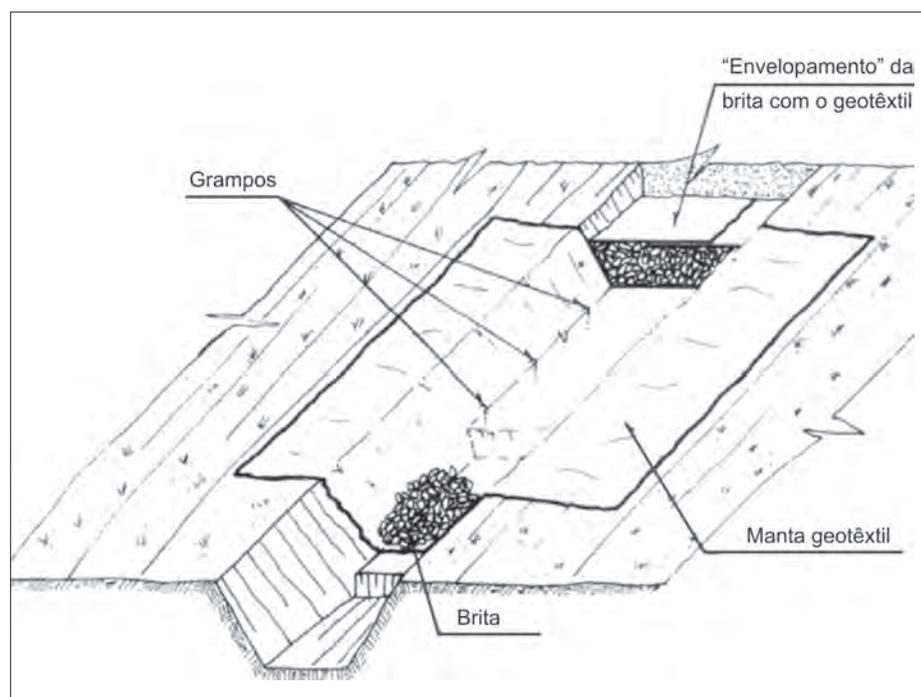


Figura 1 - Detalhes de uma trincheira drenante

FONTE: IPT (1991 apud MACHADO JÚNIOR, 2007).

alguns meses da implantação da obra, a tarefa de assegurar a estabilidade é desenvolvida principalmente pela parte vegetal viva, que irá proporcionar ao solo reforço e contenção mecânica pelas raízes e caules, redução da energia do escoamento superficial, aumento da infiltração de água, desenvolvimento da dinâmica biológica do solo, melhoria no aspecto estético, entre outros (CEMIG, 2002; ARAÚJO et al., 2005b; FREITAS, 2006).

Diversos fatores afetam a escolha adequada das espécies para recuperação e proteção ambiental; sendo algumas espécies mais bem adaptadas para fins de estabilização. Nesse sentido, devem ser consideradas as características do solo, do clima e os aspectos biológicos da vegetação, tais como: periodicidade, produção de biomassa, sistema radicular, fixação de nitrogênio, dormência de sementes, biodiversidade (ARAÚJO et al., 2005b; PEREIRA, 2007a).

Enquanto as gramíneas e herbáceas fornecem uma cobertura densa ao solo, sendo eficientes na interceptação da chuva e na prevenção de erosão superficial, a vegetação arbórea é mais vigorosa e tem um sistema radicular mais profundo, o que proporciona fortalecimento mecânico e ação de sustentação, sendo adequadas para a estabilização de massas. Por outro lado, os arbustos são mais flexíveis, apresentam menor biomassa acima do solo e exercem uma sobrecarga menor sobre as encostas, sendo indicados na estabilização de taludes em geral.

Grande parte das técnicas de bioengenharia utiliza estacas vivas na sua aplicação. Nesse sentido, ressalta-se que as espécies adequadas devem apresentar características como: alta tolerância a variações das condições ambientais, altas taxas de crescimento vegetativo, sistemas radiculares finos e extensos, ramos flexíveis e resistentes à abrasão e lesões, raízes resistentes à exposição ao ar; facilidade de manejo por poda, resistência a pragas e doenças e, sobretudo, elevada capacidade de enraizamento a partir de estacas e material lignificado.

Gramíneas e leguminosas têm sido utilizadas para a proteção de taludes de corte e aterros e para estabilização de erosões, sozinhas ou em conjunto com outras técnicas como biotêxteis, retentores de sedimentos, entre outras, principalmente aquelas de porte rasteiro e herbáceo. Geralmente, utiliza-se uma mistura de sementes que inclui gramíneas que germinam rapidamente e leguminosas de crescimento mais lento, que levam um tempo maior para se estabelecerem. Além disso, a qualidade das sementes é fator decisivo para qualquer plantio, principalmente quando é realizada a hidrossemeadura, pois é usual encontrar solos com problemas de umidade, compactação, lixiviação, fertilidade, entre outros (CEMIG, 2002; ARAÚJO et al., 2005b; DEFLO, 2007; DNIT, 2006a; PEREIRA, 2007a).

Os Quadros 1 e 2 apresentam uma relação de espécies de gramíneas e leguminosas e de espécies florestais, com as respectivas características para uso em áreas degradadas e para controle de erosão, que poderão auxiliar na escolha da espécie adequada à área a ser recuperada e nas técnicas a serem aplicadas (PEREIRA, 2007a; DNIT, 2006a; EMBRAPA AGROBIOLOGIA, 2007).

TÉCNICAS DE ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES E CONTROLE DE EROSÃO

As técnicas de bioengenharia utilizam materiais básicos para sua aplicação. Estes materiais podem ser inertes ou não-inertes, abrangendo a vegetação e produtos comercializados para este fim, como biotêxteis, também conhecidos como biomantas, e biorretentores.

Vegetação

Para a implantação das espécies vegetais, podem ser utilizadas sementes, ramos ou estacas vivas com a capacidade de evoluir, ramificar e enraizar-se, favorecendo a infiltração da água e a agregação do solo (CEMIG, 2002; FREITAS, 2006; MARTINHO, 2007; VERTICAL GREEN, 2007).

Hidrossemeadura

Na hidrossemeadura utiliza-se o jateamento de sementes sobre o solo. Este jateamento é a aplicação hidromecânica de uma massa aquosa ou pastosa que proporcionará a germinação de sementes. É composta por nutrientes, consórcio de sementes, matéria orgânica (esterco) e adesivos, os quais terão a função de aderir a mistura pastosa à superfície do solo. A composição da mistura é determinada pelas necessidades de correção do solo e de nutrição da vegetação a ser introduzida (DNIT, 2006a).

Estaqueamento

O estaqueamento é a inserção de estacas vegetativas, vivas e enraizáveis no solo. As estacas vivas são partes de ramos, coletadas preferencialmente da vegetação nativa. Devem ser instaladas em linha, do sopé ao topo do talude, em solo úmido, cobertas adequadamente com cobertura morta ou outra cobertura de solo (Fig. 2). Dependendo do grau de degradação, para melhores resultados, o procedimento pode ser utilizado conjuntamente com biotêxteis ou outros materiais.

Caniçadas

As caniçadas são galhos e ramos de material vegetativo vivo, enraizáveis, amarrados em grandes fardos, instalados em trincheiras rasas, ancorados com estacas de madeira ou estacas vivas e cobertos com terra. Esta técnica é indicada para encostas íngremes e rochosas, de solo úmido, devido à facilidade de aplicação. A disposição das caniçadas pode ser em linhas, seguindo as curvas de nível, ou em gradiente, no caso de taludes com grande umidade, sendo ambas as aplicações em trincheiras escavadas manualmente, criando uma série de banquetas na encosta, que auxiliam na redução da velocidade do escoamento superficial e ancoragem de sedimentos (Fig. 3). A distância entre as banquetas irá variar em função da inclinação e tipo de solo do talude (ARAÚJO et al., 2005b).

QUADRO 1 - Características de espécies de gramíneas e leguminosas, para uso em áreas degradadas e controle de erosão

Espécies		Precipitação (mm/ano)	Temperatura (°C)	Fertilidade dos solos			Tipo de solo				Tolerância					Raízes			Propagação			
Nome comum	Nome científico			Baixa	Média	Alta	Ácido	Drenado	Úmido	Seco	Seca	Acidez	Geadas	Fogo	Alongamento	Pragas	Rasa	Média	Profunda	Semente	Estaca	Muda
⁽¹⁾ Azevém-anual	<i>Lolium multiflorum</i>	900-1500	05-20			X		X									X			X		
⁽¹⁾ Braquiária	<i>Brachiaria brizantha</i>	900-1200	20-35		X		X			X						X				X		
⁽¹⁾ Braquiária decumbens	<i>Brachiaria decumbens</i>	800-1200	15-30	X			X			X						X				X		
⁽¹⁾ Braquiária marandu	<i>Brachiaria brizantha</i>	700-1200	15-35	X				X		X						X				X		
⁽²⁾ Calopogônio	<i>Calopogonium mucunoides</i>	700-1500	15-35	X			X	X	X	X	X		X			X				X		
⁽¹⁾ Capim-agulha	<i>Brachiaria humidicola</i>	700-2000	15-35		X		X			X						X				X	X	
⁽¹⁾ Capim-gordura	<i>Melinis multiflora</i>	800-4000	15-35	X												X				X		
⁽²⁾ Centrosema	<i>Centrosema pubescens</i>	800-1000	25-30		X										X	X				X		
⁽²⁾ Feijão-guandu	<i>Cajanus cajan</i>	900-1500	20-35	X			X			X						X				X		
⁽¹⁾ Gramma-batatais	<i>Paspalum notatum</i>	600-1200	15-30		X		X			X		X				X	X			X		X
⁽³⁾ Milheto	<i>Pennisetum americanum</i>	600-1200	20-25		X		X	X	X	X					X	X				X		
⁽³⁾ Mucuna-preta	<i>Mucuna aferrinaa</i>	700-1500	20-38	X			X	X	X	X				X		X				X		
⁽³⁾ Nabo-forrageiro	<i>Raphanus sativus</i>	200-1300	00-30		X											X				X		
⁽²⁾ Puerária	<i>Pueraria phaseoloides</i>	1000-2000	22-30			X						X	X							X		
⁽⁴⁾ Unha-de-gato	<i>Acacia plumosa</i>	1000-3000	18-27		X									X						X		

FONTE: (DNIT, 2006a), Pereira (2007a) e Embrapa Agrobiologia (2007).

(1)Gramíneas indicadas por DNIT (2006a). (2)Leguminosas indicadas por DNIT (2006a). (3)Espécies indicadas por Pereira (2007a). (4)Gênero indicado pela Embrapa Agrobiologia (2007).

QUADRO 2 - Características de espécies florestais, utilizadas para controle de erosão

Espécies		Altitude (m)	Precipitação (mm/ano)	Temperatura (°C)	Raízes			Reprodução		
Nome comum	Nome científico				Rasa	Média	Profunda	Semente	Estaca	Muda
⁽¹⁾ Acácia-negra	<i>Acacia nelanoxylon</i>	2000-2800	1000-1800	22-30			x	x		x
⁽¹⁾ Acácia-negra	<i>Acacia decurrens</i>	2000-3000	1000-1800	20-30				x		x
⁽²⁾ Aliso	<i>Alnus jorullensis</i>	1900-3300	400-2000	20-33		x			x	x
⁽²⁾ Amora	<i>Clorophora tinctoria</i>	0-1100	400-1700	20-35				x		x
⁽²⁾ Arrayam	<i>Myrcia popayaensis</i>	1100-2200	600-2200	20-35			x			x
⁽²⁾ Balsa	<i>Ochroma pyramidale</i>	0-1700	400-1800	18-32		x		x		x
⁽²⁾ Casuarina	<i>Casuarina equisetifolia</i>	0-2300	600-1600	15-35			x	x		x
⁽²⁾ Chachafruto	<i>Erythrina edulis</i>	600-1800	1000-1900	20-30	x				x	x
⁽²⁾ Chiripique	<i>Delea coerulea</i>	2400-3200	500-1200	15-35		x			x	x
⁽²⁾ Erythrina	<i>Erythrina rubinaria</i>	600-1700	1000-1800	17-35			x		x	x
⁽²⁾ Guayacán rosado	<i>Tabebuia rosea</i>	0-1800	500-1800	18-35			x	x		x
⁽²⁾ Hayuelo	<i>Dodonea viscosa</i>	2200-2900	700-1800	15-35				x		x
⁽¹⁾ Leucena	<i>Leucaena leucocephala</i>	0-1500	600-1800	20-33			x	x	x	x
⁽²⁾ Matarraton	<i>Gliricidia sepium</i>	0-1500	400-1900	25-35	x				x	x
⁽²⁾ Nauno	<i>Psiudosamea quachpele</i>	0-1300	700-1800	18-33			x	x		x
⁽²⁾ Pino Colombiano	<i>Decussocarpus rospigliosi</i>	1000-2800	400-1800	15-30				x		x
⁽²⁾ Retamo	<i>Cytisus monosperulans</i>	2000-2900	600-1500	05-40		x		x		x
⁽²⁾ Salix	<i>Salix humboldtiana</i>	300-2800	800-1600	20-33				x	x	x

FONTE: Pereira (2007a); Embrapa Agrobiologia (2007); DNIT (2006a).

(1) Gênero indicado pela Embrapa Agrobiologia (2007). (2) Espécies indicadas por Pereira (2007a).

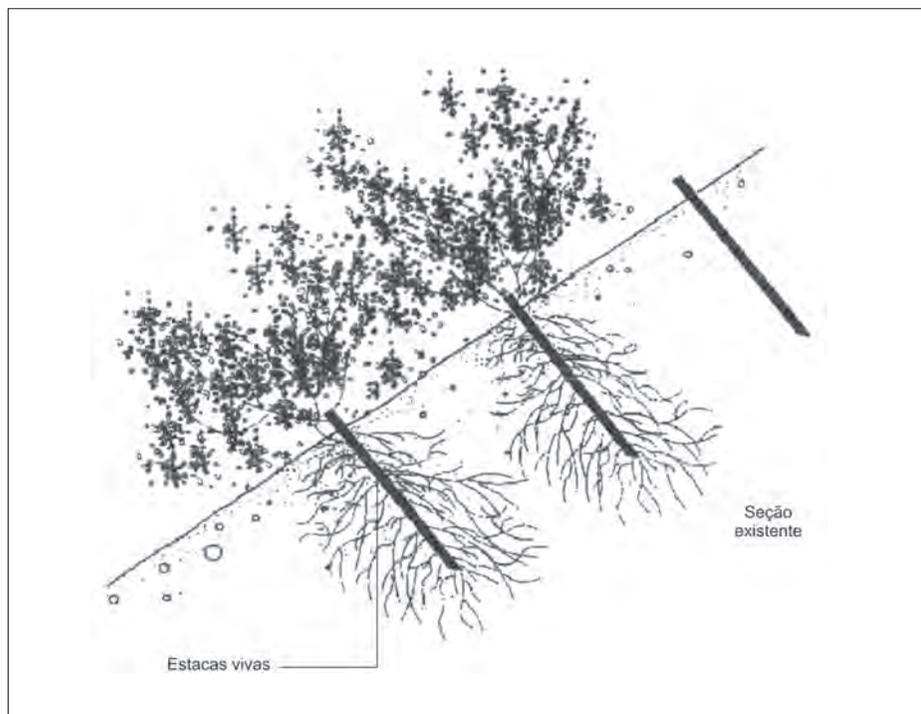


Figura 2 - Representação de um sistema de estacas vivas, com a vegetação já estabelecida e em pleno desenvolvimento

FONTE: Lewis (2000 apud ARAÚJO et al., 2005b).

Camadas de ramos

Consiste na instalação de ramos vivos de espécies arbustivas intercalados com solo, com comprimento suficiente para que suas extremidades se projetem além da face da vala aterrada (Fig. 4). Quando em taludes de corte e encostas, os ramos são dispostos entrelaçados ou sobrepostos no interior de valas (terraços) escavadas perpendicularmente à linha de máxima inclinação do talude e cobertos com o solo da escavação da vala superior, sendo que a distância entre as valas está em função da inclinação do talude. Recomenda-se que a aplicação dessa técnica seja feita em taludes com declividades menores que 55°. Quando em taludes de aterro e voçorocas, os ramos utilizados podem ter comprimento maior que aqueles utilizados em taludes de corte e encostas (proporcionando maior estabilidade) (CEMIG, 2002; ARAÚJO et al., 2005a; FREITAS, 2006).

