

INFORME AGROPECUÁRIO



v. 22 - n. 210 - maio/jun. 2001 Uma publicação bimestral da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais

Recuperação de Áreas Degradadas



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



Figura 1 - Uso de leguminosas arbóreas noduladas e micorrizadas na revegetação de tanque de depósito de rejeito de lavagem de bauxita, aos 24 meses após plantio, em Porto Trombetas, PA



Figura 2 - Uso de leguminosas arbóreas noduladas e micorrizadas na revegetação de substrato remanescente de mineração de ouro, aos 31 meses após o plantio, em Paracatu, MG



Figura 6 - Ação erosiva das chuvas que ampliam a área contaminada por metais pesados no pátio de estocagem de rejeitos industriais



Figura 7 - Aspecto desértico de área contaminada por altas concentrações de Zn, Cu, Pb e Cd em pátio de indústria metalúrgica

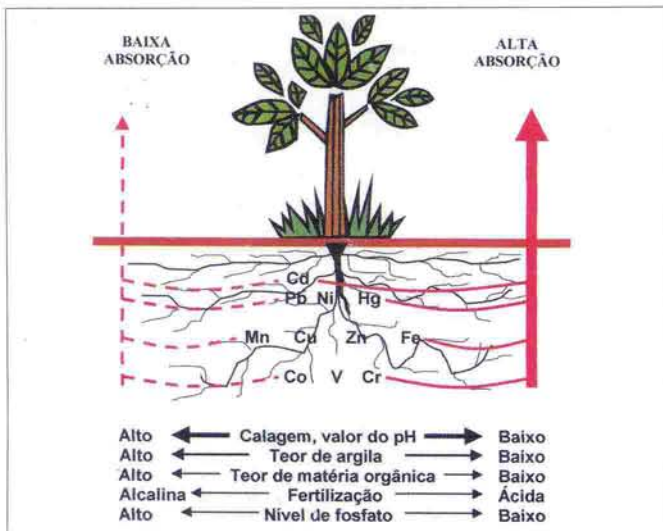


Figura 9 - Características do solo e sua influência na absorção de metais pesados pelas plantas

FONTE: Dados básicos: Bergmann (1992).

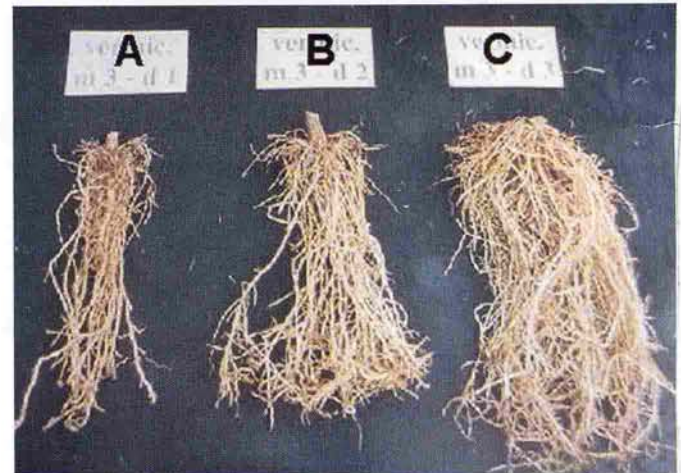
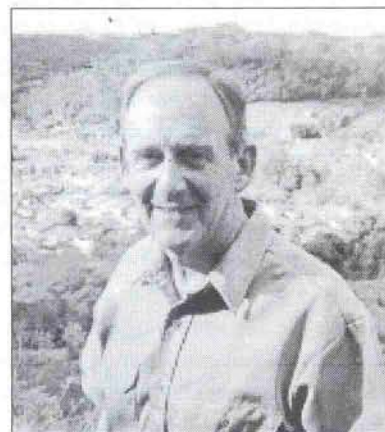


Figura 10 - Aspectos da redução da massa de raízes de sabiá (sansão-do-campo)

NOTA: A - Solo com elevada contaminação por Zn, Cu, Pb e Cd; B - Contaminação intermediária desses elementos; C - Sem contaminação.

Recuperar áreas degradadas é zelar pelas futuras gerações

O professor-titular do Departamento de Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Viçosa (UFV), James Jackson Griffith, tem vasto conhecimento sobre conservação de recursos naturais, recuperação de áreas degradadas, meio ambiente, organização gerencial de programas de recursos naturais e planejamentos de parques e reservas. James Griffith é bacharel em Artes e Ciências, pela Universidade de Vanderbilt (EUA), com M.Sc. e Ph.D. em Ciência Florestal, Bolsista do CNPq, Consultor em Desenvolvimento Organizacional de Programas Ambientais e Sistemas de Gestão Ambiental. Para ele, a conscientização da sociedade é a melhor estratégia de defesa do meio ambiente.



James Jackson Griffith

IA - Como você vê a conscientização da sociedade sobre a importância da recuperação de áreas degradadas?

James Griffith - No início, muitos consideravam a recuperação de áreas degradadas muito cara e, como meta, inútil. Na maioria delas, restavam condições ecológicas tão adversas que muitos produtores achavam que não tinham a mínima condição de ser recuperadas. Houve muita experimentação e criatividade multidisciplinar e, hoje, existem técnicas bem desenvolvidas. Uma vez aperfeiçoadas no setor minerário, essas técnicas foram levadas para resolver outros problemas de degradação decorrentes das atividades agropecuárias, construção civil, urbanização e industrialização.

Essas obras conservacionistas atendem aos anseios da sociedade e estão exigindo, cada vez mais, que a recuperação seja obrigatória. Prevejo que o movimento chegará a tal ponto que será considerado uma falta de prestígio social ter um barranco exposto no quintal de casa ou nos fundos do seu prédio de comércio.

IA - Como ficam os órgãos fiscalizados na implementação das propostas (PCA / RCA/ EIA/PRAD etc.) de recuperação de áreas degradadas?

James Griffith - Nos órgãos ambientais faltam recursos humanos e financeiros e os salários são baixos. Sendo cobrado, em depoimento jornalístico, um representante do Departamento Nacional de Produção Mineral reclamou, recentemente,

que são apenas quatro geólogos e quatro engenheiros de minas para acompanhar 1.700 mineradoras em Minas Gerais.

Há que se perguntar, por que tantos órgãos ambientais estão enfrentando essa situação? O Banco Mundial levantou uma hipótese para esses motivos, num estudo realizado em 1996, sobre a situação ambiental de um Estado vizinho de Minas Gerais. Segundo esse estudo, existe a possibilidade do seguinte cenário: o governo estaria cedendo às pressões dos interesses poluidores e privando esses órgãos fiscalizadores dos recursos e do poder necessários para realizar suas tarefas mandatárias, principalmente a coleta sistemática de dados ambientais e o processamento rápido dos pedidos de licenciamento ambiental. O governo estaria projetando a aparência de exercer uma política ativa de gestão ambiental, mas não consegue, ou não quer fornecer informação que poderia ser usada para avaliar o sucesso, ou não, de suas políticas ambientais.

É um cenário bastante perverso, entretanto, sua ocorrência é possível e merece, na minha opinião, a vigília de toda a sociedade brasileira.

IA - Como você avalia a questão ambiental no Brasil?

James Griffith - É difícil definir em poucas palavras as causas principais dos problemas ambientais brasileiros. São muitas e cada situação é distinta. Em geral, a maioria dos problemas, hoje, está ligada

à incapacidade do homem de entender e controlar sistemas cada vez mais complexos. Esses sistemas podem ser de caráter internacional, político, econômico e, no caso da falta de planejamento institucional, todos esses podem ser interligados.

Talvez, a melhor maneira de entender a situação brasileira é investigar a evolução do ambientalismo corporativo nos vários setores produtivos. Fiz, recentemente, uma análise histórica do desenvolvimento das práticas de revegetação em minas de minério de ferro, localizadas em Minas Gerais. Observa-se que, em geral, os programas empresariais de recuperação receberam atenção séria somente após a ocorrência de algum grande evento de impacto ambiental negativo. Mudanças em atitudes, filosofias ambientais e pressuposições de valores estão interligadas no processo da evolução ambiental empresarial. Um problema sério no setor minerário tem sido a falta de planejamento a longo prazo, para programas de recuperação ambiental. Parece que é uma questão institucional e não uma falta de conhecimento tecnológico.

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 governa-

mental que levaria à ordenação das atividades?

James Griffith - Tenho observado que em muitas áreas de pastagens, se não houver voçorocas, a recuperação ocorre quase por si mesma, se a capacidade de suporte do local for respeitada. É verdade que as medidas preventivas, executadas a tempo, podem reduzir custos. Como medida de prevenção, deve-se colocar o número certo de animais em áreas cercadas, somente explorando o pasto em condições adequadas. Não se deve permitir o pastoreio de animais em locais impróprios, como mananciais e terrenos muito íngremes. Muitos dos pequenos proprietários não praticam essas medidas preventivas, porque o objetivo das suas atividades agropecuárias é imediato. Quanto aos grandes proprietários, alguns já praticam essas medidas conservacionistas de prevenção. São motivados pelas oportunidades comerciais apresentadas pelo "mercado verde", ou pela preocupação de não querer ter os seus produtos identificados com alguma degradação ecológica. Apesar dessa tendência positiva entre os grandes, ainda existe o problema das externalidades causadas pelas suas atividades. Podem causar impactos significativos que não são contabilizados nos seus cálculos internos e prejudicam terceiros. É motivo para intervenção governamental. As ferramentas clássicas para corrigir externalidades são a taxação, os subsídios, a especificação de padrões de qualidade ou de tecnologia e a criação de um mercado que permita o impacto ambiental. A escolha da ferramenta certa exige muita discussão entre os legisladores, as partes afetadas e a sociedade em geral.

IA - *A legislação atual, na seqüência federal/estadual/municipal, sobrepõe a soma ou divide os interesses de proteção ambiental?*

James Griffith - Há um ditado que diz: "Sem política local, não existe política". Concordo e acho que essa ênfase na ação local do governo aplica-se, também, à política ambiental. No Brasil, houve muito progresso na descentralização, mas ainda existem dificuldades. Alguns Estados e municípios do Brasil são mais avançados que outros no seu desenvolvimento institucional e ainda exigem uma presença federal

maior. Outra dificuldade é a existência de conflitos entre agências ambientais que trabalham no mesmo nível, digamos, agência estadual em conflito com outra agência do mesmo Estado. O conceito moderno é o de trabalhar em sinergia dentro de um Sistema de Gestão Ambiental que coordena as atividades em todos os níveis hierárquicos.

IA - *Como você vê a participação de entidades de pesquisa, ensino e de extensão, em prol do uso sustentável do ambiente?*

James Griffith - As universidades sempre prestaram serviços de pesquisa, ensino e extensão em favor da proteção da qualidade ambiental usufruída pela população brasileira. Posso citar alguns exemplos disso na área específica de recuperação ambiental: desde o primeiro realizado em Curitiba, em 1992, os Simpósios Nacionais Sobre Recuperação de Áreas Degradadas (houve quatro realizados até o presente) têm sido organizados, principalmente, por cientistas universitários. Esse evento é, hoje, o principal fórum para pesquisas brasileiras sobre recuperação. Os anais desses simpósios servem como as principais referências em pesquisas bibliográficas.

No setor público existe bastante interação institucional: A Universidade Federal de Viçosa (UFV), por exemplo, tem uma longa história de cooperação em projetos de recuperação ambiental com a Embrapa. Todos nós, nas universidades, temos a oportunidade de pleitear bolsas ou financiamentos de pesquisas de diversas financiadoras públicas como CNPq, Finep e órgãos estaduais equivalentes.

Na minha opinião, o setor privado poderia fazer bem mais para apoiar projetos de pesquisas em ambiência. Manifestei essa reivindicação num artigo publicado na edição de fevereiro/março da Revista Ação Ambiental, editada pela UFV.

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

James Griffith - É muito importante designar direitos de propriedade para evitar, entre outros problemas, a chamada "Tragédia da Propriedade em Comum". Em Viçosa, acompanhei de perto um exemplo disso: em 1984, num condomínio horizontal de 135 casas unifamiliares, todas abas-

tecidas por três poços de água pertencentes ao conjunto habitacional, houve uma crise de falta d'água. Foi decidido, em assembleia extraordinária, que o condomínio não instalaria hidrômetros para medir e racionalizar o consumo de cada casa. Os opositores desse dispositivo alegaram que o hidrômetro parecia um instrumento "muito capitalista" e desprezaram a cobrança de dinheiro para racionalizar o uso de um fluido tão precioso para o ser humano. A solução aprovada foi de abrir mais poços. De fato, a crise de falta d'água foi superada. Mas desde aquela votação, tenho certeza que essa designação da água do condomínio, como propriedade em comum, tem resultado em muitas pessoas, se não todas, usando muito mais água que o necessário. Afinal, os custos são rachados por todos, permitindo que grandes consumidores de água peguem "carona" com os demais condôminos. Nesse caso, em vez de ceder acesso gratuito e sem restrições para todos os usuários, seria mais eficiente e justo designar melhor os direitos de propriedade e cobrar pelo uso do recurso em questão. Na UFV, foi defendida, recentemente, uma excelente tese de mestrado que tratou, entre outros assuntos, da questão da propriedade. O estudo mostra que a qualidade do planejamento a longo prazo para fechamento de minas depende, em parte, de quem fica como proprietário final da terra.

IA - *Você considera que cuidar do meio ambiente é questão de soberania nacional?*

James Griffith - Entendo que soberania é ter poder supremo, que não deve a sua validade a nenhuma outra ordem superior. É um conceito muito forte, especialmente para nós que temos crenças religiosas. O nacionalismo, como toda emoção, pode ser canalizado para diversos fins e ocorre no mundo inteiro. Entretanto, posso dizer que não tenho dúvida que o governo brasileiro deve ser, pelo menos na última instância política, o responsável pela gestão dos recursos ambientais dentro do seu território nacional. Concordo que é uma questão de zelar pelas gerações atuais e futuras. Acho que, junto com a soberania da autoridade política, vêm os deveres da boa governança.