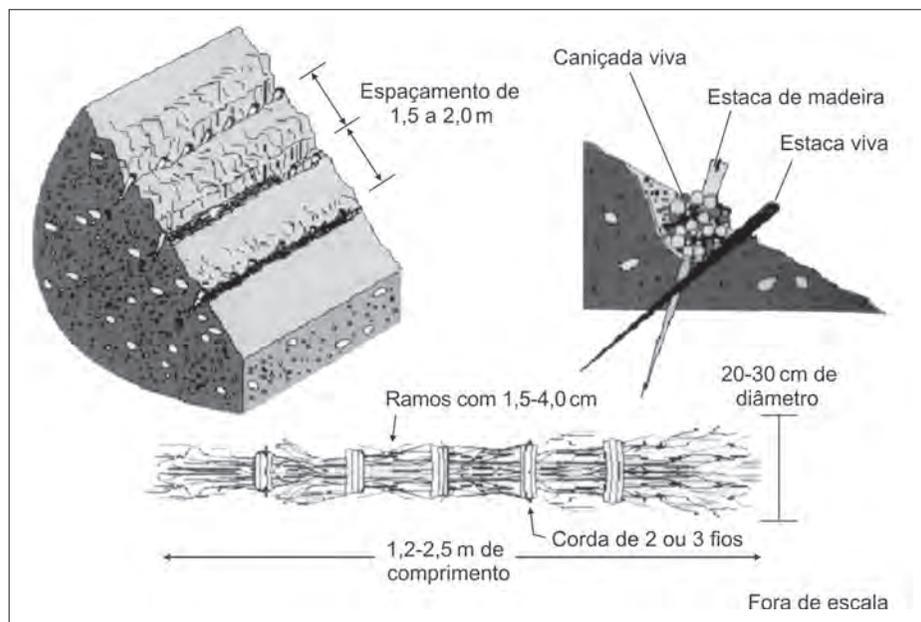


Figura 3 - Diagrama esquemático de uma caniçada viva
 FONTE: Lewis (2000 apud ARAÚJO et al., 2005b).

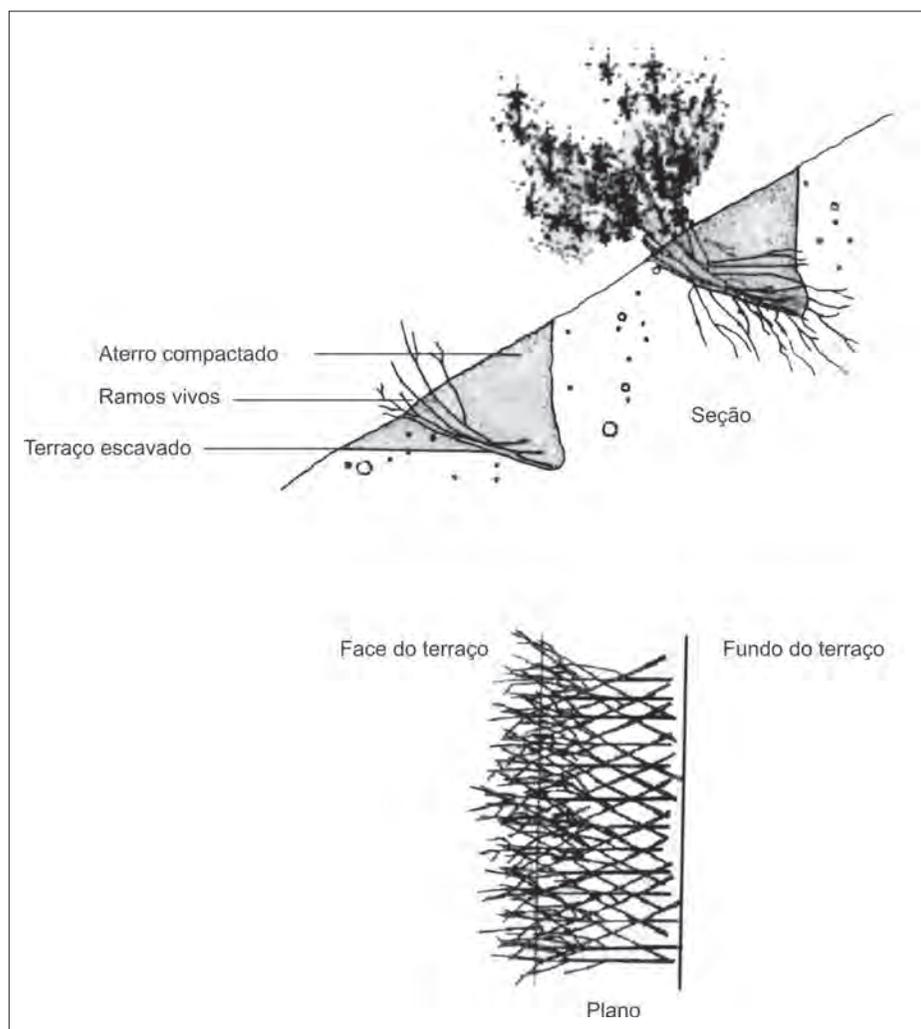


Figura 4 - Instalação de camadas de ramos sobre talude de corte ou encosta
 FONTE: Araújo et al. (2005a).

Materiais inertes

Partes da vegetação podem ser utilizadas em sua forma inerte, sejam estacas, ripas, paliçadas e troncos, com a função de conter deslizamentos de terra.

Paliçadas

Constituem estruturas de madeiras lineares tratadas ou não e possuem um diâmetro médio de 20 a 25 cm, formadas por troncos sobrepostos, dispostos no sentido vertical, para a ancoragem da estrutura, fixados por fios de ferro ou cordas em troncos sobrepostos uns aos outros. São aplicadas para a estabilização superficial de terrenos íngremes, taludes de corte e aterro e fundos de vale em processo de erosão, com pequenas declividades (Fig. 5). Reduzem a energia do escoamento superficial, evitando erosões e sulcos superficiais. Vegetação e biotêxteis também podem ser aplicados em conjunto (ENGENHARIA VERDE, 2007; VERTICAL GREEN, 2007).

Grade de vegetação

Também denominada grade viva, é uma estrutura formada por troncos de madeira, dispostos perpendicularmente entre si, com dimensões variáveis, dependendo do caso, de modo que cria uma estrutura reticular que é, posteriormente, ancorada ao substrato. Toda a sua superfície é preenchida com terreno local, no qual são instaladas estacas vivas, arbustos, cobertura morta ou sementes. É indicada para estabilização de taludes e encostas muito inclinadas, como zonas de deslizamentos de terras com dificuldade ou mesmo impossibilidade de remodelação do perfil do terreno. Recomenda-se a construção das grades com até 55° de inclinação, alturas até 15 m em escarpas e taludes e 5 m em margens em erosão (AIPIN, 2002 apud MARTINHO, 2007; VERTICAL GREEN, 2007).

Biotêxteis

Produtos industrializados definidos como telas ou mantas biodegradáveis

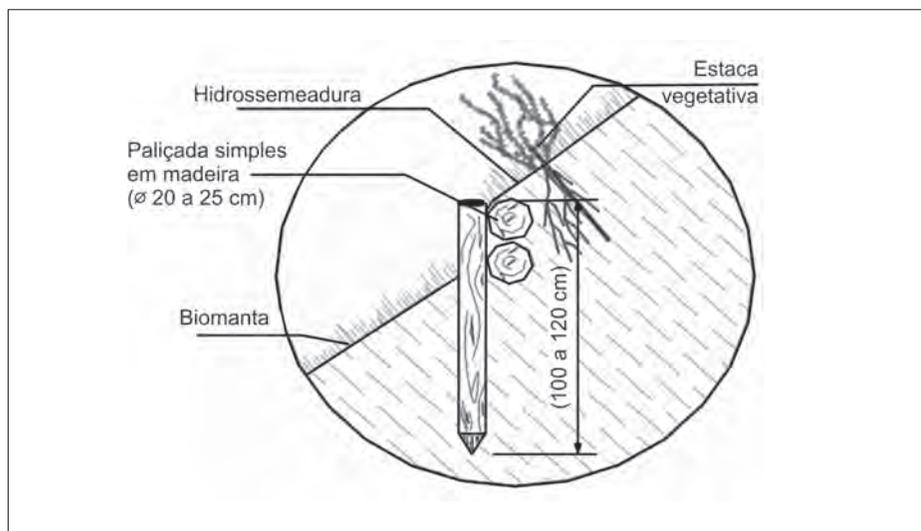


Figura 5 - Esquema representativo da aplicação de paliçadas em conjunto com estacas vivas, biomanta e hidrossemeadura

FONTE: Vertical Green (2007).

(biomantas), constituídos por fibras têxteis e fibras vegetais desidratadas, geralmente capim ou coco, entrelaçadas por meio de costura industrial de fios resistentes degradáveis de polipropileno. São encontrados usualmente no mercado enroladas em forma de bobinas, fabricados por empresas especializadas na prestação de serviços de revegetação de áreas degradadas. Para a escolha de qual biomanta aplicar, recomenda-se a consulta dos manuais técnicos dos produtos, quanto à qualidade, à resistência e ao suporte aos esforços físicos (CEMIG, 2002; DNIT, 2006b).

Em função da capacidade de retenção de água, até 500% de seu peso seco, segundo Coppin e Richards (1990 apud CEMIG, 2002), os biotêxteis têm a função de aumentar a infiltração de água no solo e prevenir sua desagregação. Além disso, proporcionam condições microclimáticas, que favorecerão o estabelecimento da vegetação em condições adversas, a partir da degradação do produto, além da liberação de ácidos fúlvicos e colóides a partir de fibras vegetais, que contribuirão para o aumento da capacidade de troca catiônica do solo (CEMIG, 2002; ROCHA, 2006; COELHO, 2004 apud LUCENA, 2007).

Os biotêxteis têm sido aplicados das seguintes formas:

- a) biotêxteis como cobertura superficial: utilizados no revestimento de taludes com inclinação elevada, de até 55°, sendo que para uma maior aderência do produto ao solo e aumento da eficiência da técnica, busca-se regularizar o terreno com a eliminação ou minimização de sulcos erosivos, pedras e raízes expostas. Nesse processo, são feitas pequenas covas, umas próximas das outras (microcoveamento), com pequena profundidade, para reter fertilizantes, corretivos, cobertura morta, adesivos e sementes que são aplicados previamente. As bobinas são estendidas no sentido da declividade do talude e sua fixação com grampos deve seguir a recomendação técnica estabelecida no projeto, em função do material e inclinação do talude. Em solos muito arenosos ou siltosos poderão ser aplicadas telas metálicas ou plásticas como reforço, as quais podem vir agregadas às mantas (DNIT, 2006b; DEFLO, 2007);

- b) geogrelhas: consiste no confinamento do solo em camadas protegidas por um biotêxtil de alta resistência e podem ser intercaladas com material vegetativo aplicado como sementes ou estacas vivas (Fig. 6). Podem ser usadas para estabilizar e reforçar taludes de aterro, recuperar voçorocas e margens, sendo uma alternativa às estruturas de contenção verticais, como muros de arrimo e gabiões, e em situações em que se deseje evitar o deslizamento da base ou do topo das encostas (ARAÚJO et al., 2005b). Após regularizar e compactar a superfície, o biotêxtil é estendido, iniciando-se da base da encosta, deixando-se um comprimento suficiente para receber o solo, que deve ser levemente compactado, formando camadas de, aproximadamente, 60 cm. Em seguida, dobra-se a ponta do biotêxtil, de maneira que envolva o solo, fixando-o em toda extensão. Aplicam-se então as estacas vivas ou as sementes. Fazem-se novas camadas até que atinjam a altura e a estabilidade desejadas. A declividade do talude reconstituído irá depender da disposição das geogrelhas. Após o plantio, deve-se efetuar a irrigação até o estabelecimento da vegetação (PEREIRA, 2007c).

Biorretentores

Os retentores orgânicos, também chamados biorretentores ou bermalongas, são estruturas com formato cilíndrico compostas por material orgânico fibroso, como fibra de coco beneficiada, serragem, palhada de herbáceas, dentre outros, revestidos por telas flexíveis de fibras sintéticas que têm a função de ancorar os sedimentos do escoamento superficial e reter a água, auxiliando sua infiltração no solo. Por serem flexíveis, encaixam-se no leito natural de erosões, facilitando ou até eli-

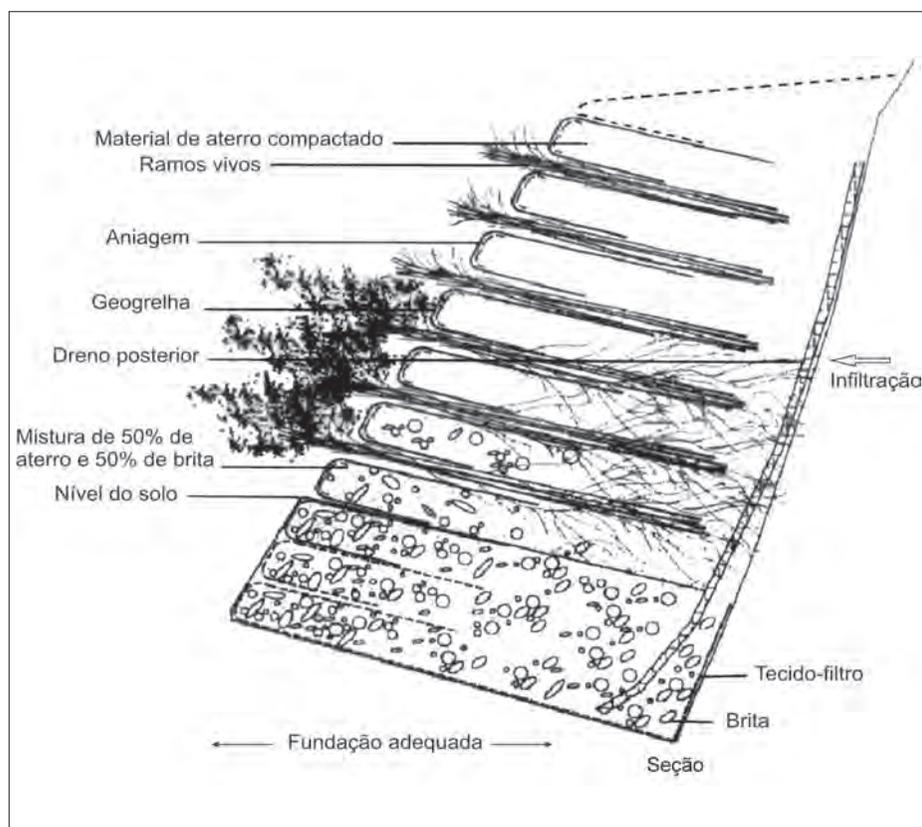


Figura 6 - Esquema representativo de geogrelhas vegetadas
 FONTE: Araújo et al. (2005b).

minando trabalhos de recuperação da geometria de taludes, além de possibilitarem o estabelecimento da vegetação e contribuir para a melhoria no aspecto visual. São de fácil aplicação e não necessitam de equipamentos ou técnicas especiais (CEMIG, 2002; LUCENA, 2007).

Segundo Pereira (2007b) e Deflor (2007), a capacidade de absorção de água pelos biorretentores chega a ser até cinco vezes o seu peso natural seco, podendo contribuir também para a drenagem subsuperficial, dependendo da maneira que estão dispostos no talude. Ressalta-se que sua fixação ao solo deve ser feita com cuidado, para evitar a passagem de sedimentos pela base do biorretentor, provocando seu deslocamento (DEFLOR, 2007). Os biorretentores podem ser dispostos de diferentes formas em função dos objetivos a que se propõem:

a) retentores de sedimento em taludes: posicionar transversalmente no

sentido do fluxo e da declividade, em valetas que podem ser escavadas manualmente, com profundidade que permita o encaixe de 1/3 (um terço) do diâmetro do produto, e fixados com grampos de aço, bambu ou madeira, cujos comprimentos devem ser suficientes para atingir o solo mais coeso;

b) construção de bermas artificiais: reduzir o comprimento dos taludes de grande inclinação e, assim, aumentar sua estabilidade. Os biorretentores são posicionados no sentido transversal à declividade, atuando como bermas artificiais, de maneira que forme um cordão de retenção em nível. O espaçamento entre as bermas dependerá da inclinação do talude e da agregação do solo (DEFLOR, 2007);

c) preenchimento de espaços vazios: preencher espaços vazios, prove-

nientes de processos erosivos ou movimentos de massa de até 50 cm de profundidade. Seu posicionamento, longitudinal ou transversal à declividade, dependerá da análise da concavidade a ser preenchida, verificando-se a melhor disposição (DEFLOR, 2007);

d) proteção de margens de cursos d'água e reservatórios: aplicar em margens de cursos d'água e reservatórios, para a contenção da erosão fluvial e solapamentos. Sua aplicação pode ser feita em uma ou mais camadas, dependendo do desnível entre a margem e o nível d'água (DEFLOR, 2007);

e) drenos profundos e subsuperficiais: aplicar como drenos subsuperficiais e profundos. Neste caso, são escavadas valas e colocam-se pedra e areia em seu fundo. Os biorretentores são posicionados no centro. Deve-se completar o restante da vala com solo ou areia, evitando o contato com o ar, para garantir a longevidade do produto (DEFLOR, 2007);

f) reconstrução de taludes: sobrepor dentro do espaço vazio, fixados com grampos e cobertos com solo. Posteriormente, podem ser cobertos com biotêxteis, para aumentar a eficiência da técnica. Nessa aplicação, os biorretentores possuem a função adicional de drenos subsuperficiais, minimizando o excesso de água do talude (DEFLOR, 2007).

ANÁLISE DOS MÉTODOS DE BIOENGENHARIA

Seleção das técnicas pelas condições de local e uso de solo

Na seleção da técnica de bioengenharia que será aplicada em uma área degradada devem ser levadas em conta as condições do local e do solo, que incluem os seguintes fatores: altura e declividade da encosta;

aspectos físico-químicos do solo, bem como características de erodibilidade, resistência ao cisalhamento, permeabilidade, compactação, entre outras; profundidade do solo; local da degradação: em taludes de corte ou de aterro, voçorocas, margens de corpos d'água, etc.; profundidade da ruptura; mecanismo de ruptura (erosão superficial ou movimento de massa); necessidade de proteção do sopé da encosta; influência de forças laterais; hidrologia local; ações antrópicas que podem desencadear processos de degradação, como escavações, sobrecarregamento do talude, desmatamento, entre outros (ARAÚJO et al., 2005b; FREITAS, 2006).

Aplicações indicadas

A partir da análise das metodologias, princípios e aplicações das técnicas observa-se que a associação de mais de um método de bioengenharia em um talude degradado tem mostrado maior eficiência na recuperação. Isto porque, a maioria das técnicas complementa-se, como por exemplo, as estacas vivas, que são comumente utilizadas em associação com biotêxteis, biorretentores e paliçadas (CEMIG, 2002; FREITAS, 2006; VERTICAL GREEN, 2007). Uma breve discussão sobre as aplicações mais adequadas e apontamentos sobre a complexidade de aplicação e de custos gerais está apresentada no Quadro 3.

Para pequenas depressões e deslizamentos, o estaqueamento é uma boa solução, assim como a aplicação de biorretentores para preenchimento dos espaços vazios. No entanto, se ocorrer grande umidade no talude, recomenda-se a utilização das estacas vivas. Caso o talude a ser recuperado possua uma maior extensão, é interessante a aplicação desses métodos em conjunto com biotêxteis como cobertura superficial. Biorretentores e estacas vivas podem ser utilizados também para pequenas estabilizações e solapamentos em margens de corpos d'água (CEMIG, 2002; ARAÚJO et al., 2005b; DEFLOR, 2007).

Para redução dos efeitos do escoamento

superficial e movimentos de massa superficiais como rastejos, é interessante a aplicação de biotêxteis, caniçadas e a utilização de biorretentores de sedimentos, aplicados em linha e como bermas. Estas, por diminuírem o comprimento do declive, terão a função de reter a água e os sedimentos, o que facilita a infiltração da água no solo. Em associação com as caniçadas e com os biorretentores, é importante realizar uma cobertura superficial do solo com biotêxtil, caso a encosta possua um solo com baixa coesão e com características do solo desfavoráveis ao crescimento vegetal, principalmente para a estabilização em curto prazo. A aplicação de estacas vivas associadas aos biorretentores e às caniçadas propiciará o desenvolvimento vegetativo que providenciará a estabilização a longo prazo (ARAÚJO et al., 2005b; DEFLOR, 2007; LUCENA, 2007).

Para a recuperação de erosões e movimentos de massa maiores em encostas e taludes de corte e aterro, em inclinações médias, a técnica de camadas de ramos e o preenchimento da área erodida com biorretentores sobrepostos, fixados por grampos e, posteriormente, cobertos com biotêxtil, são indicados; assim como para pequenas voçorocas são recomendadas camadas de ramos com estacas de madeira associadas. No entanto, a utilização de camadas de ramos é mais indicada, quando os solos apresentam-se com grande umidade (CEMIG, 2002; ARAÚJO et al., 2005b; FREITAS, 2006; DEFLOR, 2007).

As paliçadas têm-se mostrado eficientes na estabilização de margens de rios, taludes de corte e aterro e encostas. No entanto, pelo fato de as paliçadas geralmente apresentarem características inertes, é interessante que a sua aplicação seja realizada em pequenas áreas ou em associação com outros métodos, para que estes providenciem o desenvolvimento da vegetação e a estabilização a longo prazo (ENGENHARIA VERDE, 2007; VERTICAL GREEN, 2007).

Para a composição e estabilização de taludes de aterro e recomposição de en-

costas e margens muito erodidas, a utilização de camadas de ramos tem apresentado boa eficiência, quando os taludes são menores e a declividade máxima é 1:2 horizontal pela vertical (H:V), enquanto que, para taludes de maior inclinação e comprimento e em casos que o solo apresenta baixa coesão, é recomendável a construção de geogrelhas, preferencialmente vegetadas, para garantir a estabilização a longo prazo com o desenvolvimento da vegetação (CEMIG, 2002; FREITAS, 2006).

Para os casos em que os taludes possuem inclinação elevada e em zonas de deslizamentos de terra, com dificuldade ou mesmo impossibilidade de remodelação do perfil do terreno, é indicada a construção da grade de vegetação, pois esta permitirá o desenvolvimento da vegetação (FREITAS, 2006; MARTINHO, 2007).

Dificuldade técnica

A complexidade das técnicas a serem aplicadas é variável de acordo com o material e mão-de-obra necessária, bem como com as características do local e com o processo de degradação que este sofreu.

O estaqueamento e a aplicação de biorretentores no preenchimento de espaços vazios são técnicas de fácil aplicação e requerem pouca mão-de-obra. As estacas podem ser coletadas nas proximidades da região a ser recuperada, enquanto que os biorretentores são produtos comercializados. Do mesmo modo, as caniçadas e os biorretentores como bermas artificiais são de baixa complexidade; porém, para aplicação desses dois métodos, muitas vezes, é necessária a escavação de valas, realizada manualmente.

A aplicação da camada de ramos é simples e rápida. No entanto, exige maior quantidade de material vegetativo, bem como seu transporte. Além disso, pode ser necessário um número maior de pessoas ou até mesmo de maquinário, para que as camadas de terra sejam colocadas e levemente compactadas sobre a camada de ramos.

Uso das técnicas de bioengenharia no controle de erosões, áreas degradadas e revitalização de cursos d'água.

Aloisio Rodrigues Pereira

As técnicas modernas de bioengenharia têm sido amplamente empregadas nos países mais desenvolvidos, como Estados Unidos, Canadá e Europa. No Brasil, entretanto, o uso dessas técnicas iniciou-se em 1995, por intermédio da Deflor Bioengenharia, e, em razão da sua eficiência, segurança, rapidez de construção, além dos baixos custos, em comparação com as técnicas tradicionais de engenharia, tem apresentado grande crescimento no País.

A bioengenharia de solos é uma associação de materiais rígidos e flexíveis, ou seja, concreto, aço, pedras e vegetação, fibras e madeira, dentre outros materiais, ou associação de técnicas estruturais e técnicas agronômicas.

A bioengenharia de solos se destaca pelos atributos já mencionados e pela credibilidade dos órgãos ambientais internacionais, pois utiliza materiais que não degradam a natureza, como madeira, resíduos de fibras vegetais, plantas, estacas vivas, dentre outros.

As técnicas de bioengenharia de solos têm sido amplamente empregadas na revitalização de cursos d'água, contenções, controle de processos erosivos e recuperação de áreas degradadas. No caso específico da recuperação de áreas degradadas, existem inúmeras técnicas para recuperação. Para muitos, entretanto, recuperar o ambiente degradado é somente utilizar sementes e plantas, o que é incorreto, pois há necessidade de projetos específicos com profissionais de diferentes áreas, como obras civis, drenagem geotécnica, hidrologia, terraplenagem e revestimento vegetal. Como isso, normalmente, não ocorre, há insucesso da maioria das áreas recuperadas, e muitas vezes as erosões e as áreas degradadas recuperadas, após dois ou três anos, encontram-se mais degradadas e erodidas que na condição original.

Nos países mais desenvolvidos onde a exigência de proteção e recuperação ambiental é grande, as técnicas empregadas não podem ser rudimentares. São utilizadas tecnologias modernas e eficientes de recuperação ambiental, pois os resultados devem ser definitivos e não temporários, como nos casos de países menos desenvolvidos.

Revitalização de cursos d'água - A revitalização do curso d'água nas fotos a seguir foi eficiente e rápida, pois, passados cinco anos, não houve carreamento de sedimentos, tampouco solapamento das margens. Foram utilizadas Bermalonga, biomanta antierosiva e espécies de gramíneas e leguminosas, além do desassoreamento com escavadeira hidráulica em toda extensão do curso d'água.



Foto 1 - Curso d'água totalmente assoreado e áreas adjacentes degradadas



Foto 2 - Trabalho de desassoreamento do curso d'água e recuperação das áreas degradadas com Bioengenharia.



Foto 3 - Curso d'água totalmente revitalizado não existindo carreamento de sedimentos nem solapamentos e as margens protegidas.

Outras experiências de sucesso estão sendo realizadas no rio São Francisco e no rio das Velhas. Neste último caso, foi utilizado o "solo envelopado verde", constituído de biomanta georreforçada, Bermalonga, utilizando o mesmo solo da erosão que é compactado em camada. E entre as camadas são aplicadas estacas vivas e espécies de gramíneas e leguminosas como paramentos externos.



Foto 4 - Margem de rio erodida carreando sedimentos, evolução de processos erosivos.



Foto 5 - Margem do rio recuperada com o sistema "solo envelopado verde" utilizando o mesmo solo da erosão, biomanta georreforçadora, estacas vivas e sementes.



Foto 6 - Detalhe da revitalização após dois períodos chuvosos, sem erosões, sem carreamento de sedimentos e ainda com vegetação exuberante.

A recuperação das margens erodidas com o "solo envelopado verde" foi muito eficiente, pois, após dois períodos chuvosos, não houve erosões e a proteção está perfeita, a estrutura intacta e a vegetação exuberante.

Recuperação de erosões e áreas degradadas:

Para exemplificar ainda mais a recuperação ambiental com as técnicas de bioengenharia, mostramos, a seguir, a recuperação de uma erosão cujo trabalho de proteção havia sido executado há três anos e não obteve êxito porque a técnica utilizada (hidrossemeadura apenas) não foi adequada para a situação. Para recuperação da área degradada, foram utilizadas as técnicas de bioengenharia que apresentaram custos 50% menores que as técnicas tradicionais. Na engenharia tradicional, haveria necessidade de retaludamento, o que geraria muita movimentação de terra, a qual deveria ser disposta em outro local, invadindo o terreno a montante; e execução de drenagem e revestimento vegetal, demandando licenças ambientais, tempo e recursos, sem garantia absoluta do resultado. No caso de bioengenharia, não haveria retaludamento e, conseqüentemente, não haveria movimentação de terra, pois as concavidades erosivas seriam preenchidas com retentores de sedimentos (Bermalonga), e os pontos negativos seriam regularizados manualmente, utilizando bermas artificiais com Bermalonga e vetiver; além de drenagem apenas a montante (crista), revestida com biomanta tipo Sintemax, que apresenta resistência e longevidade. As fotos seqüenciais a seguir mostram as fases de execução do trabalho.



Foto 7 - Erosão urbana em evolução, carregando sedimentos para os cursos d'água.



Foto 8 - Controle da erosão com técnicas de bioengenharia utilizando biomantas, bermas artificiais com Bermalonga e vetiver.



Foto 9 - Resultado do trabalho mostrando a mesma área totalmente protegida, com sistema de drenagem e vegetação exuberante.

As fotos 7, 8 e 9 mostram as fases do trabalho. Nesse caso, já se passaram dez anos, e o trabalho está intacto, não carregando sedimentos, tampouco formação de sulcos ou focos erosivos. Isso mostra a eficiência total da bioengenharia, ao contrário de outras técnicas que exporiam o solo às condições intempéricas e não haveria êxito no revestimento vegetal, pela rapidez necessária a proteção. É bom lembrar que na natureza não existe encosta geometricamente perfeita e os retaludamentos geométricos em erosões devem ser evitados pelas razões já comentadas.



Foto 10 - Área degradada pela mineração com instabilidade e erosões generalizadas.



Foto 11 - Área recuperada com técnicas de bioengenharia com uso de biomantas de diferentes resistências, drenagem e bermas artificiais.



Foto 12 - Estágio final do término dos trabalhos mostrando a proteção com biomantas e o início do desenvolvimento da vegetação.

As fotos 10, 11 e 12 mostram a seqüência de trabalhos de uma recuperação de área degradada pela mineração com o uso das técnicas de bioengenharia. Pode-se observar a proteção eficiente, cujas áreas são de grande inclinação com solos estéreis, e a utilização de biomantas antierosivas e canaletas de drenagem revestidas com biomanta Sintemax, sistemas que propiciam a construção rápida e eficiente, evitando, assim, erosões e proteção imediata do solo.

Concluindo, a recuperação de áreas degradadas, o controle de erosões e a proteção de taludes, quando se deseja segurança e longevidade, não é tão simples; requer conhecimentos de diferentes áreas, produtos e técnicas específicas. Não basta somente aplicar sementes e plantas de forma simples e sem custos; trata-se de um trabalho de engenharia em que todas as fases são importantes e refletem de forma significativa no resultado final.