REVISTA BIMESTRALISSN 0100-3364
INPI: 1231/0650500**COMISSÃO EDITORIAL**Márcio Amaral
Marcos Reis Araújo
Marcelo Franco
Antônio M. S. Andrade
Luthero Rios Alvarenga
José Braz Façanha**EDITOR**

Vânia Lacerda

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Maria Inês Nogueira Alvarenga e Miralda Bueno de Paula

COORDENAÇÃO EDITORIAL

Marlene A. Ribeiro Gomide

AUTORIA DOS ARTIGOS

Alceu Pedrotti, Álvaro Vilela de Resende, Clarice Farian de Lemos, Cláudio de Souza Magalhães, Cláudio Roberto Marciano, Eduardo Teixeira da Silva, Eduardo Van Den Berg, Francisco Sandro Rodrigues Holanda, Jason Franca de Aguiar, Jean Paolo Gomes Minella, João Batista Pavesi Simão, Jocely Maria, Thomazoni Loyola, José Oswaldo Siqueira, Luiz Eduardo Dias, Marcos Koiiti Kondo, Masato Kobiyama, Maura Regina Franco, Paulo Eduardo Sobreira Moraes, Paulo Roberto Chamecki, Ricardo Fabris, Valbério Paolilo dos Santos

REVISÃO LINGÜÍSTICA E GRÁFICA

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

NORMALIZAÇÃO

Fátima Rocha Gomes

PRODUÇÃO E ARTE**Digitação:** Maria Alice Vieira e Rosângela Maria Mota Ennes
Formatação: Maria Alice Vieira e Rosângela Maria Mota Ennes
Capa: Lamounier Lucas Pereira Júnior
Programação visual: Lamounier Lucas Pereira Júnior**IMPRESSÃO**

Gráfica Real Ltda. - Tel. (31) 3421-1999

PUBLICIDADEMiguel Talini Marques Filho
Assessoria de Marketing
Av. José Cândido da Silveira, 1.647 - Cidade Nova
Caixa Postal, 515 - CEP 31170-000 - Belo Horizonte-MG
Telefax: (31) 3488-8468

Copyright © - EPAMIG - 1977

É proibida a reprodução total ou parcial, por quaisquer meios, sem autorização escrita do editor. Todos os direitos são reservados à EPAMIG.Informe Agropecuário. - v.3, n.25 - (jan. 1977) -
Belo Horizonte: EPAMIG, 1977 -
v: il.Bimestral
Cont. de Informe Agropecuário: conjuntura e estatística. -
v.1, n.1 - (abr.1975).
ISSN 0100-33641. Agropecuária - Periódico. 2. Agricultura - Aspecto
Econômico - Periódico. I. EPAMIG.

CDD 630.5

ASSINATURAS: Serviço de Atendimento ao Cliente (SAC/EPAMIG)

Av. José Cândido da Silveira, 1.647 - Cidade Nova - Caixa Postal, 515 CEP 31170-000
Belo Horizonte-MG - Telefax: (31) 3488-6688 - E-mail: sac@epamig.br - Site: www.epamig.br
CGC(MF) 17.138.140/0001-23 - Insc. Est.: 062.150146.0047

Exploração agrícola racional é o desafio deste século

O crescimento da população e o aumento da expectativa de vida levam a uma maior demanda por alimentos e bens diversos, com reflexos na agropecuária, industrialização e urbanização. Como conseqüência, ocorre o empobrecimento de áreas agrícolas, aparecimento de quantidades crescentes de resíduos tóxicos e aumento no volume de resíduos oriundos das atividades humanas (lixo urbano), ocasionando a degradação do meio ambiente. Esses fatores vêm comprometendo a qualidade de vida e a sobrevivência de gerações futuras.

Áreas degradadas são caracterizadas por valas empobrecidas e erodidas, instabilidade hidrográfica, produtividade primária e diversidade biológica reduzida, resultando em sociedades também empobrecidas, uma vez que os recursos naturais são finitos. Torna-se um desafio, portanto, que o homem passe a explorar os recursos naturais, industriais e comerciais, utilizando técnicas adequadas à manutenção de solo, água, vegetação e animais.

Esta edição do Informe Agropecuário tem o objetivo de contribuir para a preservação ambiental, orientando produtores e técnicos no controle das atividades agropecuárias e métodos para recuperação de áreas degradadas.

Márcio Amaral

Presidente da EPAMIG

Nesta Edição

Esta edição do Informe Agropecuário aborda os principais mecanismos de degradação ambiental, com ênfase na agropecuária e nos métodos de recuperação das áreas exploradas. No controle dessas atividades, apresentamos o manejo de dejetos de suínos de forma ambientalmente recomendável e a recuperação de pastagens degradadas. Para solos contaminados por metais pesados são expostas implicações, conseqüências e orientações para remediar os danos causados.

Nas sociedades urbanas, foram estudados os problemas advindos do lixo e as melhorias ambientais, sociais e econômicas, resultantes de sua utilização. Como meta, enfatiza-se a importância de programas de recuperação ambiental, através de ações que devem ser elaboradas e executadas com base em planejamentos inseridos na estratégia de um Sistema de Gerenciamento Ambiental (SGA), propiciando o fortalecimento institucional das organizações.

Sumário

454	Fortalecimento institucional de programas ambientais e recuperação de áreas degradadas <i>Luiz Eduardo Dias</i>	5
455	Áreas degradadas e sua recuperação <i>Masato Kobiyama, Jean Paolo Gomes Minella e Ricardo Fabris</i>	10
456	Solos contaminados por metais pesados: características, implicações e remediação <i>João Batista Pavesi Simão e José Oswaldo Siqueira</i>	18
457	Recuperação de áreas degradadas por monocultivos extensivos <i>Eduardo Van Den Berg</i>	27
458	Recuperação de pastagens degradadas <i>Marcos Koiti Kondo e Álvaro Vilela de Resende</i>	36
459	Leguminosas e recuperação de áreas degradadas <i>Álvaro Vilela de Resende e Marcos Koiti Kondo</i>	46
460	Recuperação de áreas com problemas de salinização <i>Francisco Sandro Rodrigues Holanda, Cláudio Roberto Marciano, Alceu Pedrotti, Jason Franca de Aguiar e Valbério Paolilo dos Santos</i>	57
461	Controle de poluição de atividades pecuárias <i>Eduardo Teixeira da Silva e Cláudio de Souza Magalhães</i>	62
462	Compostagem como alternativa para o tratamento de lixo orgânico domiciliar e a recuperação de áreas degradadas <i>Eduardo Teixeira da Silva, Clarice Farian de Lemos, Jocely Maria Thomazoni Loyola, Maura Regina Franco, Paulo Eduardo Sobreira Moraes e Paulo Roberto Chamecki</i>	77

Informe Agropecuário	Belo Horizonte	v. 22	n.210	p.1-84	maio/jun. 2001
----------------------	----------------	-------	-------	--------	----------------

○ Informe Agropecuário é indexado nas Bases de Dados: CAB INTERNATIONAL e AGRIS.

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.

Fortalecimento institucional de programas ambientais e recuperação de áreas degradadas

Luiz Eduardo Dias¹

Resumo - Programas de recuperação ambiental requerem, para sua execução, a constituição de grupos multidisciplinares que devem trabalhar de forma coesa e orientada. A construção de cenários pré e pós-degradação proporciona melhor conhecimento do ambiente e da magnitude de sua degradação, o que permite a definição dos objetivos do processo de recuperação. Essa definição é o ponto de partida de ações que devem ser elaboradas e executadas com base em planejamentos inseridos na estratégia de um Sistema de Gerenciamento Ambiental (SGA). Essa abordagem permite a obtenção de um ambiente de maior sustentabilidade e, certamente, reflete no fortalecimento institucional da organização.

Palavras-chave: Gerenciamento ambiental; Recuperação ambiental; Sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

Processos ou programas de recuperação ambiental podem ser definidos como um conjunto de ações, idealizadas e executadas por especialistas de diferentes áreas do conhecimento humano, que visa proporcionar o restabelecimento de condições de equilíbrio e sustentabilidade existentes anteriormente em um sistema natural (Dias & Griffith, 1998). Partindo-se dessa definição fica evidente a necessidade de um enfoque multidisciplinar que permita ações conjuntas, que visem um processo efetivo e garantam a sustentabilidade do ambiente. Estas ações conjuntas de equipes multidisciplinares apresentam maior efetividade, quando elaboradas com base em planejamentos inseridos na estratégia de um Sistema de Gerenciamento Ambiental (SGA).

Este artigo tem como objetivos discutir aspectos relacionados com programas de recuperação ambiental e enfatizar o uso de SGA na construção de cenários pré e pós-degradação, como abordagem para a definição dos objetivos do programa.

SISTEMA DE GERENCIAMENTO AMBIENTAL (SGA)

A *International Organization for Standardization* (ISO) 14.000 define o SGA como a parte do sistema de gestão global que inclui estrutura organizacional, atividades de planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos, processos e recursos para desenvolver, implementar, atingir, analisar criticamente e manter a política ambiental de uma organização (ABNT, 1996).

Para Griffith (1998), o SGA funciona melhor que outras estratégias para a recuperação ambiental, porque aborda o problema e suas soluções como um sistema. O sistema apresenta uma estrutura de maneira que haja uma inter-relação entre seus componentes. Ainda, de acordo com este mesmo autor, "em vez de limitar-se a reagir a eventos isolados, o gerente inteligente do SGA deve saber operar em nível de estruturas, onde se encontra o maior poder de mudança sobre a instituição".

Dessa maneira, o conceito de SGA permite que o processo de recuperação am-

biental seja focado de maneira global e que os diversos componentes do sistema sejam analisados e interpretados como uma rede interligada. Essa visão integrada procura, por exemplo, evitar erros muito comuns em minerações, onde existe uma dissonância muito grande entre o planejamento de lavra e a equipe de meio ambiente, que conduz os processos de recuperação de áreas mineradas. A análise interligada desses dois processos possibilitaria um enfoque atual na condução da lavra, minimizando impactos e facilitando o processo de revegetação.

Para que essa comunicação exista é fundamental o envolvimento e o comprometimento das equipes com um objetivo, ou ideal, comum, que é contemplado no SGA e definido a partir do estabelecimento de uma visão organizacional bem estruturada e de um planejamento global de todas as atividades da empresa. Por outro lado, o objetivo deve ser reavaliado periodicamente, levando-se em consideração as mudanças dos fatores econômicos, sociais e ambientais que o definem.

¹Eng^o Agr^o, D.S. Prof. Adj. UFV - Dep^o de Solos, CEP 36571-000 Viçosa-MG. Correio eletrônico: led@mail.ufv.br

Na visão do SGA, uma das etapas iniciais e fundamentais é o planejamento, que pode ser definido como o processo no qual um conjunto de informações é avaliado de modo que oriente as atividades, os produtos e os serviços da organização, satisfazendo as principais necessidades e exigências das partes interessadas (Nardelli & Nascimento, 2000).

PLANEJAMENTO DE UM PROGRAMA DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL

O planejamento de um programa de recuperação ambiental inicia-se com o estabelecimento de seus objetivos. Esses devem ser estipulados a partir de um amplo levantamento, quando se consideram aspectos relativos ao ambiente, à sociedade, à legislação e à viabilidade econômica do projeto. O ambiente deve ser avaliado gerando-se informações a respeito de suas características anteriores ao processo de degradação e de seu potencial de recuperação após a degradação. Essas informações compõem a base para a formação de cenários pré e pós-degradação. Os levantamentos referentes aos interesses da sociedade visam à obtenção de informações que possam expressar seu desejo no que se refere às questões de uso e de estética.

Levantamentos pré-degradação

Os levantamentos para a caracterização pré-degradação devem abranger os estudos que foram enfocados durante a elaboração do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) do projeto, ou seja, para a avaliação dos impactos que foram gerados, faz-se necessária, inicialmente, a elaboração de um diagnóstico com as características do ambiente afetado direta e indiretamente (área de influência), pela atividade fim do projeto.

O diagnóstico é realizado a partir da descrição dos fatores ambientais nas áreas diretamente afetadas e de influência, tais como:

a) meio físico: geologia, geomorfo-

logia, pedologia, hidrologia, climatologia;

b) meio biótico: identificação dos diferentes extratos vegetais, mapeamento da densidade de vegetação e listagem das espécies vegetais, identificando aquelas dominantes, de interesse científico e ameaçadas de extinção. Identificação da fauna, ressaltando as raras, ameaçadas de extinção, de valor econômico e científico. Caracterização físico-química e biológica (microbiológica e limnológica) das coleções hídricas (lênticas e lóxicas);

c) meio socioeconômico: são coletadas informações e opiniões de diferentes atores sociais envolvidos direta e indiretamente na atividade de degradação. Entre esses destacam-se os idealizadores da atividade, setores governamentais, as comunidades afetadas direta e indiretamente, associações civis, grupos ecológicos, associações comunitárias etc.

As informações a serem levantadas são derivadas de uma grande variedade de fontes e requerem, igualmente, uma grande variedade de especialistas para interpretá-las de uma maneira ordenada que permita um bom detalhamento sem perder a visão global do ambiente. Geralmente, as informações necessárias para o levantamento irão depender do tipo de projeto (atividade de degradação) ou da própria legislação pertinente. Porém, independentemente dessas questões, um número mínimo de informações deve ser levantado, para que se tenha um diagnóstico de maior fidelidade do ambiente.

Harris et al. (1996) classificam as informações a serem levantadas em quatro tipos:

a) histórico da área: mapas, jornais, fotografias, livros, registros em cartório, processos jurídicos etc.;

b) uso corrente: levantamento visual, indicadores econômicos, registros civis etc.;

c) topografia ou arquitetura da paisagem: levantamento e mapas to-

pográficos;

d) status biogeoquímico: mapas de solos, geologia e hidrologia, vulnerabilidade de águas subterrâneas, monitoramento biológico, amostragens e análises dos diferentes componentes do sistema.

O uso de imagens de satélites e de fotografias aéreas de diferentes épocas permite a obtenção de informações sobre a evolução de processos de degradação, conservação e urbanização do ambiente ao longo de um tempo pré-determinado anterior ao processo de degradação da atividade fim. O conhecimento das reações do ambiente diante desses processos auxiliam no estabelecimento do potencial de recuperação da área.

Questão de grande importância refere-se à organização das informações obtidas nos diferentes levantamentos. Os levantamentos de campo com os resultados de laboratório permitem um acúmulo de dados que necessariamente deve ser analisado em conjunto com mapas, imagens de satélite e fotografias aéreas. Até pouco tempo, a análise conjunta de fontes de diferentes tipos geralmente era um trabalho de difícil execução. No entanto, a partir do advento de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) essa tarefa foi grandemente facilitada, otimizando as informações levantadas. O potencial dessa ferramenta é enorme, permitindo uma análise global do ambiente sob diferentes enfoques, sem perder o grau de detalhamento necessário para a identificação de problemas pontuais.

A partir das informações sistematizadas são confeccionados mapas que permitem a visualização do cenário pré-degradação. Esses serão utilizados com aqueles criados para o cenário pós-degradação, para a avaliação do potencial de recuperação e da determinação dos objetivos do processo de recuperação.

Levantamentos pós-degradação

De maneira geral, os levantamentos realizados para a construção do cenário pré-degradação são igualmente executados para a elaboração do cenário pós-degra-

dação. No entanto, em função das características do processo de degradação (atividade), faz-se necessária a inclusão de outras avaliações e, também, de abordagens distintas.

Assim como para a elaboração de um EIA, os levantamentos pós-degradação devem considerar os meios físicos, biológicos e socioeconômicos. No entanto, alguns procedimentos requerem abordagens especiais em função das características do ambiente após a degradação. Um exemplo claro seria o programa de amostragens para o levantamento da qualidade de substratos e de recursos hídricos.

Considerando um ambiente de mineração, onde podem existir depósitos de diferentes materiais (estéril, resíduos, solo etc.), inclusive alguns contaminados quimicamente, a amostragem desses substratos deve ser realizada seguindo critérios bem definidos. Questões como frequência de amostragem, número de amostras e padrões de amostragem devem ser consideradas dentro de um contexto que leve em consideração a natureza dos substratos avaliados. Da mesma forma, deve-se considerar a amostragem de recursos hídricos que pode estar comprometida com substratos expostos a processos de oxidação, lixiviação e carreamento de metais e/ou outros contaminantes, como no caso da exposição de substratos sulfetados que pode resultar na formação de drenagem ácida, quando expostos à água e ao oxigênio (Mello & Abrahão, 1998 e Geidel & Carrucio, 2000).

A caracterização de diferentes componentes de um sistema degradado requer a realização de análises físicas, químicas e biológicas, que exigem cuidados e procedimentos específicos e devem ser considerados em função de variações qualitativas e quantitativas daqueles componentes (Daniels, 1996 e Dias, 1998).

Os levantamentos pós-degradação têm o importante objetivo de caracterizar diferentes ambientes do sistema degradado, procurando classificá-los em termos de grau de degradação, riscos ambientais, estratégias de mitigação de impactos e potencialidade de uso. Assim, esses levantamentos passam a ser uma ferramenta de

extrema importância na construção desse cenário, com o estabelecimento das estratégias a serem adotadas no processo de recuperação.

A avaliação, por meio de indicadores físicos, químicos e biológicos dos componentes bióticos e abióticos do ambiente, permite a determinação de seu grau de degradação. Deve-se ter especial atenção ao uso de padrões ou referenciais para a interpretação de indicadores, procurando-se evitar o uso em demasia daqueles oriundos de ambientes externos. Em termos de substratos, os índices ou variáveis que definem a qualidade de solo vêm sendo utilizados como indicadores de recuperação (Dias & Daniels, 1999). Nesse sentido, os levantamentos pré e pós-degradação são fundamentais para quantificar a intensidade de degradação.

Os riscos ambientais são determinados, considerando-se o grau de degradação, as características do ambiente propriamente dito e, da mesma forma, aquelas do ambiente entorno do sistema degradado. A capacidade de mitigação ou tamponamento desse ambiente, diante dos principais riscos ambientais, é importante na caracterização da área de influência e das próprias estratégias de recuperação.

As estratégias de mitigação dos impactos são determinadas levando-se em consideração as etapas anteriores de maneira que possam ser determinadas as diferentes capacidades de uso de cada ambiente, que serão consideradas para a determinação dos objetivos do processo de recuperação.

Objetivos da recuperação ambiental

A construção de cenários pré e pós-degradação possibilita uma visão clara do ambiente, permitindo que se inicie a fase de escolha dos objetivos do processo de recuperação. Diferentes possibilidades são analisadas e consideradas dentro de um contexto que, necessariamente, deve envolver os seguintes aspectos apresentados sem qualquer ordem de prioridade ou importância:

- a) desejo do empreendedor;
- b) desejo do proprietário da terra;

- c) desejo da sociedade;
- d) exigências da legislação local, estadual e federal;
- e) riscos e necessidades ambientais;
- f) fatores econômicos.

Inúmeras são as possibilidades de uso para uma área degradada. Em termos ecológicos, a princípio, espera-se que a recuperação possibilite o mesmo uso anterior à degradação. Ou seja, a volta do ambiente às mesmas condições existentes antes da degradação. A atividade de mineração de carvão a céu aberto é regulamentada nos Estados Unidos pela *Surface Mining Control and Reclamation Act* (Estados Unidos, 1977). Especificamente, a regulamentação requer da empresa mineradora a restauração da área degradada com a condição de que ela seja capaz de suportar um igual ou melhor uso da terra que suportava antes da degradação. No entanto, deve-se considerar, se as novas características do ambiente, substrato, drenagem, microclima, biota etc. podem comportar tal uso, assim como questões de riscos ambientais e de sustentabilidade.

Portanto, um novo uso plenamente compatível com uma realidade ambiental diferente poderá representar um papel social igual ou mesmo superior ao previamente existente. O Quadro 1 apresenta cinco diferentes usos atribuídos a áreas degra-

QUADRO 1 - Número de áreas degradadas no Reino Unido e novo uso atribuído após o processo de recuperação

Número de áreas degradadas recuperadas	Novo uso atribuído após a degradação
130	Desenvolvimento industrial
70	Construção de casas e condomínios
50	Construção de estradas de rodagem
50	Práticas de esportes
12	Parques nacionais

FONTE: Dados básicos: Harris et al. (1996).

dadas em todo o Reino Unido até 1991, de acordo com a agência ambiental Welsh Office and Welsh Development Agency daqueles países (Harris et al., 1996).

No Brasil, a legislação exige que minerações elaborem um plano de fechamento com o detalhamento do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), que deve ser apresentado simultaneamente ao EIA e ao Relatório de Impacto Ambiental (RIMA). De qualquer maneira, a tendência atual é que o PRAD seja um documento norteador do processo de recuperação. Atualizações são necessárias sempre que novas normas, referências ou tecnologias alternativas estejam disponíveis, ou pelo menos de dois em dois anos.

O estabelecimento dessa metodologia para se determinarem os objetivos do processo de recuperação ambiental envolve o comprometimento de diversos setores da organização. O uso de um sistema de gerenciamento ambiental para a coordenação das operações é a chave para que se atinja um resultado eficiente, permitindo, assim, o fortalecimento institucional da organização.

PESQUISA COMO FORTALECIMENTO INSTITUCIONAL

A elaboração e a execução de projetos de pesquisa têm-se mostrado como mecanismo de fortalecimento de programas ambientais institucionais ou entre instituições. Um exemplo claro é o projeto "Recuperação de áreas degradadas com espécies vegetais associadas a microrganismos" da Embrapa Agrobiologia em Seropédica-RJ.

A partir da concepção básica de que espécies leguminosas associadas a bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico e a fungos micorrízicos possuem grande potencial de estabelecimento e crescimento em condições adversas de substrato, diferentes instituições de pesquisa, universidades e empresas uniram-se para a elaboração e condução de inúmeras pesquisas, no período de 1994 a 1998. Este projeto tem como proposta desenvolver tecnologia para a recuperação de áreas degradadas por meio de ações que enfatizavam, em

primeira mão, a comprovação em substratos sob diferentes níveis de degradação, da eficiência da tecnologia com as espécies e microrganismos já estudados. Posteriormente, a ênfase recaiu na obtenção e caracterização de espécies leguminosas, estirpes de rizóbio e fungos micorrízicos adaptados às diversas regiões edafoclimáticas brasileiras e na quantificação dos efeitos de espécies arbóreas associadas a microrganismos como agentes de recuperação de solos em áreas de empréstimo, depósitos de rejeito e de estéril e em pastagens degradadas (Franco, 1997).

A despeito de algumas dificuldades que surgiram, principalmente em relação ao repasse de verbas entre a Embrapa e as demais instituições, os resultados obtidos foram de grande importância para o aprimoramento da tecnologia gerada. Durante o período do projeto, mais de 500 espécies de leguminosas nativas foram coletadas. Dessas, mais de 130 foram confirmadas como espécies fixadoras de N_2 atmosférico. Dentre as espécies com potencial para uso em programas de recuperação ambiental, foram selecionadas estirpes mais eficientes de rizóbio para um número superior a 30 espécies. Esses resultados foram obtidos, principalmente, em função da existência de um planejamento inicial, em que objetivos comuns foram claramente predefinidos.

Apesar de o projeto ter sofrido uma redução no número de participantes, trabalhos conjuntos continuam a ser desenvolvidos com financiamento garantido até o final do ano de 2002. O sucesso do programa possibilitou, ainda, a elaboração de um outro projeto com a obtenção de financiamento via Projeto de Apoio ao Desenvolvimento de Tecnologia Agropecuária para o Brasil (Prodetab), até o ano de 2003. Atualmente, o programa conta com a participação de diferentes empresas privadas, onde são realizadas pesquisas de campo. A título de ilustração citam-se as parcerias existentes entre a Embrapa Agrobiologia, Universidade Federal de Viçosa (UFV) e empresas de mineração como a Mineração Rio do Norte S.A., em Porto Trombetas-PA, onde diversos experimentos (Franco et al., 1995, 1996 e Dias et al., 1996, 1999b) foram realizados no desenvolvimento de

uma tecnologia para a revegetação de depósito de estéril e de tanques rejeito da lavagem de bauxita (Fig. 1, contracapa); com a Rio Paracatu Mineração, em Paracatu-MG, onde diferentes pesquisas (Dias et al., 1999a, 2000ab e Campello et al., 2000) vêm sendo desenvolvidas para a revegetação de substratos sulfetados remanescentes da extração de ouro (Fig. 2, contracapa); e a Companhia Mineira de Metais, em Vazante-MG, onde pesquisas para a revegetação de depósito de rejeito foram iniciadas em 2000.

Assim, além do fortalecimento da linha de pesquisa em recuperação de áreas degradadas dentro da própria Embrapa Agrobiologia e de universidades como a UFV, houve também o fortalecimento de relações entre instituições.

CONCLUSÃO

Processos de recuperação ambiental devem ser obrigatoriamente desenvolvidos a partir do envolvimento de grupos multidisciplinares. A ação conjunta dos grupos, estabelecendo um sistema interligado, em que canais de comunicação abertos permitem constantes trocas de informações, é de fundamental importância para a qualidade final do ambiente a ser recuperado. A construção de cenários pré e pós-degradação proporciona o conhecimento melhor do ambiente e da magnitude de sua degradação, permitindo a definição dos objetivos do processo de recuperação. Essa definição é o ponto de partida de ações que devem ser elaboradas e executadas com base em planejamentos inseridos na estratégia de um SGA. Essa abordagem permite a obtenção de um ambiente de maior sustentabilidade e, certamente, reflete no fortalecimento institucional da organização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. **NBR 14004**: sistemas de gestão ambiental – diretrizes gerais para princípios, sistemas e técnicas de suporte. Rio de Janeiro, 1996. 32p.
- CAMPELLO, E. F. C.; DIAS, L. E.; RIBEIRO JÚNIOR, E. S. Revegetação de áreas de mineração de ouro no cerrado com arbustos e árvores associadas a microrganismos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS

DEGRADADAS, 4.; SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, SILVICULTURA AMBIENTAL, 4., 2000. Blumenau, SC. **Anais...** Blumenau: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 2000. CD-ROM.

DANIELS, W.L. Manipulating the chemical properties of mine soils and mining wastes. 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: UFV, 1996. p.867-897.

DIAS, L.E. Caracterização de substratos para fins de recuperação de áreas degradadas. In: _____; MELLO, J.W.V. de. (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV, 1998. p.27-44.

_____; CAMPELLO, E.F.C.; RIBEIRO JÚNIOR, E. S. Uso de leiras na revegetação de um substrato remanescente da exploração de ouro em Paracatu-MG. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 4.; SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, SILVICULTURA AMBIENTAL, 4., 2000, Blumenau, SC. **Anais...** Blumenau: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 2000a. CD-ROM.

_____; _____; _____; MELLO, J. W. V. Initial growth of leguminous trees and shrubs in a cut gold mined area in Minas Gerais State, Brazil. In: ANNUAL MEETING OF AMERICAN SOCIETY OF SURFACE MINING AND RECLAMATION, 16., 1999, Phoenix, Arizona, USA. **Proceedings...** Phoenix, Arizona: ASSMR, 1999a. p.316-321.