Aplicações	Aplicações mais adequadas					Inclinação do talude			⁽¹⁾ Dificuldade técnica	⁽²⁾ Material	⁽³⁾ Custos	
	Pequenas depressões	Pequenos processos erosivos, escoamento superficial e rastejos	Contenção de erosão fluvial e solapamentos	Reconstituição de margens	Reconstituição de taludes de corte e aterro	Reconstituição de voçorocas	Baixa (até 35°)	Íngreme (até 55°)				Muito íngreme (até 70°)
Biotêxteis como cobertura superficial		x					x	x		Média	Biotêxtil e grampos	Médios
⁽⁴⁾ Biotêxteis como geogrelhas				x	x	x		x		Alta	Biotêxtil, grampos e solo	Altos
⁽⁵⁾⁽⁶⁾ Estacas vivas	x	x	x				x	x		Baixa	Estacas vivas em baixa quantidade	Baixos
⁽⁵⁾⁽⁶⁾ Caníçadas	x	x	x					x		Média	Ramos vivos em grande quantidade	Baixos
⁽⁵⁾ Camadas de ramos				x	x			x		Média	Ramos vivos e solo em grande quantidade	Médios
⁽⁵⁾ Camadas de ramos com estacas						x		x		Média	Ramos vivos, solo e estacas em grande quantidade	Médios
⁽⁷⁾ Paliçadas		x	x				x	x		Média	Troncos e arame ou corda em baixa quantidade	Médios
⁽⁴⁾ Grade vegetativa				x	x	x		x		Alta	Troncos maiores, solo, estacas vivas e sementes em grande quantidade	Médios
⁽⁶⁾ Biorretentores de sedimentos		x						x		Média	Biorretentores e estacas em grande quantidade	Médios
Biorretentores para espaços vazios	x						x	x		Média	Biorretentores e estacas em baixa quantidade	Médios
⁽⁶⁾ Biorretentores como bermas artificiais		x						x		Média	Biorretentores e estacas em baixa quantidade	Médios
Biorretentores em margens de corpos d'água			x				x	x		Média	Biorretentores e estacas em baixa quantidade	Médios
Biorretentores para reconstituição de taludes					x	x		x		Média	Biorretentores, estacas ou grampos em grande quantidade	Altos

(1)Classificação da dificuldade de acordo com a concordância dos seguintes quesitos: *Baixa* - requer pouca mão-de-obra; não há necessidade de escavação e revolvimento de terra; *Média* - há necessidade de escavação de valetas manualmente ou revolvimento de terra; há necessidade de fixação com grampos, estacas, cordas ou arames; *Alta* - requer maquinário para transporte e posicionamento de materiais; há necessidade de aplicação e/ou compactação de solo. (2)A quantidade de material pode variar, dependendo do tamanho da área a ser aplicada à técnica. (3)Classificação de custos de acordo com a concordância com os seguintes quesitos: *Baixos* - não há necessidade de compra de material; custos com transporte mínimos; não há necessidade de maquinários para aplicação; *Médios* - necessidade de compra de material; necessário transporte para matéria-prima; *Altos* - necessidade de grande compra de material; necessário transporte para matéria-prima e maquinários para aplicação. (4)Recomendável principalmente para casos mais graves, com dificuldades de remodelação do perfil do terreno, em áreas maiores ou em solos menos coesos. (5)Recomendadas, quando há alto teor de água no talude. (6)Em solos pouco coesos e com baixa fertilidade, aplicar em conjunto biotêxtil. (7)É mais interessante a utilização em pequenas áreas, que podem ser complementadas com outras técnicas.

As paliçadas são de construção simples e de fácil aplicação. A dificuldade deste método está relacionada com o transporte e a disposição dos troncos, que podem vir a exigir um maior número de pessoas e maquinários para o trabalho.

A grade de vegetação é considerada um método de construção intensivo, pois podem ser necessários maquinários para a montagem, transporte e posicionamento dos troncos. No entanto, não há necessidade de nivelamento do talude, além de requerer pouca importação de material de aterro. Existem também grades prontas, pré-montadas, para ser vendidas, que podem facilitar a aplicação.

A aplicação de biotêxteis como cobertura superficial, apesar de uma técnica simples, requer maior atenção para a regularização da superfície do talude, bem como para a fixação do produto, que deve ser realizada com cautela, para que o biotêxtil não se desloque, por causa do escoamento superficial. O uso de biotêxteis aplicados como geogrelhas, quanto à disposição do produto e à composição das camadas de solo, é um método mais complexo. Possui maior dificuldade técnica, pois necessita de maquinários e maior mão-de-obra, para a constituição das camadas de solo e biotêxtil.

Custos

De maneira geral, as técnicas de bioengenharia apresentam a vantagem de ter um custo reduzido em relação às técnicas convencionais para a estabilização de taludes. Isto porque a maioria dos métodos utiliza material vegetativo que, muitas vezes, possui custo zero, pelo fato de ser coletado na própria vegetação nativa, próxima ao local a ser recuperado, ou a um custo baixo, quando há necessidade de compra de sementes e cobertura morta ou aplicação de hidrossemeadura.

No caso de produtos comercializados como biotêxteis e biorretentores, esses apresentam, segundo Deflor (2007), o valor médio de R\$ 4,50/m² e R\$ 38,00 a unidade, respectivamente.

A quantidade de mão-de-obra e a necessidade de transporte para a matéria-prima irão depender do tamanho da área a ser recuperada. Em relação à mão-de-obra, verifica-se que a maioria dessas técnicas não necessita da contratação de muitas pessoas para o trabalho, até mesmo as que apresentam uma maior complexidade, como as geogrelhas e as grades de vegetação. Para o transporte das matérias-primas, como biorretentores, biotêxteis, troncos, estacas e vegetação para a constituição de camadas de ramos, paliçadas e grades de vegetação, podem ser necessários caminhões, mas ainda em um número reduzido, quando comparado às técnicas tradicionais, que utilizam materiais de maior peso, como pedras, concreto, ferro e cimento.

Os custos para o preenchimento com terra também podem variar, dependendo tanto do volume necessário para cada técnica, quanto das características do local, incluindo as do solo, forma, declive e comprimento da encosta e do grau de degradação. Segundo Deflor (2007), o custo médio para o acerto e regularização do terreno é em média de R\$ 1,50 por m². Muitas vezes pode-se utilizar a terra do próprio local afetado, desprendida pelos efeitos da erosão ou movimentos de massa, ou mesmo de escavações na parte superior, que irá receber a técnica, contribuindo para a redução dos custos.

Pereira (2007b) obteve redução de 113% no custo de aplicação de um projeto, ao usar técnicas de bioengenharia que incluíram biotêxteis, biorretentores e paliçadas, comparativamente aos métodos tradicionais, para recuperação e controle de processos erosivos, em uma área que se encontrava em estágio avançado de degradação.

Características e limitações

É importante ressaltar que, apesar de as técnicas de bioengenharia apresentarem-se como uma solução interessante, com baixos custos, baixa complexidade técnica e com boa eficiência para a recuperação de

áreas degradadas, são essenciais a análise criteriosa do local e os objetivos de usos futuros antes de sua aplicação. Isto porque, muitas vezes, são necessários apenas o plantio de mudas ou a aplicação de sementes de gramíneas e leguminosas ou, em casos mais graves, ser inevitável a utilização de estruturas de pedras e concreto, com vegetação associada ou não. A não consideração dessas possibilidades pode acarretar dispêndios de custos, tempo e trabalho. Dessa forma, a atenção para características do solo, talude, clima, processo de degradação sofrido, entre outros aspectos, servirá não só como base para uma escolha coerente de qual técnica aplicar, mas também para a otimização dos resultados.

Outro aspecto a considerar é a importância do monitoramento, pelo menos até o desenvolvimento e estabelecimento da vegetação. No entanto, ainda existe certa dificuldade para se aplicarem metodologias específicas que estimem a progressão e a eficiência das técnicas. O que se tem feito é a análise visual tanto do desenvolvimento da vegetação, como do grau de degradação das estruturas inertes (MARTINHO, 2007), bem como estimativas de perdas de solo (ARAÚJO et al., 2005b) e do comportamento da água no solo a partir de dados de tensiometria (BEZERRA; RODRIGUES, 2006).

Uma das limitações das técnicas de bioengenharia é o fato de haver pouca mão-de-obra com qualquer especialização ou pouco conhecimento das técnicas. Neste sentido, as empresas especializadas na venda e na aplicação de produtos e técnicas de bioengenharia costumam realizar um treinamento rápido com a mão-de-obra contratada para o trabalho.

Ressalta-se ainda, que os trabalhos devem ter uma programação que coincida com as estações secas, para que as aplicações sejam finalizadas antes do início do período chuvoso, pois, além de facilitar o trabalho, serão garantidas as condições necessárias para que a vegetação se desenvolva. É importante a atenção às caracte-

terísticas da vegetação utilizada, que pode ter seu estabelecimento influenciado pelas características do local, como clima e solo.

Por fim, analisando-se todos os aspectos da bioengenharia, bem como suas características e limitações, é interessante considerar a importância de utilizar uma escolha coerente, não acarretando em recursos adicionais de material, trabalho e custos para atingir os objetivos no prazo programado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do conhecimento das principais técnicas de bioengenharia, atualmente aplicadas para a estabilidade de taludes, conclui-se que estas são uma solução economicamente viável e os resultados são visualmente atrativos e com boa eficiência para a recuperação de áreas degradadas.

Cada técnica tem uma aplicação mais indicada, seja para a contenção de pequenas depressões e escoamento superficial, seja para recuperações maiores, como estabilização e até reconstrução de taludes de corte e aterro e de voçorocas, os custos são reduzidos em função da necessidade de poucos maquinários e por causa da parcela de material vegetativo utilizado.

A maioria das técnicas pode ser utilizada em conjunto, umas com as outras, o que pode aumentar suas eficiências. A escolha adequada é precedida por análise criteriosa da situação da área anterior à sua recuperação, incluindo as condições de clima e solo do local e dos processos que ocasionaram a instabilidade do talude.

Portanto, há necessidade de monitoramento específico, pelo menos até o estabelecimento da vegetação. Ainda não existem critérios próprios de avaliação para as técnicas de bioengenharia, de maneira que facilitem as comparações dos resultados com a literatura existente.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, G.H. de S.; ALMEIDA, J.R. de; GUERRA, A.J.T. **Gestão ambiental de áreas degra-**

dadas. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005a. 320p.

_____; _____. Técnicas e métodos de bioengenharia. In: _____. **Gestão ambiental de áreas degradadas.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005b. cap.9, p.235-274.

BEZERRA, J.F.R.; RODRIGUES, S.C. Estudo do potencial matricial de biotêxteis na recuperação de um solo degradado, Uberlândia (MG). **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v.6, n.19, p.160-174, out. 2006.

CEMIG. **Controle de erosão em margens de reservatórios, com ênfase em métodos de bioengenharia de solos.** Belo Horizonte: CEMIG, 2002.

DEFLOR. Disponível em: <<http://www.deflor.com.br>>. Acesso em: 18 jan. 2007.

DNIT. Norma nº 072, de 11 de julho de 2006. Tratamento ambiental de áreas de uso de obras e do passivo ambiental de áreas íngremes ou de difícil acesso pelo processo de revegetação herbácea - especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006a. 23p. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/normas/DNIT072_2006_ES.pdf>. Acesso em: abr. 2007.

_____. Norma nº 074 de 11 de julho de 2006. Tratamento ambiental de taludes e encostas por intermédio de dispositivos de controle de processos erosivos - especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006b. 24p. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/normas/DNIT074_2006_ES.pdf>. Acesso em: abr. 2007.

EMPRAPA AGROBIOLOGIA. Disponível em: <<http://www.cnpab.embrapa.br/>>. Acesso em: 6 abr. 2007.

ENGENHARIA VERDE. Disponível em: <<http://www.engenhariaverde.blogspot.com/>>. Acesso em: 27 jul. 2007.

FREITAS, A.R.M. **Proposta de requalificação biofísica e paisagística de um talude em um percurso do Parque Nacional do Vesúvio com técnicas de engenharia biofísica.** 95p. Trabalho (Fim de curso em Engenharia Biofísica) - Universidade de Évora,

Évora, Portugal. Disponível em: <http://engenhariaverde.planetaclix.pt/pdf/tfc_aldo_freitas.pdf>. Acesso em: jul. 2007.

LUCENA, L. **Bioengenharia de solos.** Disponível em: <<http://www.cema-cufla.com.br/biblioteca/Bioengenharia%20de%20Solos/UFLA%20PDF%20Rev%201.pdf>>. Acesso em: 6 abr. 2007.

MACHADO JÚNIOR, D.M. **Estabilidade de taludes.** Disponível em: <<http://www.arq.ufsc.br/~soniaa/arq1206/2003/Temba/EstabilidadeTaludes.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2007.

MARTINHO, P.R.M. **Contribuição para o estudo de técnicas de engenharia biofísica: grade de vegetação e grade de vegetação vesúvio.** 96p. Trabalho (Fim de curso em Engenharia Biofísica) - Universidade de Évora, Évora, Portugal. Disponível em: <<http://engenhariaverde.planetaclix.pt/pdf/tfc.pdf>>. Acesso em: 14 jul. 2007.

PEREIRA, A.R. **Como selecionar plantas para áreas degradadas e controle de erosão.** Disponível em: <<http://www.deflor.com.br/portugues/pdf/LivroSEAD.pdf>> Acesso em: 27 jul. 2007a.

_____. **Controle e recuperação de processos erosivos com técnicas de bioengenharia.** Disponível em: <<http://www.cemac-ufla.com.br/trabalhospdf/trabalho%20voluntarios/protoc%20195.pdf>>. Acesso em: 2 fev. 2007b.

_____. **Revitalização de cursos d'água com uso de técnica de solo envelopado verde.** Belo Horizonte: Deflor, 2007. (Deflor. Nota Técnica, 2). Disponível em: <http://www.deflor.com.br/portugues/pdf/NT2_Fev2007.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2007c.

ROCHA, I.P. da. **Controle da erosão marginal no Baixo São Francisco: uso da bioengenharia de solos associada à recuperação da vegetação ciliar.** 2006. 72f. Monografia. (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2006.

VERTICAL GREEN. **Uso de engenharia naturalística para a contenção de escorregamentos.** Disponível em: <http://www.verticalgreen.com.br/34rd_annual_conferenceandexpo_ieca_eua.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2007.

Agronegócio e recursos naturais: desafios para uma coexistência harmônica e menor degradação ambiental

Alfredo Scheid Lopes¹

Resumo - O Brasil é um dos poucos países com amplas possibilidades de suprir a demanda mundial de alimentos por dispor de tecnologias que alcancem aumentos consideráveis de produtividade de várias culturas a curto prazo, ter a maior fronteira agrícola mundial para expansão da área cultivada e apresentar 14% da água doce do mundo. Entretanto, têm-se acumulado evidências de que o processo de preparo do solo por meio da aração e gradagem – que até recentemente foi o único sistema de preparação da terra para o plantio – apresenta vários problemas isolados ou inter-relacionados, ressaltando, dentre esses, rápida mineralização da matéria orgânica e perda da estrutura original, perdas de água e solo (erosão) e formação de pé-de-grade. A conjugação desses e de outros problemas implica em sensíveis reduções na sustentabilidade dos sistemas produtivos. Dentre as várias tecnologias que vêm-se comprovando eficientes para reverter o processo de degradação do solo, ocupam lugar de destaque o Sistema Plantio Direto (SPD), a Integração Lavoura-Pecuária (ILP) e a Recuperação das Áreas Degradadas, notadamente das pastagens nativas e melhoradas. O grande desafio é desenvolver estratégias de uso e manejo dos recursos naturais para o desenvolvimento do agronegócio brasileiro, em coexistência harmônica com a preservação ambiental. Quaisquer ações têm que ser equilibradas e harmônicas em relação a três componentes, ou seja, ser economicamente viáveis, socialmente responsáveis e ambientalmente sustentáveis. Nesse contexto, o Programa Alimentos Sadios (PAS) e o Sistema de Produção Integrada (SPI) merecem alta prioridade nas diretrizes futuras do agronegócio brasileiro.

Palavras-chave: Área degradada. Degradação do solo. Plantio Direto. Integração Lavoura-Pecuária.

INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios da humanidade é atender à demanda mundial da produção de alimentos em virtude do crescimento populacional nas próximas décadas. A produção mundial de alimentos, que foi de 2 bilhões de toneladas em 1990, quando a população mundial era de 5,2 bilhões de habitantes, deverá atingir 4 bilhões de toneladas, no ano de 2025, quando a população mundial chegará a 8,3 bilhões de habitantes, conforme projeções

da Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (apud BORLAUG; DOWSWELL, 1993). Para que essas metas sejam alcançadas, a produtividade média mundial de grãos, que era de 2,5 t/ha, em 1990, deverá atingir 4,5 t/ha, em 2025. A palavra-chave é, portanto, produtividade, a qual deverá estar sintonizada com a sustentabilidade do processo produtivo, incluindo-se neste contexto, a minimização da degradação e de riscos ao meio ambiente.

O Brasil é um dos poucos países com amplas possibilidades de ser um participante importante nesse processo, que envolve a segurança alimentar, pelas seguintes razões:

- a) apresenta possibilidades de ganhos expressivos em produtividade média de muitas culturas, principalmente as que constituem alimentos básicos, graças aos investimentos feitos em pesquisas agropecuárias nas últimas décadas,

¹Eng^o Agr^o, Ph.D., Consultor Técnico ANDA/Prof. Emérito UFLA - Dep^o Ciência Solo, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000 Lavras-MG. Correio eletrônico: ascheidl@ufla.br

- acoplados ao desenvolvimento das atividades de ensino das Ciências Agrárias e à difusão de tecnologia;
- b) dispõe da maior fronteira mundial para a expansão da agricultura, pois de 1,4 bilhão de hectares de terras agricultáveis no mundo, o Brasil possui 497 milhões, ou seja, 35% dessa área;
 - c) dispõe de água – cerca de 14% da água doce disponível do planeta está no Brasil – o que revela um grande potencial para expansão da área irrigada, com sensíveis aumentos nas produtividades das culturas;
 - d) possui condições climáticas e ecorregionais que possibilitam o plantio de culturas que acumulam grandes quantidades de biomassa, com potencial para produção de biocombustíveis;
 - e) possui o domínio de pacote tecnológico agrícola que propicia o aproveitamento de fontes naturais de nutrientes de baixo impacto ambiental, como é o caso dos sistemas de cultivo com uso intensivo de plantas e organismos dotados de aparato para fixação de N atmosférico.

Entretanto, para que a vocação agrícola do Brasil possa ser exercida em sua plenitude, torna-se necessária uma revisão de conceitos e princípios tecnológicos, procurando mais e mais vencer os desafios para uma coexistência harmônica entre os processos produtivos, a utilização dos recursos naturais e a preservação ambiental.

Os objetivos desse trabalho são:

- a) discutir aspectos ligados à degradação do solo pelo uso intensivo da aração e gradagem na preparação para o plantio de culturas anuais;
- b) apresentar alternativas menos impactantes ao cultivo convencional de aração e gradagem para a pro-

dução de culturas anuais, com ênfase para o Sistema Plantio Direto (SPD);

- c) ressaltar a importância de uma conscientização popular sobre a grande vantagem competitiva da agricultura brasileira no cenário internacional e do seu importante papel para o desenvolvimento econômico e social do Brasil;
- d) apresentar as necessidades de pesquisas e os principais gargalos para o desenvolvimento do agronegócio brasileiro em coexistência harmônica com o meio ambiente.

DEGRADAÇÃO DO SOLO: UM PROBLEMA A SER EQUACIONADO

O hábito de queimar a palha e de preparar o solo por meio da aração e da gradagem foi introduzido no Brasil pelos colonizadores europeus. Segundo Gassen e Gassen (1996), nas regiões de clima frio, com neve no inverno, a queima de palha pode ser necessária por causa da dificuldade para a decomposição natural dos resíduos vegetais. Além disso, no início da primavera, a aração (exposição da camada arável) também pode ser necessária para acelerar o descongelamento da água e permitir o aquecimento do solo, por meio da radiação solar, para facilitar a germinação das plantas.

Nas regiões de climas subtropical e tropical, a situação é inversa, pois não há necessidade de expor o solo à radiação solar e as palhadas decompõem-se rapidamente por causa da intensa atividade biológica durante praticamente o ano todo. Nessas regiões, a aração e a gradagem são práticas usadas, teoricamente, para descompactar e preparar a terra para a semeadura, facilitar o desenvolvimento das culturas, incorporar a palhada e controlar plantas consideradas daninhas (GASSEN; GASSEN, 1996).

Até o início dos anos 70, toda a evolução do processo produtivo na agricultura brasileira, principalmente para a produção

de culturas anuais, era consubstanciada no intenso preparo do solo pelas operações de aração e gradagem com o objetivo de preparar a terra para o plantio.

Entretanto, vários fatores têm sido diagnosticados como indutores de degradação dos solos, notadamente na região dos Cerrados, e também em outras regiões do Brasil, o que indica a necessidade de adequação de rumos no manejo para aumento da sustentabilidade do processo produtivo da agricultura, principalmente envolvendo culturas anuais, fato que felizmente já está ocorrendo.

Dentre esses fatores, ocupam lugar de destaque:

- a) perdas da estrutura original, normalmente associada a perdas de matéria orgânica (MO);
- b) perdas do solo pela erosão e perdas de água.

Todos esses fatores têm relação direta com o clima da região, notadamente com a intensidade de chuvas, com a monocultura e com o sistema de preparo do solo.

Perda da estrutura

Uma das mais sérias conseqüências do sistema de cultivo convencional, utilizado ainda hoje por grande número de agricultores, tem relação com seus efeitos na estrutura do solo.

Em geral, notadamente na região dos Cerrados, os agricultores têm grandes extensões de terra para preparar, e as operações de preparo do solo começam normalmente na estação da seca (julho, agosto e setembro). Para aumentar a velocidade de preparo do solo, são utilizados arados ou grades aradoras de discos pesadas como implementos mais comuns, que, com o correr de anos de preparo semelhante, têm sérias conseqüências na destruição da boa agregação do solo, no aumento do teor de argila dispersa em água nas camadas superficiais do solo, na maior exposição da MO à ação dos microrganismos e na formação de camadas compactadas entre 12 e 15 cm abaixo da superfície do solo.

Latossolos argilosos (45% de argila),

sob vegetação natural de Cerrado, pastagens e eucalipto, apresentam mais de 80% dos agregados do solo com mais de 2 mm de diâmetro na camada arável. Em contrapartida, áreas cultivadas por mais de 10 anos, seja sob a rotação soja-milho ou arroz-milho e preparadas com arado de disco, apresentam somente 20% dos agregados do solo maiores que 2 mm. Perdas de carbono (C) do solo de 13 t/ha (0,7%) em rotação soja-milho e de 17 t/ha (0,9%) na rotação arroz-milho foram reportadas por Resck et al. (2006) em alguns desses sistemas intensivos.

Áreas cultivadas com adubos verdes e preparadas com cultivador *Rototiller* chegaram a não mais que 42% de agregados estáveis em água, demonstrando danos à estrutura, causados por este implemento, apesar da incorporação de grandes quantidades de matéria seca (MS) ao solo (cerca de 10 t/ha em ambos os casos).

Os teores de C orgânico em agregados do solo com mais de 2 mm de diâmetro nesses sistemas foram 1,6%, 1,3%, 1,3% e 1,5%, para o Cerrado virgem e pastagem, eucalipto e adubo verde, rotação soja-milho e rotação arroz-milho, respectivamente (RESCK; SILVA, 1990). A impossibilidade de manter uma alta porcentagem de agregados do solo maior que 2 mm nas áreas cultivadas intensivamente foi decorrente de uma diminuição na fração protegida da MO (DUXBURY et al., 1989) e, em consequência, na sua quantidade, que foi várias vezes menor nas áreas cultivadas intensivamente comparando aos sistemas naturais.

Vários outros trabalhos de pesquisa, descritos a seguir, têm demonstrado claramente os efeitos de tempo de cultivo, tipos de implemento de preparo do solo e uso de adubos verde sobre o teor de C do solo na região dos Cerrados. Em um Latossolo Vermelho-Amarelo, com 75% de argila, onde se monitorou a MO por 11 anos, ficou evidenciado que, logo após a remoção da vegetação, o teor de C orgânico foi de 1,9% no horizonte superficial. Durante os dois anos seguintes, com o cultivo de arroz

de sequeiro, o teor de C orgânico aumentou para 2,3%, provavelmente por causa da decomposição dos resíduos das raízes da vegetação nativa. Sob cultivo contínuo com soja e com o solo preparado com grade aradora pesada, o C orgânico no solo caiu para menos de 1,7%, em decorrência da diminuição de resíduos das plantas e do aumento da atividade microbiana resultante do uso de calcário e fertilizantes. Essas perdas não foram mais acentuadas por causa do alto teor de argila que faz uma maior proteção física da MO, tornando-a mais difícil de ser destruída do que em solos de textura média ou arenosa. Após 11 anos de cultivo, o horizonte superficial, que originalmente continha 90% de agregados maiores que 2 mm sob vegetação de Cerrado, tinha apenas 62% desses agregados, apesar do alto teor de C orgânico, que foi de 2,1% (WOOMER et al., 1994).

Outra alteração importante observada nesse último experimento foi o aumento do teor de argila dispersa em água, que passou de 10% no solo sob Cerrado nativo, para 44% após 11 anos de cultivo. O arado de discos pesado pulverizou a estrutura do solo, expondo a MO à decomposição microbiana. Além disso, esse implemento formou uma camada compactada na profundidade de 12 a 15 cm, formada por argilas naturais transportadas pela percolação da água de chuva. Na superfície, esse processo leva à formação de uma fina crosta que diminui a infiltração da água.

Esse processo faz com os solos sob Cerrado, principalmente os Latossolos, que normalmente são muito resistentes à erosão, tornem-se passíveis de perdas consideráveis de solo e água, que carregam sedimentos que foram enriquecidos em nutrientes por meio do oneroso processo de construção e manutenção da fertilidade do solo. Estimativas de Resck (1981) e Resck et al. (1991) mostram que as perdas de nutrientes por esse processo podem chegar aos seguintes níveis: P - aumento de 14 vezes; Ca e Mg - aumento de 2 vezes; K - aumento de 1 vez; e, MO - aumento de 5 vezes.

Outro exemplo do manejo inadequado do solo em decorrência do efeito destrutivo da estrutura por grades aradoras de disco pesadas foi observado em Latossolos e Areias Quartzosas, no oeste da Bahia. A diminuição do teor de matéria orgânica do solo (MOS) com o tempo de cultivo (TC) e o seu efeito na capacidade de troca catiônica (CTC) foi avaliada em áreas continuamente cultivadas com soja. Os solos formaram dois grupos: grupo I – até 30% de argila e grupo II – maior que 30% de argila. Os principais resultados desse trabalho podem assim ser resumidos (SILVA et al., 1994):

- a) a diminuição da MOS ocorreu em todos os solos. Após cinco anos de cultivo, a quantidade perdida foi menor no grupo I (15,7 t/ha) do que no grupo II (18,9 t/ha). Essas perdas representaram, entretanto, 69% e 46% do estoque inicial de MOS nos grupos I e II, respectivamente;
- b) a taxa de diminuição da MOS (Fator K), estimada de acordo com Dalal e Mayer (1986), foi de 0,300%/ano e 0,244%/ano, para os grupos I e II, respectivamente;
- c) os valores da meia vida ($t_{1/2}$), ou seja, tempo para ocorrer uma diminuição de metade do teor original de MOS, foram de 2,74 e 6,07 anos para os grupos I e II, respectivamente, mostrando que a taxa de perda da MOS foi maior em solos com baixo teor de argila, principalmente nas Areias Quartzosas, onde $K = 0,299\%/ano$ e $t_{1/2} = 2,15$ anos;
- d) a diminuição da MOS foi seguida por uma diminuição da CTC do solo e ambos os atributos foram relacionados de forma linear, com uma correlação de 0,8, em ambos os grupos de solos;
- e) a diminuição da CTC por unidade porcentual de perda da MOS foi maior no grupo I do que no grupo II, provavelmente por causa da

contribuição da fração argila na CTC dos solos argilosos.

Perda do solo pela erosão e perda de água

Estudos conduzidos por Dedecek et al. (1986), em uma área sob vegetação de Cerrado próxima à Brasília, DF, mostraram que uma área sob pousio em um Latossolo argiloso apresentava uma perda anual de 53 t/ha, o que era equivalente a uma camada de 5,3 mm. Nessa região, a curva de erosividade da chuva (IE_{30}) é ascendente de outubro (meados da estação chuvosa), até meados de janeiro, o que coincide com o período de preparo do solo com aração e gradagem e com um mínimo de cobertura vegetal. A média anual de erosividade da chuva é igual a 7.897 MJ mm/ha e cerca de 47% dessa energia ocorre no período citado. Além disso, a erosão do solo e o escoamento superficial atingem o máximo (36 t/ha ou 68%) de meados de janeiro até a época da colheita. Se se considerar a área cultivada hoje com culturas anuais (12 milhões de hectares) sob cultivo convencional (sob pousio) e as perdas de solo que ocorrem de outubro a meados de janeiro (17 t/ha), o potencial de perdas anuais de solo, considerando-se uma camada de 20 cm, atingiria 102 mil hectares (cada hectare pesando 2 mil t, com densidade do solo de 1 t/m³). Dedecek et al. (1986) comentam ainda que essas perdas seriam reduzidas para 45%, 83% e 85% para milho, soja e arroz sob cultivo convencional, respectivamente, em comparação à área sob pousio. Para soja em SPD, essas perdas de solo corresponderiam a apenas 9.180 ha (também para uma camada de 20 cm).

Outro aspecto ligado à degradação do solo, quando se pratica a agricultura convencional, tem a ver com as possíveis perdas de água por escoamento superficial. Segundo Resck et al. (2006), da precipitação média anual de 1.165 mm (CV=26%), próximo a 280 mm são perdidos por escoamento superficial (CV=10%), o que corresponde a uma infiltração de 76%.

Considerando-se a área de 58 milhões de hectares ocupados atualmente com culturas anuais nos Cerrados, isto representaria uma perda anual de 16.240 milhões m³ de água doce, o que seria suficiente para uma população de 773.337, consumindo 21 m³ *per capita* por ano.

TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO, AGRONEGÓCIO E PRESERVAÇÃO AMBIENTAL

Embora tenha sido notável a evolução das Ciências Agronômicas e tecnologias agrícolas, que permitiram a evolução do processo produtivo na agricultura brasileira e a obtenção dos níveis de produção e produtividade atuais, há que se refletir sobre as adequações dessas tecnologias dentro do conceito moderno de preservação ambiental e sustentabilidade futura desses sistemas de produção.

Nesse contexto, cabem alguns comentários sobre mudanças ou adequação dos rumos das tecnologias de preparo do solo para o plantio, para que a agricultura e o agronegócio brasileiros possam alcançar seus objetivos. Essa adequação envolve a implementação de ações que minimizem os riscos de degradação e contaminação ambientais, que conduzam à diminuição do desmatamento em áreas pouco vocacionadas para produções agrícolas intensivas, que contribuam para a conservação dos biomas naturais em áreas de preservação permanente e que levem a uma maior inclusão social dos habitantes das mais distintas regiões.

Na readequação de rumos dos processos produtivos na agricultura brasileira, consideram-se importantes os seguintes pontos:

Plantio Direto

A importância da MO para a sustentabilidade da produção dos solos da região dos Cerrados é um fato inquestionável, conforme foi demonstrado no tópico anterior. A abertura de novas áreas principalmente na região dos Cerrados, até passado recente, foi fundamentada quase que exclusivamente na aração e em gradagens

profundas, principalmente nas operações iniciais para a construção da fertilidade desses solos. Isso pode ser justificável, inicialmente, porém a repetição anual dessas práticas levou muitas áreas a sofrerem degradação, com conseqüente perda de sustentabilidade do processo produtivo. De acordo com Goedert e Oliveira (2007), os principais efeitos negativos já detectados para essas práticas são:

- a) pulverização do solo, com ruptura dos agregados, o que facilita o selamento superficial do solo e o arraste de partículas pela enxurrada;
- b) exposição excessiva dos compostos orgânicos, com aumento da velocidade de sua decomposição, resultando em diminuição do teor de MOS;
- c) favorecimento de condições para a formação de uma zona compactada abaixo da camada arável do solo (denominada pé-de-grade), resultante da pressão exercida pelos implementos de preparo e/ou da movimentação das partículas mais finas no perfil do solo.

A evolução das pesquisas em relação a sistemas mais sustentáveis de manejo do solo, com destaque para o SPD – que, segundo o Dr. John Landers, para ter sucesso precisa de: "palha, palha, palha; rotação, rotação, rotação e perfil, perfil, perfil" – está levando a agricultura brasileira a uma verdadeira revolução.