_____; _____; _____; _____. Reconstrução topográfica e crescimento de leguminosas arbóreas e arbustivas em substrato contendo sulfetos metálicos. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 4.; SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, SILVICULTURA AMBIENTAL, 4., 2000, Blumenau, SC. **Anais...** Blumenau: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 2000b. CD-ROM.

_____; DANIELS, W.L. Revegetação de áreas degradadas pela atividade de mineração a céu aberto. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 14.; CONGRESO DE LA SOCIEDAD AGRONÓMICA DE CHILE, 50.; CONGRESO NACIONAL DE LA CIENCIA DEL SOLO, 9., 1999, Temuco, Chile. **Anales...** Temuco: Universidad de la Frontera, 1999. CD-ROM.

_____; FRANCO, A.A.; CAMPELLO, E.F.C.; FARIA, S.M. de. The use of leguminous trees in reclamation of tropical mined soils. In: ANNUAL MEETING OF AMERICAN SOCIETY FOR SURFACE MINING AND RECLAMATION, 13., 1996, Knoxville, USA. **Proceedings....** Blacksburg, VA, USA: ASSMR and Powell River

Project of Virginia Tech, 1996. p.601-612.

_____; _____; _____. The use of nitrogen-fixing trees to revegetate bauxite and gold mined areas in the tropics: can trees substitute topsoil return? In: BEIJING INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LAND RECLAMATION, 1999, Beijing, China. **Proceedings...** Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1999b. p.317-325.

_____; GRIFFITH, J.J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: _____; MELLO, J.W.V. de. (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV, 1998. Cap. 1, p.1-8.

ESTADOS UNIDOS. Congresso. Surface Mining Control and Reclamation Act. **Public Law 95-87.91 Stat. 445 U.S. Gov. Print. Office**. Washington, 1997.

FRANCO, A.A. **Recuperação de áreas degradadas com espécies vegetais associadas a microrganismos**. Itaguá: EMBRAPA-CNPAB, 1997. 195p. (Relatório do Projeto 01.0.94.034).

_____; CAMPELLO, E.F.C.; DIAS, L.E.; FARIA, S.M. Revegetation of acidic residues from bauxite mining using nodulated and mycorrhizal legume trees. **Nitrogen Fixing Tree Research Reports**, p.313-320, 1995.

_____; _____; _____; _____. **Uso de leguminosas associadas a microrganismos na revegetação de áreas de mineração de bauxita em Porto Trombetas-PA**: relatório de 1991 a 31 de dezembro de 1995. Itaguá: EMBRAPA-CNPAB, 1996. 71p. (EMBRAPA-CNPAB. Documentos, 27).

GEIDEL, G.; CARUCCIO, F.T. Geochemical factors affecting coal mine drainage quality. In: BARNHISEL, R.I.; DARMODY, R.G.; DANIELS, W.L. (Ed.). **Reclamation of drastically disturbed lands**. Madison, WI, USA: American Society of Agronomy, 2000. p.105-129. (American Society of Agronomy Series, 41).

GRIFFITH, J.J. **Estratégias para recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV JR, 1998. 12p. Trabalho apresentado no II Curso Técnico de Recuperação de Áreas Degradadas da UFV JR - Empresa Júnior Florestal. Belo Horizonte, 19-21 de outubro de 1998.

HARRIS, J.A.; BIRCH, P.; PALMER, J.P. **Land restoration and reclamation: principles and practice**. Essex: Addison Wesley Longman, 1996. 230p.

MELLO, J.W.V.; ABRAHÃO, W.A.P. Geoquímica da drenagem ácida. In: DIAS, L.E.; MELLO, J.W.V. (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV, 1998. p.45-57.

NARDELLI, A.M.B.; NASCIMENTO, A.R. O planejamento na recuperação ambiental. **Ação Ambiental**, Viçosa, MG, ano 2, n.10, p.13-15, fev./mar. 2000.

GADO DE LEITE

tradição mineira
com alta tecnologia

MARCADORES MOLECULARES
PRODUÇÃO IN VITRO
ACIDO LINOLEICO
GRANELIZAÇÃO
MELHORAMENTO GENÉTICO

- Cruzamento
- Melhoramento genético
- Produção de gado F1 leiteiro
- Cultivares de milho e sorgo para silagem
- Produção de leite a pasto
- Controle estratégico de carrapatos
- Marcadores moleculares
- Produção de embriões *in vitro*



**NÃO PERCA
A PRÓXIMA EDIÇÃO**

Leia e assine o
INFORME AGROPECUÁRIO



EPAMIG

Assinaturas
(31) 3488-6688

Áreas degradadas e sua recuperação

Masato Kobiyama¹

Jean Paolo Gomes Minella²

Ricardo Fabris³

Resumo - No conceito de entropia, área degradada pode ser entendida como a presença de sujeira no sistema, resultando na desarmonia dos processos envolvidos. As principais atividades degradadoras são: agricultura, mineração, desertificação e urbanização. A recuperação de área degradada foi conceituada como o retorno do local, a uma forma de utilização, de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo, implicando em uma condição estável, que será obtida em conformidade com os valores ambientais, econômicos, estéticos e sociais da circunvizinhança. Os principais meios de recuperação do meio ambiente são: sistemas agroflorestais, agricultura orgânica e educação ambiental. A metodologia principal de recuperação é aquela em que as espécies estejam em conformidade com o ambiente e que as práticas e manejos envolvidos prezem a matéria orgânica do solo e a manutenção da água no ecossistema, resultando em baixos valores de entropia no sistema. Outra observação importante são as inter-relações do ecossistema. A idéia central é agir no presente e pontualmente, para que o conjunto de ações tenha repercussão global no futuro.

Palavras-chave: Educação ambiental; Sistemas agroflorestais; Ecossistema; Entropia.

INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial, o aumento na expectativa de vida e a tendência à padronização do consumo têm aumentado indiscriminadamente a utilização dos recursos naturais. O consumo desenfreado dos recursos do planeta compromete a qualidade de vida e a sobrevivência das futuras gerações. Isto porque as técnicas hoje empregadas na exploração destes recursos, não estão adequadas à manutenção do meio ambiente. Conforme dados da Global Assessment of Soil Degradation (Glasod), no mundo, 1.964 x 10⁶ hectares encontram-se degradados (Oldeman & Lynden, 1998). Este valor representa, aproximadamente, 13% da Terra (continente). Segundo estes autores, há cinco principais causas para a degradação, isto é, o desmatamento, o manejo inade-

quado da agricultura, o superpastejo, a superexploração da vegetação para combustível e a atividade industrial.

A complexidade dos processos de degradação e de recuperação do meio ambiente deve-se aos inúmeros fenômenos biológicos e físico-químicos envolvidos. Sendo assim, o trabalho interdisciplinar de profissionais das áreas de Agronomia, Engenharia, Hidrologia, Geografia, Biologia e Ciências Humanas deve buscar o entendimento dos mecanismos e o desenvolvimento de técnicas de recuperação de áreas degradadas.

O presente estudo procura padronizar os termos, conceitos e definições empregados na descrição dos fenômenos de degradação e recuperação, para facilitar à comunidade o entendimento do assunto. Além disso, são abordados os principais mecanismos de degradação e uma síntese dos métodos de recuperação.

ÁREA DEGRADADA

Segundo Parrota (1992), áreas degradadas são aquelas caracterizadas por solos empobrecidos e erodidos, instabilidade hidrológica, produtividade primária e diversidade biológica reduzidas.

Introduzindo o conceito de energia armazenada no sistema, Blum (1998) propôs ser o ambiente degradado caracterizado pela perda desta energia. Este autor sugere três tipos diferentes de energia envolvidos:

- a) gravitacional: é a energia que controla grande parte do movimento dos sólidos, líquidos e gases e é determinante para os fenômenos da erosão e sedimentação;
- b) conservada: é a energia presente no material de origem. Esta fonte de energia é proveniente das forças internas da terra (pressão e temperatura);

¹Dr., Prof. UFPR - Dep^o Solos e Engenharia Agrícola - Setor de Ciências Agrícolas, CEP80035-050 Curitiba-PR. Correio eletrônico: kobiyama@agrarias.ufpr.br

²Eng^a Agr^a, Mestrando UFRGS-IPH, CEP90650-001 Porto Alegre-RS. Correio eletrônico: jean_minella@yahoo.com

³Eng^a Agr^a Organic Trading, CEP80010-912 Curitiba-PR. Correio eletrônico: ricardofabris@bol.com.br

c) solar: é a energia que faz com que os vegetais transformem gás carbônico em componentes orgânicos fornecidos ao solo.

Tomando este conceito, em que as funções e usos do solo têm como base a sua energia armazenada, pode ser dito que degradação do solo é igual à perda de suas funções e usos. A degradação do ambiente pode ser definida nas formas específicas de energia. Todas as atitudes a serem definidas na recuperação ou no uso de áreas degradadas devem considerar o nível de energia no sistema.

Embora, na maioria dos conceitos, área degradada esteja relacionada com solo ou terra, entendemos que esta engloba, além do solo, a água, o ar e os organismos. Dado a isto, Kobiyama et al. (1993) definiram degradação como processos e fenômenos do meio ambiente, naturais ou antropogênicos que prejudicam as atividades de um

ou mais organismos.

Em função dessas definições conceituamos área degradada através da entropia (*S*) que é definida como a divisão entre calor (*Q*) e temperatura (*T*), isto é, $dS = dQ/T$. Em outras palavras, entropia é a sujeira no sistema, que resulta na desarmonia dos processos envolvidos. Neste sentido, área degradada é aquela que apresenta maior entropia do que um ambiente equilibrado. Por exemplo, uma lavoura convencional apresenta maior entropia em relação a uma lavoura sob manejo orgânico, isto porque, no cultivo convencional, incorporam-se grandes quantidades de energia artificial incompatíveis com o sistema, gerando resíduos. O aumento na entropia pode ser lento, como no caso do processo natural da formação do solo; ou então rápido, através da interferência humana em função da adição de energia no sistema (agrícola, urbano e industrial) (Fig. 3).

Classificação

O solo é o local onde as esferas hidrológicas, biológicas, atmosféricas e geológicas interagem (Fig. 4).

Por esse motivo, Reinert (1998) usou o solo como base para classificação de área

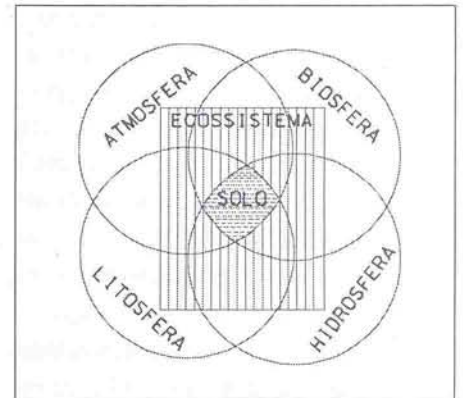


Figura 4 - Interações das esferas hidrológicas, atmosféricas, biológicas e geológicas

FONTE: Szabolcs (1994).

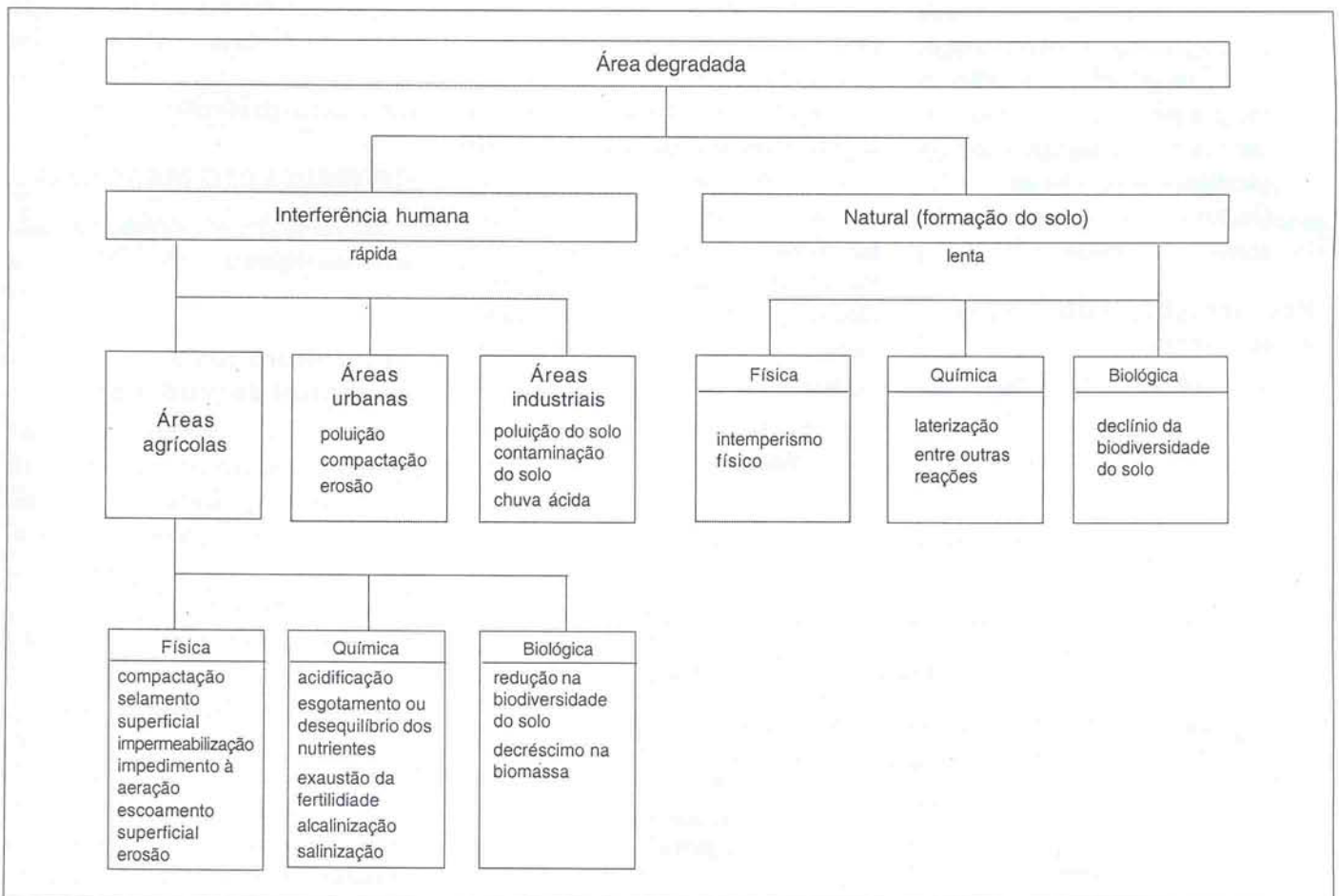


Figura 3 - Diagrama dos mecanismos de degradação
FONTE: Dados básicos: Lal (1998).

degradada. Para definir o depauperamento da potencialidade de um solo e sua conseqüente degradação, este autor divide a degradação do solo em três categorias (Fig. 5):

- a) **degradação física:** refere-se às alterações de características ligadas ao arranjo das partículas de solo, tendo como principais parâmetros a permeabilidade, a densidade, a estrutura, a aeração e a coesão. Alto grau de compactação, baixa aeração, alta friabilidade, alta susceptibilidade à erosão, baixa retenção de água e alteração topográfica do terreno, são exemplos de degradação física do solo;
- b) **degradação biológica:** este tipo de degradação demonstra a baixa ou nula atividade da micro, meso e macrofauna e flora no solo. Isto é conseqüência dos baixos valores de matéria orgânica presente;
- c) **degradação química:** esta forma de degradação é reflexo da presença de elementos indesejáveis no solo, ou então a perda de elementos essenciais para o equilíbrio deste. Por exemplo, a deposição de substâncias tóxicas em um aterro pode degradar quimicamente o solo.