A expressão Plantio Direto é adotada para definir a prática da semeadura ou do cultivo de plantas sem preparo físico do solo por meio das tradicionais práticas de aração e gradagem, mantendo a palha da cultura anterior na superfície. O solo é revolvido apenas no sulco, onde são depositadas sementes e fertilizantes. As plantas infestantes são controladas por herbicidas. O primeiro Plantio Direto de que se tem notícia no Brasil foi feito na região de Rolândia, no norte do Paraná, pelo produtor Herbert Bartz, que em 1972, ao visitar os Estados Unidos, conheceu e trouxe a técnica para o Brasil.

São inúmeras as vantagens do Plantio Direto podendo-se resumi-las no seguinte (IAC, 2005):

- a) vantagens agronômicas: controle da erosão, aumento da água armazenada no solo, redução da oscilação térmica, aumento da atividade biológica, aumento dos teores da MO e melhoria da estrutura do solo;
- b) vantagens econômicas e operacionais: economia de combustível, aumento da vida útil das máquinas, necessidade de menor volume de chuvas para o trabalho da terra, maior controle sobre a época de semeadura, possibilidade de economia de fertilizantes;
- c) vantagens ambientais: diminuição no consumo de petróleo – combustíveis fósseis, seqüestro de carbono pelo aumento do estoque de carbono no solo e da MO em decomposição na superfície, redução das perdas de solo por erosão, do assoreamento e da poluição difusa que atinge reservatórios e cursos d'água.

A verdadeira explosão no aumento da área sob Plantio Direto, não apenas na região dos Cerrados, mas em todo o Brasil, tem resultado em vários efeitos positivos, com reduções significativas em:

- a) perdas da estrutura natural dos solos;
- b) das taxas de erosão do solo;
- c) do escoamento superficial da água;
- d) das taxas de redução do teor de MOS.

Tudo isso resulta em maior sustentabilidade do sistema produtivo (Gráfico 1).

Integração Lavoura-Pecuária (ILP)

Possivelmente, um dos mais expressivos avanços na busca de tecnologias mais sustentáveis para a exploração agropecuária no Brasil seja a evolução do

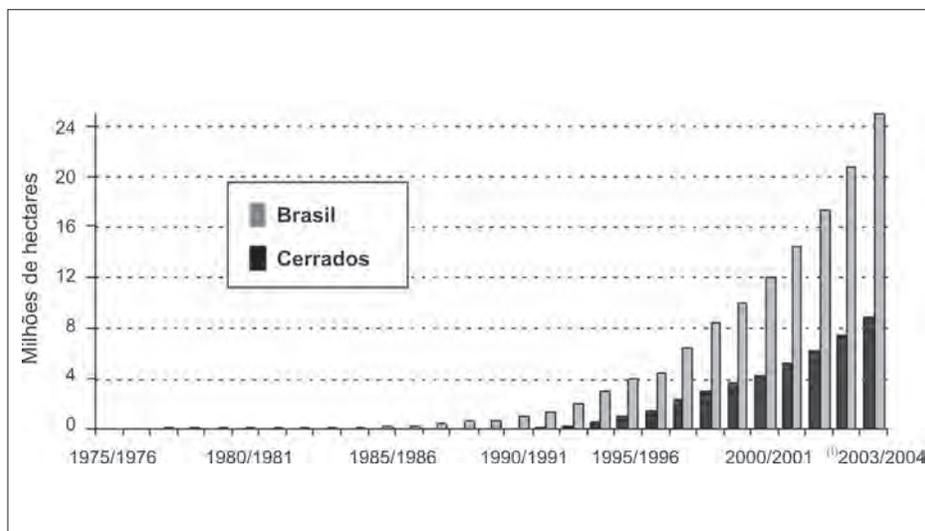


Gráfico 1 - Evolução da área sob Plantio Direto, no Brasil e na região dos Cerrados, no período 1975/1976 - 2003/2004

FONTE: FEBRAPDP (2003).

(1) Estimativa.

conhecimento do Sistema Integrado de Produção Lavoura-Pecuária. A implementação desse Sistema exige uma mudança conceitual e operacional das práticas agrícolas, tanto para a produção de grãos e outros produtos, como para a pecuária. Porém, os resultados obtidos têm mostrado que essa integração permite somar efeitos positivos da produção isolada de grãos com os da produção de carne e leite, com um grande efeito sinérgico benéfico do conjunto dessas operações. Dentre os vários efeitos positivos desse sistema, citam-se:

- a) maior cobertura vegetal do solo, o ano todo, o que reduz os efeitos da erosão e do escoamento superficial das águas;
- b) diminuição da intensidade de pragas e doenças das culturas, o que reduz a intensidade de aplicação de pesticidas;
- c) formação de pastagens altamente produtivas e com grande capacidade de suporte, aproveitando o efeito residual do calcário e dos fertilizantes aplicados nas culturas anuais;
- d) maior ciclagem de nutrientes lixi-

viados para o subsolo, por causa do sistema radicular mais profundo das espécies forrageiras.

Embora seja uma tecnologia de manejo relativamente recente, quando integrada com o SPD, a Integração Lavoura-Pecuária (ILP) talvez seja uma das formas de manejo mais recomendáveis para a sustentabilidade de produção dos solos sob Cerrados. Mais detalhes sobre esse sistema podem ser encontrados em Kluthcouski et al. (2003).

Outro componente que tem sido avaliado na ILP é o reflorestamento com eucalipto e/ou *pinus*, levando ao Sistema Lavoura-Pecuária-Reflorestamento. A idéia básica seria alargar o espaçamento das linhas das espécies florestais de modo que permita a implementação da ILP nas entrelinhas. Embora com aporte ainda reduzido de pesquisas, algumas iniciativas pioneiras dessa integração tríplice têm-se mostrado altamente eficientes em relação à sustentabilidade de manejo. A intensificação de pesquisas para diagnosticar os gargalos para uma mais efetiva implementação desse sistema – que avalia inclusive os possíveis efeitos benéficos quanto à sua sustentabilidade nos Cerrados – é uma prioridade.

Recuperação das áreas degradadas

A recuperação de áreas degradadas para sua incorporação ao processo produtivo agrossilvipastoril deve merecer atenção especial e contar, inclusive, com incentivos oficiais. O enfoque básico deve ser o de aumentar a produtividade nas áreas já abertas e não a simples expansão da fronteira agrícola.

Estima-se que no Brasil existam cerca de 180 milhões de hectares ocupados por pastagens nativas ou melhoradas, a maior parte na região dos Cerrados. Cerca da metade dessas pastagens (90 milhões de hectares) estão degradadas ou apresentam algum grau de degradação com baixíssima capacidade de carga de animais (um animal para cada 5 ha). Admitindo-se que 1/3 dessas pastagens degradadas possa ser recuperada num curto prazo – pois há conhecimento científico e tecnológico para isso – e uma produção de 4 t de grãos por hectare anualmente, isto representaria a possibilidade de produção anual de mais 120 milhões de toneladas de alimentos sem desmatar 1 ha sequer de vegetação nativa. Essa ação seria extremamente bem recebida por todos que militam em campanhas de preservação ambiental, podendo-se, inclusive adotar um selo de qualidade ecológico com os dizeres: Este produto foi produzido em área recuperada de pastagem degradada e não representou a necessidade de desmatamento de área de floresta ou Cerrado nativo para sua produção. Essa ação deveria constituir um programa da mais alta prioridade das autoridades constituídas e da iniciativa privada do País.

Sustentabilidade do agronegócio

Embora já existam algumas linhas com o objetivo de adequar rumos do processo produtivo da agropecuária brasileira em relação a sistemas de exploração menos impactantes no que tange ao meio ambiente

e, de modo especial, ao recurso natural solo, torna-se necessário tratar da sustentabilidade do agronegócio brasileiro de forma mais ampla.

É preciso levar em conta que, nos dias atuais, quaisquer ações têm que ser equilibradas e harmônicas em relação a três componentes, ou seja, devem ser economicamente viáveis, socialmente responsáveis e ambientalmente sustentáveis (Fig. 1). Qualquer desequilíbrio em um desses vértices irá levar a atritos e divergências que podem comprometer as metas de desenvolvimento do agronegócio e prejudicar a consolidação do Brasil como um país com vocações imbatíveis nesse segmento. Uma implementação mais ampla dos dois programas descritos a seguir pode, certamente, constituir instrumento da mais alta significância para o futuro do agronegócio brasileiro.

Programa Alimentos Sadios (PAS)

Este Programa tem como objetivos disseminar e apoiar a implantação das Boas Práticas Agrícolas (BPAs) e o Sistema de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC) nas empresas de alimentos e alimentação, em todo o País. Com isso, o PAS contribui para:

- aumentar a segurança e a qualidade dos alimentos produzidos para a população brasileira;
- aumentar a exportação de alimentos, preparando o setor produtivo brasileiro para atender a exigências dos países importadores em termos de segurança dos alimentos;
- aumentar a competitividade das empresas brasileiras.

Como um programa que atinge toda a cadeia de alimentos, o PAS é composto de uma parceria abrangente, que reúne instituições parceiras com focos de ação desde o campo até o consumo final do alimento, tais como: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (Senar), Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai), Serviço Social da Indústria (Sesi), Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial (Senac), Serviço Social do Comércio (Sesc), Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae), sendo também parceiras a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

O PAS² conta também, desde seu início, com o apoio (técnico) do Ministério da

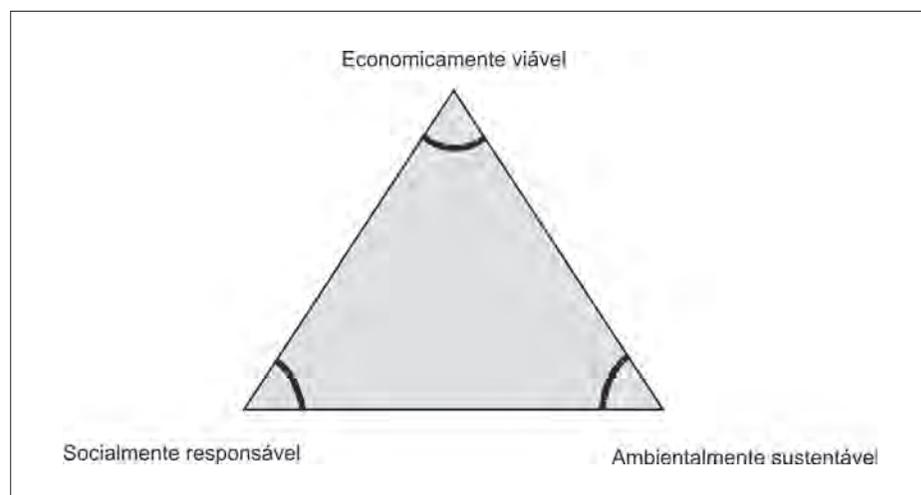


Figura 1 - Harmonia de ações para a sustentabilidade do agronegócio
 FONTE: Dados básicos: Ares (2007).

²Detalhes do Programa podem ser encontrados em <http://www.alimentos.senai.br>

Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), do Ministério da Saúde e da Associação Brasileira das Indústrias da Alimentação (Abia). Também o Instituto Nacional de Metrologia (Inmetro) e a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) foram envolvidos no PAS, para trabalharem o aspecto de normalização.

Sistema de Produção Integrada (SPI)

Trata-se de um Sistema de exploração agrária que produz alimentos e outros produtos de alta qualidade mediante o uso dos recursos naturais e de mecanismos reguladores para racionalizar o uso de insumos, visando uma produção agrária sustentável.

Envolta no contexto da segunda metade da década de 1990, a Produção Integrada (PI) surgiu a partir das demandas reais de satisfazer as necessidades da sociedade como um todo, no que se refere à produção de alimentos e insumos industriais (fibras, couro, etc.), gerados pela produção agropecuária, a geração de empregos no campo para população de baixa renda e escolaridade e à redução do êxodo rural para as grandes cidades.

Inicialmente, visava otimizar o Manejo Integrado de Pragas (MIP) nas fruteiras de clima temperado da Europa, técnica esta que vislumbra a redução do uso de pesticidas, que se baseia em controles culturais, químicos e biológicos. Sempre que possível, o MIP é orientado pelo Limiar de Dano Econômico (LED) e pelo Nível de Dano Econômico (NED), que requer o conhecimento da dinâmica populacional das pragas e doenças prioritárias de controle pelos Programas de MIP.

A implantação prática do SPI deve-se basear em sua própria definição, ou seja, refletir a gestão ambiental das atividades agrárias de forma sustentável, estabelecendo normas que assegurem uma cuidadosa utilização dos recursos naturais, minimizando o uso de pesticidas e insumos na exploração, com base nas normas da série ISO 14001. Também possibili-

ta a aplicação da norma ISO 9001, no que se refere ao acompanhamento da cadeia produtiva e de pós-colheita. Tudo isso está orientado à produção de produtos agrícolas de qualidade internacional que atendam às necessidades e às exigências do consumidor final, propondo, assim, um conjunto de BPAs a ser estabelecido em normas e procedimentos direcionados àqueles que se propuserem a utilizar tais práticas no campo.

Dessa forma, o SPI objetiva a produção de alimentos de alta qualidade, mediante o uso de técnicas que levem em consideração os impactos ambientais sobre o sistema solo/água/produção e que possibilitem avaliar a qualidade dos produtos, considerando as características físicas, químicas e biológicas dos recursos naturais locais nos processos envolvidos na cadeia produtiva, pós-colheita e comercialização da produção.

Assim sendo, os produtos elaborados, conforme as normas de PI elegem um sistema de produção que elenca as melhores opções existentes para a exploração do sistema agrário, assim como de instrumentos e técnicas para monitoramento ambiental e controle da cadeia produtiva e de pós-colheita, assegurando um menor risco de contaminação ambiental direta e indireta, além de proporcionar uma diminuição gradativa dos custos de produção.

Conscientização popular

Outro ponto que merece ênfase especial é uma ampla campanha para esclarecimento ao público sobre a importância da agricultura para o desenvolvimento econômico e social do Brasil.

Como exemplo, três dos cinco pontos mencionados na introdução deste trabalho – ganhos em produtividade nas áreas já exploradas; potencial de expansão da fronteira agrícola; disponibilidade de água para irrigação – deveriam ser cada vez mais divulgados como instrumento de convencimento da população brasileira sobre a grande vantagem competitiva da agricultura brasileira no cenário interna-

cional e do seu importante papel – passado, presente e futuro – para o desenvolvimento brasileiro.

Ressaltam-se estes aspectos, pois, existe por parte do público em geral, notadamente daqueles que não militam com assuntos ligados ao campo, um profundo desconhecimento do que foi alcançado pelo desenvolvimento da agricultura num contexto macroeconômico, ambiental e social, nas últimas décadas. Na realidade, certas mensagens veiculadas por alguns meios de comunicação de massa levam a população a crer que:

- a) a agricultura é uma grande vilã ambiental, que contribui para o desmatamento desenfreado da região Amazônica;
- b) o agronegócio só privilegia os grandes produtores rurais e as culturas de exportação;
- c) os benefícios sociais do modelo da agricultura tradicional adotado no Brasil foram ínfimos.

É necessário que os diversos segmentos da mídia levem ao cidadão comum mensagens que contenham alguns exemplos de conquistas da agricultura brasileira e esclareçam a opinião pública sobre inverdades que aparecem no dia-a-dia de alguns meios de comunicação. Acredita-se que os três aspectos seguintes, os quais retratam importantes contribuições da agricultura, mereçam uma reflexão de todos os cidadãos brasileiros e uma ampla campanha de esclarecimento.