Recuperação, reabilitação e restauração

O uso adequado dos termos que se re-

ferem ao caminho inverso à degradação é importante para aqueles que desejam escolher o melhor termo que definirá o processo adotado na área a ser trabalhada, além de facilitar a comunicação entre os interessados. A possibilidade do uso de alguns destes termos irá depender do grau de degradação em que se encontra o ambiente e as expectativas a serem alcançadas.

Griffith (1986) definiu recuperação como a reparação dos recursos ao ponto que seja suficiente para restabelecer a composição e freqüência das espécies encontradas originalmente. Majer (1989) incluiu na sua definição o planejamento e o trabalho de engenharia e de processos hidrológicos, considerando que a recuperação envolve os aspectos de qualquer processo que visa à obtenção de uma nova utilização para área degradada. Kobiyama et al. (1993) mencionaram os termos recuperação, restauração, reabilitação e reformação e definiram recuperação de uma maneira simples, como sendo o processo inverso à degradação.

O termo restauração refere-se a obrigatoriedade do retorno ao estado original da área, antes da degradação. Por retorno ao estado original entende-se que todos os aspectos como topografia, vegetação, solo, fauna, água etc. apresentam as mesmas características anteriores à degradação, ou seja, trata-se de um objetivo praticamente inatingível (Dias & Griffith 1998). Segundo Jesus (1994), fazer a restauração

do ecossistema, para conseqüentemente recuperar sua função, é técnica e economicamente questionável.

Para Majer (1989) reabilitação é o retorno da área degradada a um estado biológico apropriado. Este retorno pode não significar o uso produtivo da área a longo prazo, como a implantação de uma atividade que renderá lucro, ou atividades menos tangíveis em termos monetários, visando à recreação ou à valorização estético-ecológica.

Apesar de haver distinção por muitos autores dos conceitos de recuperação, reabilitação e restauração, trataremos neste trabalho em especial ao termo recuperação. Adotaremos o conceito proposto pelo Ibama (1990) que engloba um número maior de parâmetros e, por isso, define melhor recuperação de área degradada: "recuperação significa que o local degradado será retornado a uma forma de utilização de acordo com o plano preestabelecido para o uso do solo. Implica que uma condição estável será obtida em conformidade com os valores ambientais, econômicos, estéticos e sociais da circunvizinhança."

ATIVIDADES DEGRADADORAS

São várias as atividades degradadoras, entretanto, algumas sobressaem, como a seguir.

Agricultura como potencial degradador

A agricultura contribui com elevada porcentagem na contaminação da água e do solo em nível mundial. Com isto, torna-se uma atividade que possui grande potencial de causar degradação se não manejada adequadamente. Existem muitos fatores relacionados com a agricultura que podem causar degradação do solo, da água, do ar, dos organismos e da topografia. Entre estes podemos enfatizar a inaptidão do ambiente, a compactação, o preparo de solo inadequado, o monocultivo, a irrigação inadequada, o superpastejo e a cobertura de solo insuficiente. A não observação de alguns desses fatores pode transformar áreas agrícolas em ambientes degradados.

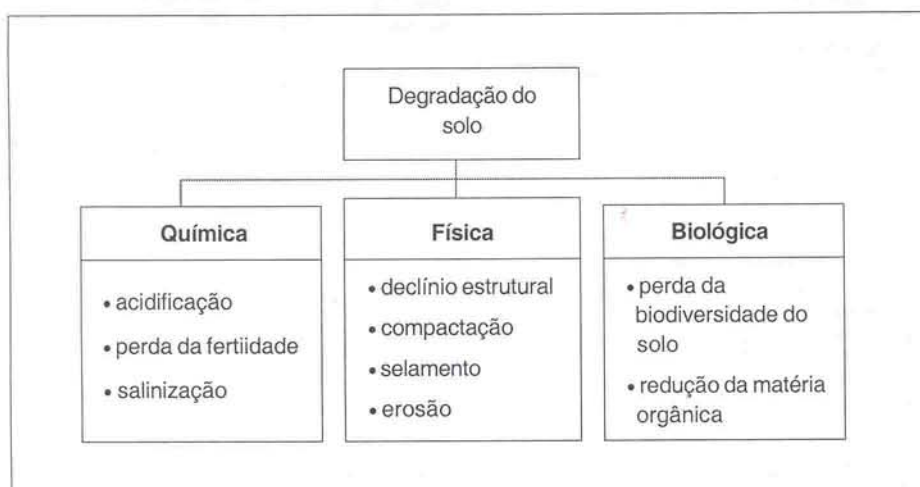


Figura 5 - Diagrama de classificação de área degradada, em termos de solo

Uso do solo fora de sua aptidão natural

Um exemplo muito comum de uso inadequado da aptidão natural ocorre em regiões da Amazônia. A rápida degradação da matéria orgânica em consequência de altas temperaturas é comum em áreas desmatadas para a prática da agricultura. Por causa de uma pluviosidade elevada e da perda de matéria orgânica, que deixa de ser ciclada, ocorre a lixiviação dos nutrientes e a erosão do solo, com perda de sua fertilidade natural, levando à degradação dessas áreas.

A exploração do solo acima da sua capacidade de suporte resulta em dois tipos de problemas. Um de ordem econômica, porque o sistema irá exigir adições crescentes de insumos para manter a produtividade e, outro, ambiental, pois a capacidade de depuração do ambiente está acima das expectativas dos interventores da área.

Cobertura inadequada do solo

A cobertura inadequada do solo decorrente do monocultivo intensivo gera a perda gradativa da matéria orgânica. A presença de matéria orgânica no solo aumenta a infiltração, reduzindo a ocorrência de escoamento superficial e erosão (Gráfico 1). A baixa capacidade em manter água no sistema, devido à pouca quantidade de matéria orgânica no solo, determina a fragilidade do ambiente.

Sistema de preparo inadequado

A forma de preparar a terra para o cultivo pode não ser a mais adequada para a intensidade de manejo que ela suporta (superutilizada). A aplicação de sistemas de preparo convencional, utilizando um grande número de operações que desagregam e pulverizam o solo é um exemplo destas áreas. O preparo do solo interfere na estrutura e nas condições da superfície, já que o manejo da cobertura está intimamente ligado às práticas de preparo. Dentre essas práticas, o sistema de monocultivo intensivo é o menos adequado (Gráfico 2).

A prática constante de revolver o solo promove maiores perdas de matéria orgânica, aumentando a densidade aparente do solo nos 30cm superficiais (pé-de-grade) (Gráfico 3). Conseqüentemente, diminui a po-

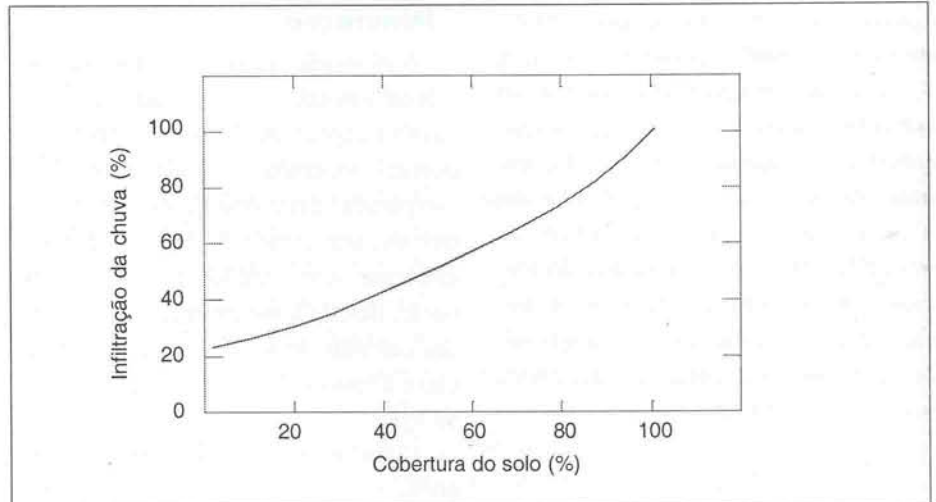


Gráfico 1 - Influência da cobertura do solo na taxa de infiltração da chuva
 FONTE: Derpsch et al. (1991).

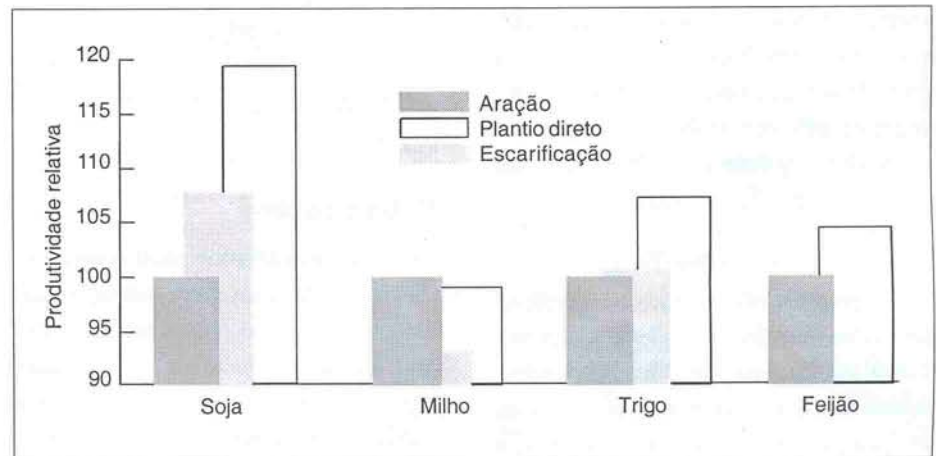


Gráfico 2 - Diferenças na produtividade relativa em três métodos de preparo do solo
 FONTE: Paraná (1994).

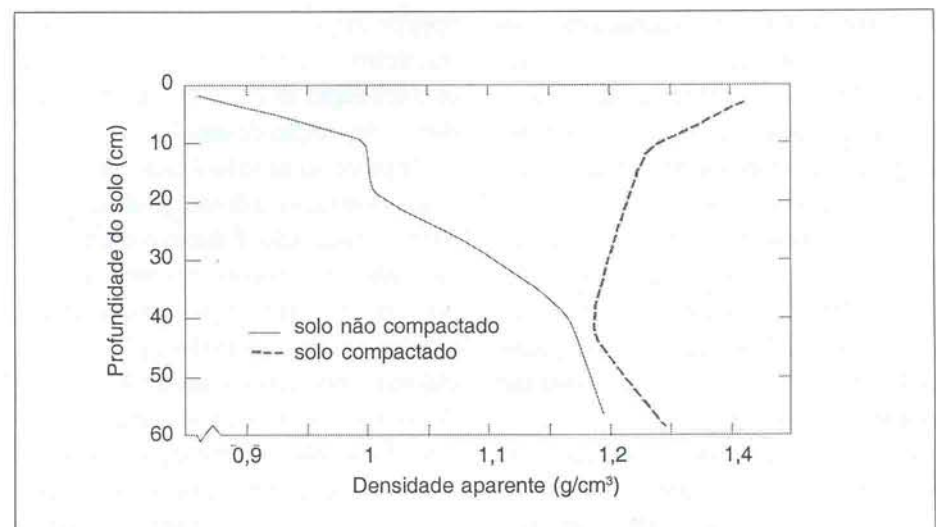


Gráfico 3 - Densidade aparente em solos compactados e não compactados
 FONTE: Dados básicos: Kobiyama & Ushiwata (1993).

rosidade e a aeração, prejudicando o enraizamento, a fauna edáfica e a infiltração d'água.

A camada compactada apresenta um aumento da densidade aparente, ou seja, aumento da quantidade de sólidos em relação ao volume de poros. Nesta camada, o movimento da água é mais difícil, diminuindo a drenagem interna do solo. Devido a uma menor capacidade de infiltração, aumenta-se o escoamento superficial, causando maior risco de erosão da camada mais fértil do solo.

Monocultura

A monocultura convencional e intensiva não apresenta sustentabilidade econômica a longo prazo, muito menos ambiental. A cada ano de cultivo necessita-se de uma quantidade maior de insumos para a manutenção da produtividade. Isto eleva o custo de produção e compromete o meio ambiente pela contaminação por agrotóxicos, adubos químicos e sedimentos, o que caracteriza uma área degradada.

Irrigação inadequada

Os projetos inadequados de irrigação nas regiões semi-áridas brasileiras são exemplos de atividade degradadora. No Nordeste, sistemas que utilizam grandes volumes de água provocam o seu desperdício e a salinização do solo, desenvolvendo o processo de desertificação dessas áreas.

Superpastejo

Na região dos campos nativos da América do Sul, conhecida como pampa, estão ocorrendo sérios problemas de desertificação. No solo arenoso, extremamente frágil, desenvolve-se uma vegetação particular que não suporta atividades agropecuárias intensivas. Com a inserção da bovinocultura e a implantação de espécies forrageiras menos adaptadas à região, desencadeou-se o processo de desertificação. O bovino promove no seu caminhar um pequeno revolvimento na camada superficial do solo, causando a desagregação deste. Estas pequenas áreas descobertas mantêm o solo arenoso exposto, facilitando a ação do vento (erosão eólica), que irá desenfrear o processo de desertificação.

Mineração

A mineração não representa grande parcela em extensão, se comparada aos demais agentes degradadores. Sua ocorrência é pontual, limitando-se a pequenas áreas, se comparada à agricultura, por exemplo. Entretanto, seus efeitos são drásticos ao meio ambiente. A mineração causa grande impacto, devido à movimentação profunda das camadas do solo, retirada da vegetação e alteração do regime de escoamento da água.

O grande problema da extração de minerais é que estes encontram-se em camadas heterogêneas, em veios ou misturados a minerais sem valor econômico. Isto implica na necessidade de excessiva remoção de terra, gerando um grande volume inconsolidado, susceptível à erosão severa. Assim, o regime hidrológico causa problemas de ordem física, química, biológica e topográfica.

Urbanização

O crescimento demográfico, o aumento da industrialização e a concentração populacional têm sido preocupações constantes na sustentabilidade dos grandes centros. A construção de uma cidade causa inúmeras conseqüências sobre o equilíbrio do meio ambiente. Os principais problemas decorrentes são: desestruturas da topografia e da hidrologia local, produção de sedimentos ocasionada pelos vários tipos de erosão (superficiais, voçorocamentos, desmoronamentos e deslizamentos), contaminação dos mananciais por resíduos e deposição de entulhos.

O processo de urbanização vem crescendo muito desde a década de 60, em razão da industrialização. É muito comum que a expansão urbana ocorra nas melhores terras agrícolas pela simples tendência das cidades crescerem em vales e platôs, especialmente perto de rios aonde o solo é melhor. Por causa disso, o impacto sobre os recursos naturais não é apenas pela sua presença física, citada anteriormente como fator degradador, mas também pelos consumos de energia e de água e pela poluição gerada.

As demandas de energia e água e a

busca em suprir estas necessidades básicas resultam na exploração de centenas de km² ao redor das cidades. Estas explorações indiscriminadas da vegetação e dos recursos hídricos, para o abastecimento, tanto da população como das indústrias, transformam os arredores das cidades em áreas degradadas. Para melhorar a condição hídrica nas grandes cidades, Kobiyama (2000) propôs "ruralização no processo de urbanização", que enfatiza convivência com a terra, a água e a vegetação.

Com o passar do tempo e o crescimento gradual das cidades, a terceira conseqüência da urbanização apresenta-se como a sua incapacidade de suportar os níveis de resíduos produzidos. Seu caráter insustentável causa, nos centros urbanos, a contaminação do solo e dos mananciais pelo lixo e dejetos, urbano e industrial. Geralmente, o destino dado a estes resíduos não é o mais adequado, no que se refere a sua decomposição e reaproveitamento pelo sistema. Nestes termos, as áreas de destino destes poluentes (aterros sanitários, rios, lixões etc.) possuem um grau elevado de entropia, o que caracteriza uma área degradada. Além do problema *in locu* da deposição de lixo e dejetos, os problemas atingem maiores dimensões no ecossistema, devido à rápida dissipação desses contaminantes.

MEIOS DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

Dependendo do grau de degradação, técnicas simples podem ser utilizadas na recuperação de áreas degradadas, como a seguir.

Regeneração e sucessão ecológica

A regeneração natural é geralmente o procedimento mais simples e barato de recuperação de áreas degradadas. Entretanto, o tempo necessário à regeneração natural é longo e está intimamente ligado ao grau de degradação. Os fatores mais importantes que condicionam a regeneração natural são aqueles relacionados com a disponibilidade de sementes, que afetam a germinação e o crescimento inicial.

Considerando um processo de sucessão ecológica em uma área desabitada por plantas e animais, a primeira etapa da sucessão corresponde ao surgimento de organismos vivos que irão colonizar a região. Estes recebem o nome de Ecese e geralmente são organismos autótrofos, como algas cianofíceas que possuem boa capacidade de assimilação de nitrogênio. Em seguida, ocorre a etapa intermediária, secundária ou Sere, até que a sucessão atinja seu estágio final, chamado de Clímax, que, conforme a região do planeta caracteriza-se por constituir-se em floresta, estepe, savana, cerrado etc.

Geralmente, áreas degradadas encontram-se no estágio secundário de sucessão. São locais já povoados anteriormente, cujas comunidades foram eliminadas por modificações climáticas ou pela ação do homem. Considerando isso, o primeiro passo para a recuperação seria implantar espécies que auxiliem na formação de um substrato favorável à implantação de espécies do estágio final.

Rotação e consórcio de culturas

A rotação de culturas consiste em um planejamento racional de plantações diversas, alternando a distribuição no terreno em certa ordem e por certo número de anos. A prática da rotação objetiva escalonar as diferentes culturas, melhorar o controle de plantas daninhas, variar a absorção de nutrientes, manter o solo coberto, promover a variação radicular e aumentar a produtividade.

O consórcio de culturas é um grande aliado na recuperação de áreas degradadas, pois cada espécie utilizada possui diferentes características que trazem benefícios distintos ao ecossistema, dentre eles podemos destacar: mobilização e absorção de elementos nutritivos pouco solúveis e em grandes profundidades; conservação de nutrientes no solo, mantendo-o disponível para próximas culturas; melhoria das condições físicas do solo (estrutura, porosidade, temperatura, umidade etc.) e proteção contra erosão.

Contribuição das minhocas para a recuperação de áreas degradadas

Os benefícios da atividade dos organismos do solo no desenvolvimento das plantas podem contribuir na recuperação das áreas degradadas. Dentre as espécies que melhoram as condições químicas, físicas e biológicas do solo, as minhocas ocupam um lugar de destaque.

Com base nisto, Kobiyama et al. (1993) demonstraram os efeitos benéficos das minhocas para a recuperação de solos degradados. Principalmente, pela sua capacidade de formar túneis e transformar matéria orgânica não decomposta em húmus.

Os benefícios que a atividade das minhocas pode trazer para a recuperação de áreas degradadas são:

- a) aumento na circulação e capacidade de retenção de água e de ar no solo;
- b) melhoria da fertilidade natural, pela presença de húmus, principalmente cálcio, fósforo e potássio trocável;
- c) condiciona o aparecimento de outros microorganismos benéficos;
- d) melhoria da estrutura do solo e, conseqüentemente, da taxa de infiltração.

Além disso, esses autores ainda ressaltam os ótimos resultados da associação das minhocas com pastagens, as quais fornecem o alimento às minhocas, além de manter a umidade e a temperatura do solo constantes.

Kobiyama et al. (1993) também enfatizam que o uso de organismos e substâncias orgânicas, apesar de demandar mais tempo de recuperação, é viável economicamente. Sendo que diminui o risco de efeitos negativos, não acarretando prejuízos a outros organismos, além de restabelecer o equilíbrio do meio ambiente.

Sistemas agroflorestais

Alguns sistemas que associam espécies florestais com agrícolas ou pastoris trazem grandes benefícios na recuperação de áreas degradadas. Estes sistemas são a combinação de culturas agrícolas

anuais e árvores (agrossilvicultura); pastagem e árvores (silvipastoril) e culturas anuais, pastagens e árvores (agrossilvipastoril). O sucesso ou não da implantação de um sistema agroflorestal dependerá das características da área para que este se torne viável, identificando criações e consórcios ou combinações agroflorestais, que compatibilizem ao mesmo tempo demandas de ordens social, como gerações de empregos e de renda, e ambiental, como recuperações do solo, do microclima, da fauna e da flora, com necessidade de lucratividade econômica em locais, cuja preocupação principal é a recuperação de áreas degradadas.

Os principais aspectos (ecológicos, econômicos e sociais) positivos que os sistemas agroflorestais proporcionam à recuperação de áreas degradadas são:

- a) otimização na utilização do espaço físico da área;
- b) melhoramento das características químicas, físicas e biológicas do solo;
- c) a produção total obtida de uma mistura de árvores e culturas agrícolas ou criações de animais é freqüentemente maior que a produzida nas monoculturas;
- d) tem maior facilidade em se adaptar a um manejo agroecológico;
- e) reduz o risco de perda total da espécie principal;
- f) os animais e algumas espécies beneficiam-se da sombra das árvores;
- g) fornecimento de uma maior biodiversidade para o meio ambiente.

Agricultura orgânica

A agricultura orgânica, devido aos seus meios naturais de cultivo, com dispensa de adubos químicos e herbicidas, contribui para uma melhor manutenção da fauna e flora edáfica e do ecossistema, aumento da matéria orgânica e resistência à erosão, diminui a poluição ambiental e, conseqüentemente, a recuperação do ambiente degradado, pois, além do ambiente equilibrado, proporciona qualidade de vida para aqueles

que ali trabalham e sobrevivem.

É bom lembrar que qualquer tipo de agricultura promove perturbações ao meio original, porém a agricultura orgânica, se praticada de forma adequada, é a que melhor mantém o equilíbrio do ecossistema agrícola. Os métodos empregados na produção conservam a fauna e a flora e promovem uma maior ciclagem de nutrientes, em relação à agricultura convencional.

Um dos principais objetivos da agricultura orgânica é a manutenção da fertilidade com o uso de adubos verdes e rotação de culturas, promovendo a cobertura permanente do solo para facilitar a ciclagem de nutrientes e diminuir as perdas por lixiviação.

Educação ambiental

A melhor e mais barata forma de recuperação de áreas degradadas é a não necessidade de fazê-la. Em alguns locais como áreas de mineração, é inevitável a degradação, porém, na maioria dos casos, ela só ocorre pela falta de planejamento, conhecimento ou utilização de técnicas inadequadas de exploração dos recursos naturais.

Trabalhos de educação ambiental envolvem poucos recursos e trazem resultados duradouros. A melhor forma de evitar o efeito da degradação é eliminar a causa, que, na maioria das vezes, é a falta de conhecimento.

Em explorações com grande potencial degradador, como é o caso de mineração, por exemplo, é de fundamental importância o planejamento da exploração. O trabalho interdisciplinar com programas de treinamento ambiental facilita o desencadear do processo de exploração minimizando o impacto e auxiliando à sua recuperação.

Programas simples surtem enorme efeito na recuperação do meio ambiente, são aqueles que conscientizam a população em relação à importância dos recursos naturais e sua relação com a manutenção da qualidade de vida atual e futura (Kobiyama et al., 1998). Estes programas incentivam a comunidade para que ela se interesse e defenda o ambiente no qual vive e, como consequência, evita-se o uso displicente dos recursos naturais.

TÉCNICAS DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

Existem vários modelos de recuperação, bem como a adoção de diferentes técnicas de melhoria das condições do meio ambiente. Salienta-se que cada ambiente apresenta suas particularidades que devem ser observadas antes de extrapolar alguma informação. Além disso, a capacidade de investimento econômico em recuperar a área é diferente em cada caso, portanto as singularidades de recuperação devem ser respeitadas (Gráfico 4).

Como metodologia básica de recuperação de áreas degradadas, alguns passos devem ser seguidos para o sucesso da recuperação. No primeiro momento deve-se observar as características ecológicas da região e fazer um levantamento da vegetação regional e de suas espécies características:

- a) espécies pioneiras;
- b) espécies secundárias iniciais;
- c) espécies secundárias tardias ou clímax.

Outra informação importante a ser obtida no ambiente natural é a relação fauna-flora, como por exemplo, as formas de dispersão de sementes, da polinização e das características do banco de semente. O entendimento e uma posterior interferência nestas características irão facilitar o processo sucessional, sem que haja a competição prejudicial entre as espécies.

As operações de plantio modificam as condições químicas e físicas do solo proporcionando as características essenciais para o bom desenvolvimento das espécies a serem implantadas. Estas práticas visam à estruturação, à correção e à fertilização do terreno.

Na implantação dos métodos de regeneração, a primeira prática, para o preparo da área, antes do plantio de espécies nativas, é a semeadura de gramíneas e adubos verdes. Na fase em que estas espécies pioneiras já tiverem colonizado a área, as secundárias e tardias podem ser implantadas.