Aspectos ambientais

No período de 1970/1971 até 2007/2008, a produção das 16 principais culturas no Brasil (base seca) passou de 51,7 para 222,4 milhões de toneladas (aumento de 4,3 vezes). No mesmo período, a produtividade passou de 1,4 para 3,7 t/ha (aumento de 2,6 vezes) e a área cultivada passou de 35,7 para 60,5 milhões de hectares (aumento de apenas 1,7 vez). Como consequência, o aumento da produção foi, principalmente, pelo aumento da

produtividade e não pela simples expansão da área cultivada (Gráfico 2). É verdade que as produtividades atuais para algumas culturas ainda estão longe do ponto de máximo econômico. Esses dados indicam, porém, que se estivessem sendo produzidas, em 2007/2008, as 222,4 milhões de toneladas com as produtividades de 1970/1971 (1,4 t/ha), teriam sido incorporados ao processo produtivo da agricultura brasileira mais 71 milhões de hectares. Ou seja, o aumento da produtividade, em decorrência de investimentos em tecnologias mais eficientes, incluindo melhor manejo da fertilidade do solo, evitou um desmatamento equivalente a 71 milhões de hectares. Essa é, talvez, a maior contribuição em termos ambientais resultante desse processo.

Por tudo isso, vale a pena enfatizar mais uma vez o papel fundamental para o desenvolvimento sustentável, notadamente na região dos Cerrados, que representa o uso de técnicas que levam ao aumento da produtividade da agricultura nas áreas já incorporadas ao processo produtivo. Assim, a tecnologia constitui um poderoso instrumento de preservação ambiental, pois reduz as pressões de desmatamento das áreas florestadas, muitas vezes não adequadas ao processo intensivo da produção agropecuária, deixando mais espaço para manutenção da biodiversidade e da preservação da natureza.

Aspectos econômicos

Um dos fatos mais notáveis pertinentes ao crescimento da economia brasileira nos últimos anos foi a evolução do agronegócio. Dados publicados pela revista *Veja* (SILVA, 2004) revelaram que, em 2003, o Brasil posicionava-se em primeiro lugar mundial na exportação dos seguintes produtos:

- açúcar: vendeu 29% de todo o açúcar consumido no mundo;
- café: vendeu 28,5% do café em grão consumido no planeta e 43,6% do café solúvel;
- carne bovina: assumiu a liderança

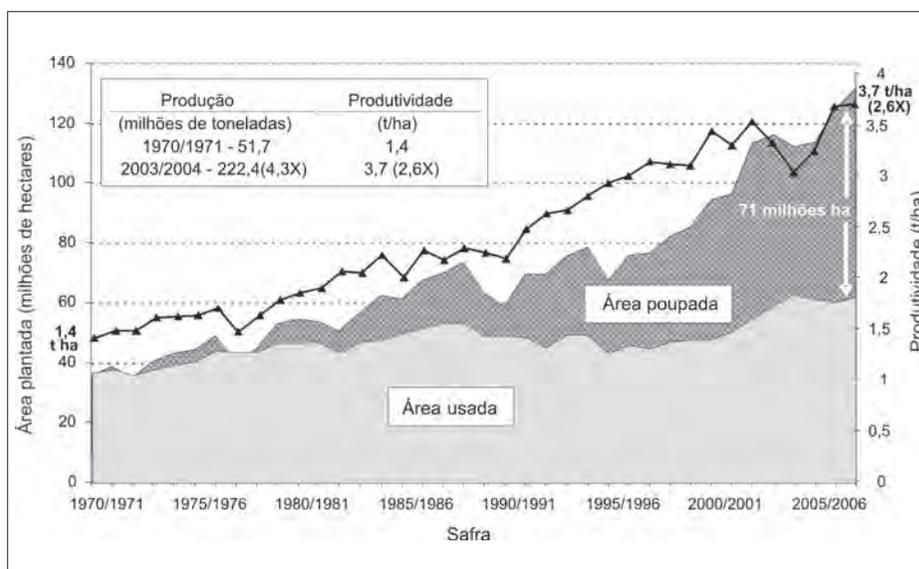


Gráfico 2 - Evolução da área cultivada, área poupada e produtividade média das 16 principais culturas no Brasil (base seca), no período 1970/1971 - 2007/2008

FONTE: Dados básicos: Lopes et al. (2003) e IBGE (2008).

em 2003, com 19% de participação no mercado mundial;

- carne de frango: foi o primeiro em vendas, com exportações de 1,9 bilhão de dólares;
- soja em grão: deteve 38,4% do mercado mundial;
- suco de laranja: vendeu 81,9% do suco distribuído no planeta;
- tabaco: vendeu 23,1% do tabaco consumido no mundo.

Entretanto, embora relevantes, esses dados do agronegócio têm levado o público em geral, principalmente aqueles não ligados às atividades agrícolas, a uma conceituação errônea de que esse segmento envolve apenas o grande produtor rural e as culturas de exportação. É preciso lembrar que são também constituintes importantes do agronegócio a agricultura familiar do pequeno produtor rural e até mesmo a chamada agricultura de subsistência. A agricultura familiar ou aquela praticada nas pequenas propriedades responde hoje por 30,5% da área total cultivada no País, 38% de tudo que se produz e 77% das pessoas que trabalham na agricultura. A agricultura familiar, neste contexto, é responsável por 67% do feijão, 84% da

mandioca, 31% do arroz, 49% do milho, 53% do leite, 59% dos suínos e 40% das aves e ovos, para citar apenas alguns produtos do campo. No caso da agricultura de subsistência, um segmento com baixa capitalização, o apoio institucional para o seu desenvolvimento, visando o acesso à implementação de tecnologias de produção sustentáveis – que aumentem a produtividade de suas terras acima daquela necessária para a sua subsistência e de seus familiares – é ainda mais imprescindível. Esse tipo de produtor, ao ter acesso a essas tecnologias, muitas delas simples, poderá vender o seu pequeno “excesso” de produção no mercado próximo, aumentar a sua renda e contribuir para a sua inclusão social. É necessário, portanto, desmistificar que o agronegócio seja coisa apenas de grande produtor e das culturas de exportação.

Aspectos sociais

Finalmente, um ponto de grande relevância – e desconhecido do grande público – é o resultado da evolução da produção, da produtividade e da eficiência dos sistemas produtivos da agricultura

brasileira. Este ponto é ilustrado pelos dados do Gráfico 3, que apontam a involução dos preços reais dos produtos da cesta básica nas últimas décadas. De setembro de 1975 a junho de 2000, os preços reais dos produtos da cesta básica caíram para 1/3 do valor original, seguindo uma tendência linear de queda nesse período. Isso beneficia todos os brasileiros, sobretudo, aqueles que se encontram no segmento de mais baixa renda da sociedade. Poucos programas de inclusão social governamentais tiveram o mesmo sucesso do representado pela evolução e desenvolvimento da agricultura brasileira, que contribuiu para este barateamento dos produtos da cesta básica.

Vários fatores limitantes ainda impedem o aumento da produtividade – com sustentabilidade – das culturas de exportação, da agricultura familiar nas pequenas propriedades rurais e até da agricultura de subsistência. Assim, incluem-se as logísticas e estruturas de armazenagem e transporte. Esses fatores já foram diagnosticados e debatidos em vários fóruns competentes e todos são unânimes em reafirmar a necessidade urgente de adoção de medidas para a eliminação desses gargalos pelos órgãos constituídos e pela iniciativa privada, o que irá, certamente, contribuir para que o Brasil se torne uma grande nação socialmente mais justa.

Perspectivas e desafios

Segundo Alan MacDiarmid³, Prêmio Nobel de Química, os dez maiores problemas para a humanidade nos próximos 50 anos são: energia, água, alimentos, meio ambiente, pobreza, educação, democracia, população, doenças e terrorismo/guerras. Destes, os cinco primeiros têm relação com a agricultura e com o agronegócio.

Dentre a China, Índia e Brasil, três importantes países emergentes, a vocação natural do primeiro é a produção de ma-

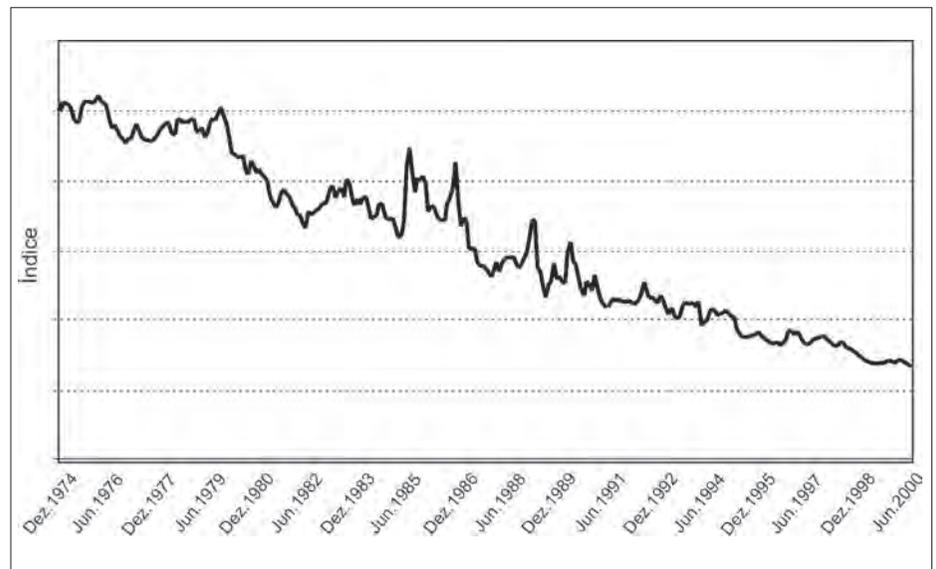


Gráfico 3 - Involução dos preços reais dos produtos da cesta básica - Brasil – dezembro de 1974 a junho de 2000

FONTE: Portugal (2002).

nufaturados, enquanto que a do segundo, é o setor de serviços. O Brasil, pelos aspectos já discutidos, possui o maior potencial mundial para a produção de alimentos, fibras e agroenergia. O País tem tecnologia para aumentar a produtividade das culturas, tem terra disponível para expansão da área plantada, e água em abundância.

Enquanto a segurança alimentar foi estratégica no século 20, e continuará sendo no século 21, a segurança energética passa a ser de maior importância no século atual. As projeções oficiais de crescimento de alguns segmentos da agricultura e da produção animal brasileira, elaboradas pela Assessoria de Gestão Estratégica do MAPA (Quadro 1), mostram uma notável projeção de crescimento na produção de arroz, milho, soja e trigo (total de 124 milhões de toneladas, em 2007/2008, e projeção de 157 milhões de toneladas, em 2017/2018).

Em relação a carnes e leite, a expectativa é que até 2017/2018 haja um crescimento anual de 3,26% na produção de carne de

frango, de 2,48% na de carne bovina, de 1,86% na de carne suína e de 1,92% na produção de leite (Quadro 1).

Os altos preços do petróleo, o rápido esgotamento das reservas, a necessidade de fontes de energia alternativas, os perigos do aquecimento global e as preocupações com aspectos ambientais deverão afetar o perfil de produção do agronegócio brasileiro, privilegiando, também, o segmento de bioenergia, notadamente em relação à produção de etanol e de biodiesel. Nesse contexto, estima-se que a produção de etanol, que atingiu 17.600 milhões de litros em 2007/2008, atinja 41.629 milhões de litros em 2017/2018, com um crescimento no período de 2,36 vezes (Quadro 1).

Finalmente, além dos pontos anteriormente discutidos neste artigo, para que a agricultura brasileira e o agronegócio possam contribuir mais e mais para atender à demanda crescente da população brasileira e prover excedentes exportáveis, acredita-se, ainda, que algumas ações de pesquisa precisam ser priorizadas e alguns gargalos logísticos removidos em futuro próximo.

³Palestra proferida em São Carlos, SP, em abril de 2005.

QUADRO 1 - Projeções de aumento da produção de alguns produtos agrícolas, carnes e etanol, para o ano de 2017/2018 em comparação a 2007/2008 - Brasil

Produto	2007/2008	2017/2018	Taxa de crescimento médio anual (%)
	Milhões de toneladas		
Arroz	11.269	13.134	0,92
Milho	51.064	64.122	2,86
Soja	57.551	75.348	2,44
Trigo	4.128	5.036	2,00
Carne de frango	9.821	14.414	3,26
Carne bovina	10.630	13.976	2,48
Carne suína	2.976	3.730	1,86
Açúcar	30.708	43.213	2,98
	Milhões de litros		
Etanol	17.600	41.639	8,99
Leite	26.675	33.089	1,92

FONTE: Brasil (2007).

Aspectos relacionados com a pesquisa

Deve-se fazer o monitoramento mais efetivo de níveis de nitrato, fosfato, metais pesados, pesticidas, resíduos industriais e orgânicos, que possam ser impactantes em relação à sustentabilidade do meio ambiente, ao homem, à flora e à fauna.

Portanto, faz-se necessária a intensificação de estudos que permitam uma adoção mais intensa de toda e qualquer prática agrícola com o objetivo de manter o solo com cobertura viva a maior parte do tempo, inclusive no período da seca, para as mais diferentes condições de clima, solo e tipos de exploração agrossilvipastoril. Assim como, pesquisas que permitam o estabelecimento de padrões confiáveis de qualidade do solo em termos biológicos, físicos e químicos, para, num sentido mais amplo, nortear a sustentabilidade dos sistemas de produção agrossilvipastoris no Brasil. Além de pesquisas que permitam ajuste fino do conhecimento sobre dinâmica de nutrientes no solo, eficiência de absorção, transporte e metabolismo, as

quais procurem identificar espécies, variedades e cultivares mais eficientes na utilização de recursos minerais essenciais para a produção, porém, finitos.

O principal tópico atual, Mudanças Climáticas (emissão de gases, efeito estufa e seqüestro de carbono), está trazendo uma nova perspectiva em relação à agricultura. Como a agricultura brasileira, por meio de tecnologias de produção mais sustentáveis, poderia ajudar a aliviar ou mitigar os efeitos dos gases de efeito estufa, que é, ainda, uma questão não respondida, que merece ser pesquisada.

Aspectos relacionados com a infra-estrutura, logística, difusão de tecnologias e outros

A capacidade estática de armazenamento da produção agrícola brasileira, embora tenha evoluído na última década, ainda está longe da condição ideal do patamar de 20% acima da maior produção. Além disso, a concentração dos armazéns e silos é de 56% na zona urbana e de apenas 9% nas fazendas, estando os restantes 29%

na zona rural e 6% na área portuária.

O sistema de transportes, no Brasil, constitui-se de 60,5% de rodovias, 20,7% de ferrovias e apenas 13,6% de hidrovias. Em comparação com outros países de dimensões continentais como o Brasil, a participação das rodovias na matriz de transporte é de 35% nos EUA, 15% na China e na Rússia e 25% no Canadá, por exemplo. A relação do custo de transporte em dólares é 1, 2, e 4, respectivamente para o transporte hidroviário, ferroviário e rodoviário. Além disso, quanto às condições de tráfego, 35% das rodovias brasileiras são deficientes e 39% de ruim a péssima qualidade.

Os dois maiores portos do Brasil, Santos e Paranaguá, apresentam sérios problemas logísticos de operacionalização, com destaque para dificuldade de acesso via rodovias ou ferrovias, capacidade de carga e descarga, áreas de apoio para armazenamento, dentre outras. Estima-se que cada dia de atraso nas operações de carga e descarga tenha um custo adicional de US\$35 mil. Com uma estimativa média de 20 dias por navio, isso representaria um custo adicional de US\$750 mil.

Inconsistente consumo de calcário em relação ao consumo de fertilizantes, fazendo com que nos últimos anos a agricultura tenha consumido mais fertilizantes do que calcário. Estima-se que uma relação equilibrada de consumo atual deveria ser de 2 a 3 toneladas de calcário para cada tonelada de fertilizante consumido.

A dependência de importações de matérias-primas para a fabricação de fertilizantes é no mínimo preocupante. Em 1983, do total de 2,32 milhões de toneladas de nutrientes consumidos na agricultura brasileira, a produção nacional respondia por 68%; em 2006, do total de 8,9 milhões de toneladas consumidas, a produção brasileira respondeu por 35%. A estimativa para o ano de 2025 é que, da previsão do total de nutrientes a ser consumido, a produção nacional deverá ser de apenas 14%, ou seja, 86% serão decorrentes de importações. Se se levar em conta que qualquer investimento na produção de

matérias-primas para a produção de fertilizantes leva de cinco a sete anos, do projeto para o início da produção, possíveis ações para reverter esse quadro merecem prioridade.