A semeadura das sementes de espécies nativas poderá ser feita de três maneiras: sementeiras, recipientes e diretamente no

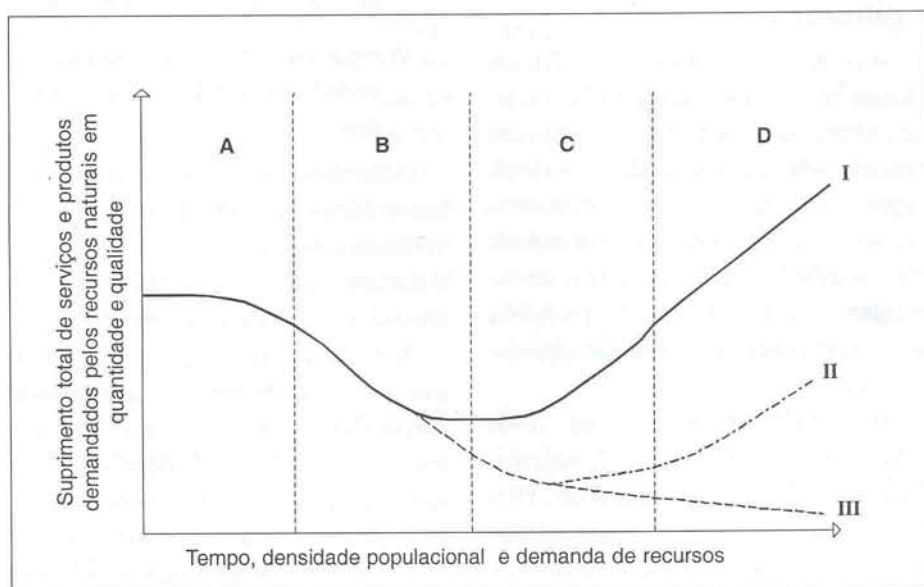


Gráfico 4 - Processos de inovação no manejo de recursos naturais

FONTE: Kerr (1998).

NOTA: A - Uso natural dos recursos naturais; B - Degradação dos recursos; C - Reabilitação dos recursos e transição para o manejo intensivo; D - Dependência de interferência humana nos recursos naturais.

Cenário I - Condição em que a terra é manejada adequadamente; Cenário II - Condição em que os investimentos limitam-se a recuperação severa de atividades degradadoras, mas impede a alta produtividade; Cenário III - Condição em que nunca houve investimentos na manutenção dos recursos naturais e a produtividade não se mantém.

campo. Para implantação das espécies podem-se adotar as seguintes formas: puro a pleno sol, para espécies dos grupos sucessionais iniciais e misto, a pleno sol. O espaçamento depende de diversos fatores, tais como: a forma de crescimento do sistema radicular e da parte aérea e a fertilidade do solo.

O manejo da regeneração e os tratamentos culturais são executados com a finalidade de facilitar o crescimento das espécies desejadas, reduzindo a concorrência imposta às plantações pela vegetação daninha, em luz, umidade e nutrientes.

Estabelecimentos de povoamentos

Para a implantação de um novo povoamento, é necessário identificar as espécies vegetais de ocorrência regional, em locais com as mesmas características da área a ser recuperada, feita através do levantamento florístico. A recuperação da forma de uma floresta está intimamente ligada à maior diversidade possível de espécies dentro do potencial de cada área. Existem espécies, chamadas de colonizadoras, que apresentam algumas características marcantes, como: sementes aladas ou dispersas por autocoria; crescimento rápido; sistema radicular agressivo e, na maioria dos casos, associados com bactérias e fungos fixadores de nitrogênio.

CONCLUSÃO

Diversas propostas para recuperar áreas degradadas apresentam-se com alta eficiência e rapidez. Porém, não se justificam, porque são onerosas ou não fornecem os subsídios de sobrevivência para aqueles que dela dependem. O primeiro passo no planejamento de um projeto de recuperação é o levantamento das características naturais e sociais do ambiente anterior à degradação. No segundo momento, identificam-se os principais agentes que estão a causar a degradação, sejam eles antrópicos, sejam eles naturais; químicos, físicos ou biológicos. Com base nestes estudos, a equipe interdisciplinar deve propor e executar a metodologia que melhor se enquadra nas exigências ecológicas, so-

ciais e econômicas da região.

É importante frisar que, na recuperação de áreas degradadas, a metodologia principal é aquela em que as espécies utilizadas estejam em conformidade com o ambiente e que as práticas e os manejos envolvidos prezem, principalmente, a matéria orgânica do solo e a manutenção da água no ecossistema, o que facilita e resulta em baixos valores de entropia no sistema.

Outra observação importante é a inter-relação dos ecossistemas. Além do entendimento das áreas degradadas é necessário considerar as implicações das áreas de entorno sobre aquelas degradadas e vice-versa.

A idéia central, para o sucesso de qualquer plano de manejo ou recuperação de áreas degradadas, é agir hoje e pontualmente, para que o conjunto de ações tenha repercussão global no futuro. "*Pense globalmente, aja localmente*" e "*Pense no futuro, aja hoje*".

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLUM, W.E.H. Basic concepts: degradation, resilience, and rehabilitation. In: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTINE, C.; STEWART, B.A. (Ed.). *Methods for assessment of soil degradation*. New York: CRC Press, 1998. p.1-16.

DESPOCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U. *Controle da erosão no Paraná, Brasil*: sistemas da cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo: Eschborn: GTZ/IAPAR, 1991. 268p.

DIAS, L.E.; GRIFFITH, J.J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: _____. (Ed.). *Recuperação de áreas degradadas*. Viçosa: UFV, 1998. p.1-8.

GRIFFITH, J.J. *Recuperação de áreas degradadas em unidades de conservação*. Viçosa: UFV, 1986. 4p.

IBAMA. *Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração*: técnicas de revegetação. Brasília: IBAMA, 1990. 96p.

JESUS, R.M. Revegetação da teoria à prática técnica de implantação. In: SIMPÓSIO SUL AMERICANO, 1.; SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., 1994, Foz do Iguaçu. *Anais...* Curitiba: FUFPEF, 1994. p.123-134.

KERR, J. The economics of soil degradation: from national policy to farmer's fields. In: VRIES,

F.W.T.P.; AGUS, F.; KERR, J. (Ed.). *Soil erosion at multiple scales*. New York: CABI/IBSRAM, 1998. p.21-38.

KOBIYAMA, M. Ruralização na gestão de recursos hídricos em área urbana. *Revista OESP Construção*, São Paulo, ano 5, n.32, p.11-117, set. 2000.

_____; MINELLA, J.P.G.; OLIVEIRA, S.M. Recuperação de mananciais na Região Metropolitana de Curitiba. In: ENCONTRO PARANAENSE EM EDUCAÇÃO AMBIENTAL, 1., 1998, Curitiba. *Anais...* Curitiba: UFPR, 1998. p.126-130.

_____; USHIWATA, C.T. Influence of compaction on physical properties of a forest soil. In: PANAMERICAN FORESTRY CONGRESS, 1., 1993, Curitiba. *Anais...* Curitiba: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 1993. v.1, p.254-258.

_____; _____. BARCIK, C. Recuperação de áreas degradadas: conceito, um exemplo e uma sugestão. *Bio. Saneamento e Progresso*, Rio de Janeiro, n.6, p.95-102, nov./dez. 1993.

LAL, R. Soil quality and sustainability. In: _____. BLUM, W.H.; VALENTINE, C.; STEWART, B.A. (Ed.). *Methods for assessment of soil degradation*. New York: CRC Press, 1998. p.17-30.

MAJER, J.D. Fauna studies and land reclamation technology: review of the history and need for such studies. In: _____. (Coord.). *Animals in primary succession: the role of fauna in reclaimed lands*. London: Cambridge University Press, 1989. p.3-33.

OLDEMAN, L.R.; LYNDEN, G.W.J. van. Revisiting the GLASOD methodology. In: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTINE, C.; STEWART, B.A. (Ed.). *Methods of assessment of soil degradation*. New York: CRC Press, 1998. p.423-440.

PARANÁ. Secretaria Estadual de Agricultura e Abastecimento. *Programa de Desenvolvimento Rural do Paraná*: manual técnico do sub-programa de manejo e conservação do solo. Curitiba, 1994. 306p.

PARROTA, J.A. The role of plantationforest in rehabilitation degraded tropical ecosystems. *Agriculture Ecosystems and Environment*, Amsterdam, v.41, p.115-133, 1992.

REINERT, D.J. Recuperação de solos em sistemas agropastoris. In: DIAS, L.E.; GRIFFITH, J.J. (Ed.). *Recuperação de áreas degradadas*. Viçosa: UFV, 1998. p.163-176.

SZABOLCS, I. The concept of soil resilience. In: GREENLAND, D. J.; SZABOLCS, I. (Ed.). *Soil resilience and sustainable land use*. Wallingford: CAB International, 1994. p.33-39.

Solos contaminados por metais pesados: características, implicações e remediação

João Batista Pavesi Simão¹
José Oswaldo Siqueira²

Resumo - Em ambientes contaminados por metais pesados, a mobilidade, a forma, a biodisponibilidade e as distribuições horizontal e vertical dos contaminantes são de grande relevância. Diversos sistemas regulam essa dinâmica, sendo estes, em sua maioria, inerentes aos constituintes do solo e também à natureza de cada metal. A fitorremediação dessas áreas, apesar de constituir um grande desafio - uma vez que esses contaminantes exercem forte toxicidade para as plantas e para os processos vitais do solo - é apontada como uma técnica promissora de recuperação ambiental, em função de apresentar, relativamente, baixo custo e pequena interferência no solo. Além da contenção de processos erosivos e da melhoria das características físicas do solo, a fitorremediação consiste em utilizar agentes amenizantes capazes de promover a imobilização de metais, diminuindo-lhes a biodisponibilidade, e a subsequente introdução de plantas capazes de tolerar situações de estresse.

Palavras-chave: Fitotoxicidez; Mitigação; Fitorremediação.

INTRODUÇÃO

O crescimento da demanda por alimentos e bens diversos tem-se refletido no aumento das atividades humanas, como a industrialização, obtenção e consumo de energia, agricultura e urbanização. Paralelamente a esse desenvolvimento, são geradas quantidades crescentes de resíduos que, não recebendo tratamento e destino final adequados, vêm acarretando grande impacto nos diferentes ecossistemas. Nesse aspecto, observam-se com muita preocupação os casos de contaminação do solo por metais pesados, elementos químicos que, mesmo em pequenas concentrações, podem constituir um grande perigo à saúde humana e ao ambiente.

O desenvolvimento e a implementação de técnicas de descontaminação, se por um lado são impulsionados por legislação específica - variável nos diversos países - por outro ficam restritos a diversos fatores,

sobretudo à aceitação consensual de níveis críticos por contaminantes, e à disponibilidade de recursos técnico-financeiros. A escolha da técnica de remediação deve considerar dados do sítio contaminado, as características do solo e do contaminante, o grau de contaminação e o uso futuro da área. A fitorremediação tem sido apontada pela pesquisa como uma alternativa viável, de custo relativamente baixo e com menor interferência no ambiente. Ela consiste na adição de amenizantes, capazes de diminuir a biodisponibilidade dos metais, e na utilização de vegetais e microrganismos tolerantes.

METAIS PESADOS COMO CONTAMINANTES DO SOLO

Vários elementos químicos são essenciais para o crescimento e reprodução vegetal, sendo obtidos do meio externo através da absorção radicular ou foliar. Uma

parte desses elementos é exigida em quantidades proporcionalmente elevadas, constituindo-se os macronutrientes, e outra parte, tão importante quanto a primeira, congrega os elementos exigidos em pequenas quantidades, sendo, assim, chamados micronutrientes. Quando um determinado elemento, nutriente ou não, é absorvido em quantidade suficientemente elevada, este pode tornar-se fitotóxico e causar prejuízo à vegetação. O excesso de metal pode provocar mudanças fisiológicas, redução do vigor e, em situações extremas, a inibição total do desenvolvimento vegetal, com grande impacto no ecossistema. A toxicidade pode variar largamente de um elemento para outro e também entre espécies vegetais.

Dentre os elementos fitotóxicos, têm-se verificado contaminações extensivas por alguns elementos metálicos que apresentam densidade superior a 5g.cm⁻³, gene-

¹Eng^o Agr^o, D.Sc. Prof. Escola Agrotécnica Federal de Alegre, Caixa Postal 47, CEP 29500-000 Alegre-ES. Correio eletrônico: jbpavesi@escelsa.com.br

²Eng^o Agr^o, Ph.D., Prof. Tit. UFLA-Dep^o Ciência do Solo/Bolsista CNPq, Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras-MG. Correio eletrônico: siqueira@ufla.br

ricamente denominados metais pesados. Entre os metais pesados mais estudados, encontram-se elementos não-essenciais para os vegetais, como chumbo (Pb), cádmio (Cd), cromo (Cr) e mercúrio (Hg) e alguns micronutrientes, como cobre (Cu), zinco (Zn), ferro (Fe) e manganês (Mn). Além desses elementos, também são citados o níquel (Ni) e cobalto (Co), ambos considerados úteis ao desenvolvimento vegetal, também o arsênio (As), que é um semimetal, e selênio (Se), um não-metal com densidade inferior a $5\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (McBride, 1994). Neste estudo, serão citados principalmente os elementos Zn, Cu, Pb e Cd, tendo em vista serem os representantes com maior ocorrência em solos contaminados no Brasil. A contaminação adquire uma importância maior, quando, além dos efeitos nocivos restritos a sítios delimitados, se consideram a dispersão do contaminante por processos erosivos e por lixiviação e a biomagnificação destes ao longo de cadeias alimentares, colocando em risco a saúde humana e a qualidade ambiental

(Fig. 6, contracapa).