As barreiras tarifárias, não tarifárias e os subsídios dados à agricultura nos países ricos, embora não sejam de responsabilidade nacional, representam uma séria ameaça ao desenvolvimento do agronegócio brasileiro e, mais grave ainda, desestimulam qualquer proposta consistente de investimento neste setor.

O notável acervo de pesquisas já existente, na busca de tecnologias de produção agrossilvipastoris menos impactantes em termos de degradação ambiental, precisa ser mais difundido e aplicado no dia-a-dia das atividades do homem do campo, notadamente do segmento da agricultura familiar e da agricultura de subsistência, por meio da intensificação das atividades de extensão com apoio oficial.

Finalmente, um dos pontos mais importantes para completar um quadro de racionalidade e sustentabilidade de exploração agrossilvipastoril no Brasil por região seriam ações para a real implementação do Código Florestal, Lei nº 4.771 de 1965 (BRASIL, 1965), já modificada por outras leis, decretos e outros instrumentos sob revisão no Congresso Nacional. Essa Lei estabelece que 20% de qualquer propriedade agrícola seja mantida como reserva legal. Torna-se necessária a implementação dos rigores da lei para coibir desmatamentos ilegais e ampla prioridade para o estabelecimento das áreas dos parques nacionais e outras formas de reservas, com o objetivo de manter a biodiversidade nessas áreas de preservação.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 19 set. 1965. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4771.htm>. Acesso em: 28 jan. 2008.
- _____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do agronegócio: mundo e Brasil - 2006/07 a 2017/18**. Brasília, 2007. 50p.
- ARES. **O Brasil à frente do agronegócio e da sustentabilidade**. São Paulo, [2007]. Disponível em: <http://www.institutoares.org.br/ares_inst.html>. Acesso em: 29 jan. 2008.
- BORLAUG, N.E.; DOWSWELL, C.R. Fertilizer: nourish infertile soil that feed a fertile population that crowds a fragile world. In: IFA ANNUAL CONFERENCE, 61., 1993, New Orleans. **Proceedings...** New Orleans: IFA, 1993. 18p.
- DALAL, R.C.; MAYER, R.J. Long term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland – II: total organic carbon and its rate of loss from the soil profile. **Australian Journal of Soil Research**, v.24, n.2, p.281-292, 1986.
- DEDECEK, R.A.; RESCK, D.V.S.; FREITAS JUNIOR, E. de. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em Latossolo Vermelho-Escuro dos Cerrados em diferentes cultivos sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, n.3, v.10. p.265-272, set./dez. 1986.
- DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S.; DORAN, J.W. Soil organic matter as source and sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. (Ed.). **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii, 1989. p.33-67.
- FEBRAPDP. **Evolução da área de plantio direto no Brasil por décadas**. Ponta Grossa, [2003]. Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br/port/plantiodireto.html>>. Acesso em: 28 out. 2004.
- GASSEN, D.N.; GASSEN, F.R. **Plantio direto: o caminho do futuro**. Passo Fundo: Aldeia Sul, 1996. 207p.
- GOEDERT, W.J.; OLIVEIRA, S.A. de. Fertilidade do solo e sustentabilidade da atividade agrícola. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.991-1017.
- IAC. **Plantio direto: caminho para a agricultura sustentável**. Campinas, 2005. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/Tecnologias/PlantioDireto/PlantioDireto.htm>>. Acesso em: 28 jan. 2008.
- IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola - 2007 e 2008**. Rio de Janeiro, [2008]. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/defaulttab.shtm>>. Acesso em: 15 mar. 2008.
- KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. (Ed.). **Integração Lavoura-Pecuária**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 570p.
- LOPES, A.S.; GUILHERME, L.R.G.; SILVA, C.A.P. da. **Vocaçao da terra**. São Paulo: ANDA, 2003. 23p.
- PORTUGAL, A.D. Avanços tecnológicos da agricultura brasileira. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO SETOR DE FERTILIZANTES, 2., 2002, São Paulo. **Palestra...** São Paulo: ANDA, 2002.
- RESCK, D.V.S. **Perdas de solo, água e elementos químicos no ciclo da soja, aplicando-se chuva simulada**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1981. 17p. (EMBRAPA-CPAC. Boletim de Pesquisa, 5).
- _____; PEREIRA, J.; SILVA, J.E. da. **Dinâmica da matéria orgânica na região dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1991. 22p. (EMBRAPA-CPAC. Documentos, 36).
- _____; SILVA, J.E. da. Soil organic matter dynamics under different tillage systems in the Cerrado region in Brazil. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 14., 1990, Kyoto. **Transactions...** Kyoto: International Soil Science Society, 1990. p.325-326.
- _____; _____. LOPES, A.S.; COSTA, L.M. da. Management systems in Northern South America. In: PETERSON, G.A.; UNGER, P.W.; PAYNE, W.A. (Ed.). **Dryland agriculture**. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, 2006. p.427-525. (ASA. Agronomy Monograph, 23).
- SILVA, C. O salto das exportações. **Veja**, São Paulo, ano 37, n.2, p.78-80, 2004.
- SILVA, J.E. da; LEMAINSKI, J.; RESCK, D.V.S. Perdas de material orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de Cerrados do oeste baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.3, p.541-547, set./dez. 1994.
- WOOMER, P.L.; MARTIN, A.; ALBRECHT, A.; RESCK, D.V.S.; SCHARPENSEEL, H.W. The importance and management of soil organic matter in the tropics. In: _____. SWIFT, M.J. (Ed.). **The biological management of tropical soil fertility**. Chichester: J. Wiley, 1994. p.47-80.

INSTRUÇÕES AOS AUTORES

INTRODUÇÃO

O Informe Agropecuário é uma publicação seriada, periódica, bimestral, de caráter técnico-científico e tem como objetivo principal difundir tecnologias geradas ou adaptadas pela EPAMIG, seus parceiros e outras instituições para o desenvolvimento do agronegócio de Minas Gerais. Trata-se de um importante veículo de orientação e informação para todos os segmentos do agronegócio, bem como de todas as instituições de pesquisa agropecuária, universidades, escolas federais e/ou estaduais de ensino agropecuário, produtores rurais, empresários e demais interessados. É peça importante para difusão de tecnologia, devendo, portanto, ser organizada para atender às necessidades de informação de seu público, respeitando sua linha editorial e a prioridade de divulgação de temas resultantes de projetos e programas de pesquisa realizados pela EPAMIG e seus parceiros.

A produção do Informe Agropecuário segue uma pauta e um cronograma previamente estabelecidos pelo Conselho de Difusão de Tecnologia e Publicações da EPAMIG, conforme demanda do setor agropecuário e em atendimento às diretrizes do Governo. Cada edição versa sobre um tema específico de importância econômica para Minas Gerais.

Do ponto de vista de execução, cada edição do Informe Agropecuário terá um coordenador técnico, responsável pelo conteúdo da publicação, pela seleção dos autores dos artigos e pela preparação da pauta.

APRESENTAÇÃO DOS ARTIGOS ORIGINAIS

Os artigos devem ser enviados em CD-ROM ou pela Internet, no programa Word, fonte Arial, corpo 12, espaço 1,5 linha, parágrafo automático, justificado, em páginas formato A4 (21,0 x 29,7 cm).

Os quadros devem ser feitos também em Word, utilizando apenas o recurso de tabulação. Não se deve utilizar a tecla *Enter* para formatar o quadro, bem como valer-se de “toques” para alinhar elementos gráficos de um quadro.

Os gráficos devem ser feitos em Excel e ter, no máximo, 15,5 cm de largura (em página A4). Para tanto, pode-se usar, no mínimo, corpo 5 para composição dos dados, títulos e legendas.

As fotografias a serem aplicadas nas publicações devem ser recentes, de boa qualidade e conter autoria. Podem ser enviadas em papel fotográfico (9 x 12 cm ou maior), cromo (*slide*) ou digitalizadas. As fotografias digitalizadas devem ter resolução mínima de 300 DPIs no formato mínimo de 15 x 10 cm e ser enviadas em CD-ROM ou ZIP disk, preferencialmente em arquivos de extensão TIFF ou JPG.

Não serão aceitas fotografias já escaneadas, incluídas no texto, em Word. Enviar os arquivos digitalizados, separadamente, nas extensões já mencionadas (TIFF ou JPG, com resolução de 300 DPIs).

Os desenhos devem ser feitos em nanquim, em papel vegetal, ou em computador no Corel Draw. Neste último caso, enviar em CD-ROM ou pela Internet. Os arquivos devem ter as seguintes extensões: TIFF, EPS, CDR ou JPG. Os desenhos não devem ser copiados ou tirados de Home Page, pois a resolução para impressão é baixa.

PRAZOS E ENTREGA DOS ARTIGOS

Os colaboradores técnicos da revista Informe Agropecuário devem observar os prazos estipulados formalmente para a entrega dos trabalhos, bem como priorizar o atendimento às dúvidas surgidas ao longo da produção da revista, levantadas pelo coordenador técnico, pela Revisão e pela Normalização. A não-observância a essas normas trará as seguintes implicações:

- os colaboradores convidados pela Empresa terão seus trabalhos excluídos da edição;
- os colaboradores da Empresa poderão ter seus trabalhos excluídos ou substituídos, a critério do respectivo coordenador técnico.

O coordenador técnico deverá entregar à Divisão de Publicações (DVPU) da EPAMIG os originais dos artigos em CD-ROM ou pela Internet, já revisados tecnicamente, 120 dias antes da data prevista para circular a revista. Não serão aceitos artigos entregues fora desse prazo ou após o início da revisão lingüística e normalização da revista.

O prazo para divulgação de errata expira seis meses após a data de publicação da edição.

ESTRUTURAÇÃO DOS ARTIGOS

Os artigos devem obedecer a seguinte seqüência:

- título:** deve ser claro, conciso e indicar a idéia central, podendo ser acrescido de subtítulo. Devem-se evitar abreviaturas, parênteses e fórmulas que dificultem a sua compreensão;
- nome do(s) autor(es):** deve constar por extenso, com numeração sobrescrita para indicar, no rodapé, sua formação e títulos acadêmicos, profissão, instituição a que pertence e endereço. Exemplo: Eng^o Agr^o, D.Sc., Pesq. EPAMIG-CTSM, Caixa Postal 176, CEP 37200-000 Lavras-MG. Correio eletrônico: epamig@ufla.br;
- resumo:** deve constituir-se em um texto conciso (de 100 a 250 palavras), com dados relevantes sobre a metodologia, resultados principais e conclusões;
- palavras-chave:** devem constar logo após o resumo. Não devem ser utilizadas palavras já contidas no título;
- texto:** deve ser dividido basicamente em: Introdução, Desenvolvimento e Considerações finais. A Introdução deve ser breve e enfatizar o objetivo do artigo;
- agradecimento:** elemento opcional;
- referências:** devem ser padronizadas de acordo com o “Manual para Publicação de Artigos, Resumos Expandidos e Circulares Técnicas” da EPAMIG, que apresenta adaptação das normas da ABNT.

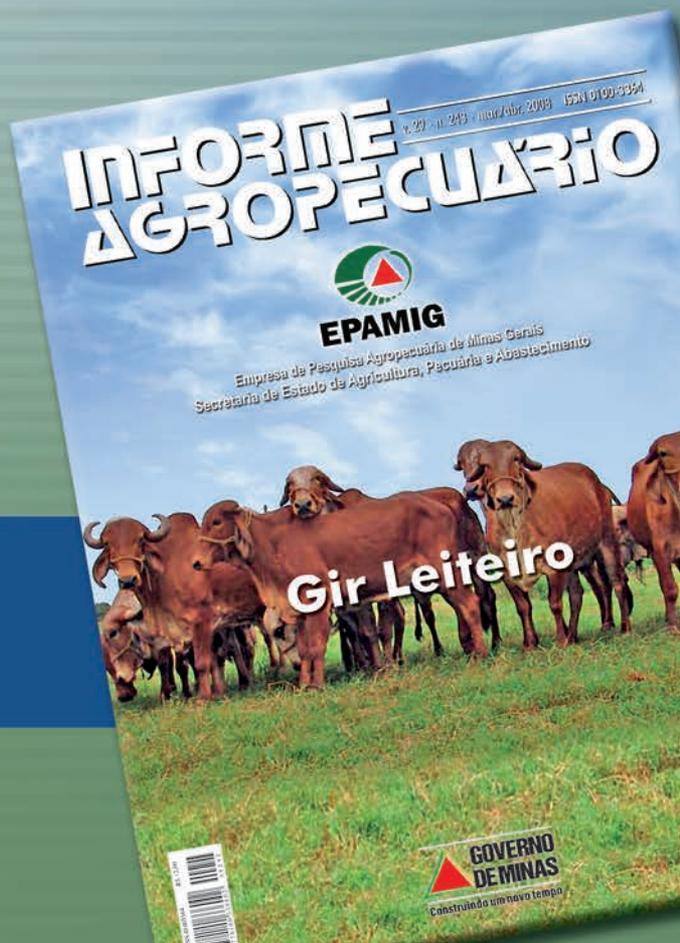
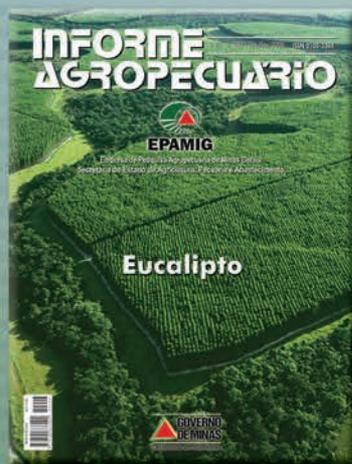
Com relação às citações de autores e ilustrações dentro do texto, também deve ser consultado o Manual para Publicações da EPAMIG.

NOTA: Estas instruções, na íntegra, encontram-se no “Manual para Publicação de Artigos, Resumos Expandidos e Circulares Técnicas” da EPAMIG. Para consultá-lo, acessar: www.epamig.br, entrando em Publicações ou Downloads.

INFORME AGROPECUARIO



Tecnologias para o agronegócio



Assinatura e vendas avulsas
publicacao@epamig.br
(31) 3489-5002



Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento



O que você mais precisa para crescer
é o que o BDMG mais tem para oferecer:

APOIO.



Agente financeiro do Governo de Minas na promoção do desenvolvimento do Estado, o BDMG apóia o agronegócio mineiro em várias frentes. As soluções financeiras oferecidas pelo Banco atendem a empreendimentos rurais e agroindustriais de todos os portes. Para mais informações, consulte o [site www.bdmg.mg.gov.br](http://www.bdmg.mg.gov.br) e faça uma consulta preliminar.

APOIO AO PRODUTOR RURAL COOPERATIVADO – Financiamento ao produtor rural que precisa investir na modernização de seu empreendimento para aumentar a produtividade.

APOIO AO FAZENDEIRO FLORESTAL – Financiamento de projetos de florestas renováveis que estimulam a integração entre a empresa de porte industrial e o produtor rural.

APOIO AOS LATICÍNIOS – Financiamento de projetos destinados ao atendimento de normas sanitárias e ambientais e ampliação das instalações, de modo a melhorar a qualidade do leite e derivados e elevar a competitividade e a presença do produtor mineiro nos mercados interno e externo.

APOIO À BOVINOCULTURA – Financiamento voltado para a melhoria da qualidade e produtividade da cadeia de carne bovina em Minas

Gerais e para o aumento da participação mineira nas exportações nacionais por meio da modernização tecnológica do setor, melhoria dos rebanhos e adequação ambiental dos estabelecimentos.

APOIO À SUINOCULTURA E AVICULTURA INTEGRADAS – Financiamento para desenvolvimento do sistema integrado de criação de suínos e de aves em bases sustentáveis, visando a expansão e modernização das granjas existentes, a implantação de novos criatórios integrados à agroindústria e ao aumento da competitividade da produção mineira.

APOIO AO SETOR SUCROALCOOLEIRO – Financiamento dirigido tanto à atividade industrial em projetos de implantação, expansão ou manutenção de unidades agroindustriais produtoras de açúcar e álcool, quanto à atividade agrícola dos empreendimentos a ela integrados.