Os metais pesados no solo advêm do intemperismo da rocha de origem, sobretudo daquelas ricas em sulfetos, óxidos, silicatos, fosfatos e carbonatos, podendo atingir as seguintes faixas de concentração nesse ambiente (em $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$): Pb, 10 - 84; Cd, 0,06 - 1,1; Cr, 7 - 221; Hg, 0,02 - 0,41; Cu, 6 - 80; Zn, 17 - 125; Ni, 4 - 55; Co, 1,6 - 21,5; As, 2,2 - 25 e Se, 0,05 - 1,27 (Kabata-Pendias & Pendias, 1985). Contudo, níveis mais elevados têm sido observados com frequência em diversas áreas, devido a ações antrópicas, como sucessivas adições de fertilizantes, amenizantes e agrotóxicos, e também em função de deposições atmosféricas ou de efluentes, rejeitos, escórias, lodos e uma infinidade de outros resíduos de naturezas orgânica e inorgânica. Dentre as fontes de contaminação de rejeitos inorgânicos, destacam-se os resíduos provenientes de minerações, siderúrgicas, metalúrgicas, petroquímicas e indústrias coureiras, por causarem grande impacto nos ecossistemas (Logan, 1992). No caso

específico da industrialização de Zn, por exemplo, são produzidos grandes volumes de resíduos ricos nesses metais, cuja deposição ao solo pode elevar os teores totais (em $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) para valores superiores a 20.000 de Zn, 800 de Cu, 600 de Pb e 100 de Cd (Ribeiro-Filho et al., 1999 e Simão, 1999). Nessas circunstâncias, ocorre a biodisponibilidade de formas imobilizadas destes metais presentes nos resíduos, contribuindo para a redução ou desaparecimento completo da vegetação (Fig. 7, contracapa) e profundas interferências na atividade biológica do solo, exigindo ações complexas nos processos de remediação da contaminação de áreas como essa (Vangronsveld & Cunningham, 1998).

FORMA E COMPORTAMENTO DOS METAIS PESADOS NO SOLO

No solo, os metais pesados podem-se apresentar sob diversas formas, tais como solúvel, trocável, fixada a minerais, precipitada, na biomassa e complexada na matéria orgânica (Fig. 8). A mobilidade dos

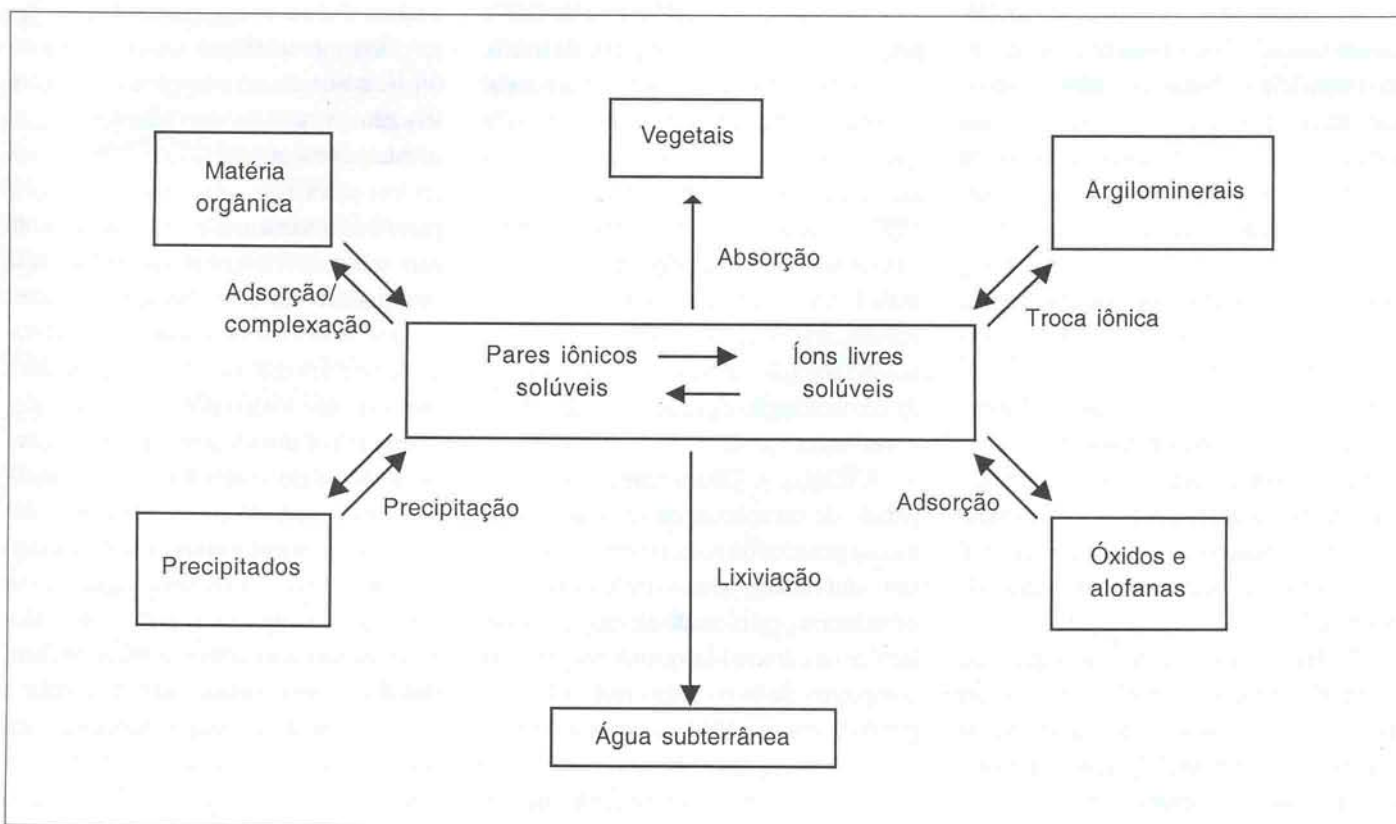


Figura 8 - Fatores que afetam a solubilidade, disponibilidade e mobilidade dos elementos no solo
 FONTE: Dados básicos: McBride (1994).

metais nesse ambiente é variável, em função da sua natureza e forma química e também das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Cátions divalentes como Zn^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} e Cd^{2+} são altamente hidratáveis e, geralmente, solúveis no solo. Em solos ácidos e bem drenados, a mobilidade relativa desses elementos pode variar. De modo geral, Cd, Zn, Mn e Ni, por exemplo, apresentam-se mais móveis que Pb, Cu e Cr.

Diversas características do solo influem na dinâmica dos metais pesados, destacando-se: pH, potencial redox, textura, composição mineral, capacidade de troca de cátions (CTC), teor e qualidade dos compostos orgânicos na fase sólida e na solução do solo, competição por sítios de adsorção e quelatação, além das propriedades específicas de cada metal (Korcak & Fanning, 1985). Em função dessas interrelações, os metais são menos biodisponíveis à absorção radicular nos solos que possuem grande quantidade de sítios de adsorção ou em ambientes químicos favoráveis à sua precipitação (Fig. 9, contracapa).

A adsorção pode ser reversível, parcialmente reversível ou irreversível, e ocorre na superfície coloidal segundo diversos mecanismos, envolvendo ou não troca iônica. Solos com textura mais arenosa, de baixa CTC, tendem a reter menos esses elementos, enquanto a elevação do teor de argila favorece os processos sortivos. Os solos, exceto aqueles muito ricos em areia, têm alta capacidade de reter Pb e Cu devido à forte afinidade dos íons Pb^{2+} e Cu^{2+} por constituintes orgânicos e minerais. Por sua vez, o Cd encontra-se nas formas solúvel e trocável em percentuais relativamente superiores aos demais metais, consistindo num metal pesado com grande potencial tóxico para o ambiente e para o homem (Ma & Uren, 1998).

O pH é uma das características que mais interferem no comportamento dos metais pesados no solo, sendo que o aumento da acidez favorece a solubilização e a mobilidade desses elementos. Em solos com reação variando de neutra a alcalina, eles tornam-se menos solúveis e menos dispo-

níveis às plantas por formarem precipitados com hidróxidos e carbonatos. Também em solos com elevados teores de argila, óxidos ou húmus, os metais pesados são mais fortemente retidos e assim menos disponíveis. Outra consequência do incremento do pH na disponibilidade de metais no solo é o aumento da CTC do solo, o que favorece a adsorção de cátions, sendo esse efeito mais pronunciado em solos com carga variável.

O potencial redox do solo também interfere no comportamento desses elementos. Em ambientes redutores, o Fe e Mn são reduzidos à forma bivalente (+2) solúvel, enquanto os elementos chalcófilos (a exemplo do Zn, Cu, Pb e Cd) formam sulfetos insolúveis por processo de precipitação química a partir da redução do sulfato. A estabilidade desses sulfetos em sedimentos é verificada mesmo em condições de pH muito baixo.

O período de contato e a forma como são adicionados ao solo são outras variáveis a ser consideradas nos estudos sobre a solubilidade de metais pesados. Normalmente, observa-se que em adições de metais ao solo na forma de resíduos ou de sais, a proporção das formas trocáveis, de início, é maior. Por outro lado, à medida que o metal "envelhece" no solo, há maior expressão das formas não-lábeis, como a residual e a associada a óxidos (Amaral Sobrinho et al., 1997). Segundo McBride (1994), o metal adicionado mais recentemente ao solo é mais facilmente trocável que aquele mais remoto, seja de origem natural, seja incorporado por ação humana. Portanto, a idade da contaminação deve ser considerada na remediação.

A matéria orgânica apresenta a capacidade de complexar ou quelatar alguns metais pesados do solo, podendo diminuir sua solubilidade, quando estão envolvidas substâncias orgânicas de elevado peso molecular, ou aumentá-la, quando reagem com compostos de baixo peso molecular. Segundo Schnitzer (1982), a maior proporção da matéria orgânica do solo consiste de substâncias húmicas, constituídas de ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina, que, sob a denominação húmus, repre-

sentam os principais agentes orgânicos envolvidos na complexação de metais no solo. Dentre as características do húmus que conferem sua grande capacidade de reter metais pesados estão: elevada superfície específica, que normalmente excede à dos colóides inorgânicos do solo; carga líquida negativa e dependente do pH do meio; CTC que pode superar a faixa de 1.500-3.000 $mmol\ kg^{-1}$; elevada facilidade de embebição de água e, por dedução, da solução do solo contendo metais e capacidade de formar quelados orgânicos. Neste tipo de ligação, o íon metálico complexado não pode ser trocado rapidamente, devido às ligações covalentes envolvidas serem mais fortes que as ligações eletrostáticas, comuns nas reações de troca de cátions. Entretanto, a troca de um metal complexado é possível, dependendo de diversos fatores, tais como o pH do solo, a afinidade do metal pelo ligante e a estabilidade do complexo.

Alguns processos afetam as características de solubilidade de humatos e fulvatos metálicos nos solos. O maior fator é a intensidade com que o complexo é saturado com íons metálicos. Outros fatores são o pH, adsorção do complexo a colóides inorgânicos e a biodegradação. Cátions trivalentes e alguns divalentes são eficientes em precipitar substâncias húmicas a partir de soluções muito diluídas, enquanto cátions monovalentes só apresentam essa propriedade em elevadas concentrações. Em ambientes contaminados, a concentração de um íon metálico pode ser reduzida a um nível não tóxico por meio da complexação. Isto é mais visível, quando o complexo formado apresenta baixa solubilidade, a exemplo do que ocorre com ácidos húmicos e outros compostos de elevado peso molecular da matéria orgânica. Por outro lado, complexos metálicos de ácidos fúlvicos são normalmente mais solúveis, devido ao seu menor peso molecular e maior conteúdo de grupos funcionais acídicos. Assim, ao contrário dos compostos bioquímicos simples e os ácidos fúlvicos, de baixo peso molecular, os ácidos húmicos tendem a formar complexos com íons

metálicos que são insolúveis e, desta forma, tornam-se relativamente não disponíveis às plantas. Entretanto, uma parte do metal retido pode estar na forma lábil, isto é, em equilíbrio dinâmico com formas trocáveis e adsorvidas (Stevenson, 1986). Outro mecanismo que interfere na solubilidade de metais no solo é a competição entre eles e com outros compostos orgânicos e inorgânicos por sítios de adsorção ou por ligantes complexantes disponíveis. Assim, a retenção dos metais pesados não é afetada apenas pela sua concentração na solução, mas também pela concentração de todos os outros constituintes do sistema. De acordo com Guy & Chakrabarti (1976), as constantes de estabilidade do complexo organo-metálico são dependentes do pH e da força iônica, citando que essas constantes diminuem na seguinte ordem: $Cu > Pb > Zn > Cd$.

DETERMINAÇÃO DE METAIS PESADOS NO SOLO

O estabelecimento dos níveis de risco de metais pesados no solo baseiam-se, na maioria dos casos, na determinação dos conteúdos totais desses elementos no solo, que é realizada, utilizando-se extratores constituídos de ácidos fortes concentrados. Além de auxiliar na identificação do grau de contaminação do solo, esse procedimento permite a detecção dos metais, quando seus níveis no solo são baixos. A partir dos extratos obtidos, as determinações podem ser realizadas por espectrofotometria de absorção atômica ou em espectrofotometria de emissão atômica com plasma induzido em argônio que, além de sensíveis, permitem agilidade no procedimento. Entretanto, nas determinações do conteúdo total, não há informações sobre o comportamento dos elementos nas diversas situações de solo. Em estudos de toxicidade, por exemplo, os conteúdos totais no solo não se correlacionam bem com as quantidades extraídas pelas plantas. Para essa finalidade, o ideal é procurar determinar a disponibilidade desses metais nas diversas situações de solo, identificando-

se as concentrações na solução e a capacidade do solo em manter esses níveis por reposição, a partir dos colóides. Entretanto, a determinação precisa da disponibilidade desses elementos é muito difícil, uma vez que estão envolvidos diversos processos, tais como troca de íons por adsorção, equilíbrio ácido-base, complexação com ligantes orgânicos, precipitação-dissolução e oxidação-redução. Tanto o fator intensidade, que representa a concentração desses elementos mantida em solução, como o fator quantidade, que constitui a fração na fase sólida, afetam a biodisponibilidade desses metais.

Em função do procedimento analítico utilizado, a determinação de metais no solo pode ser feita por meio de extrações simples, quando a amostra é submetida a uma única solução extratora, ou por extrações sequenciais, utilizando-se diversas soluções, de modo que venham a ser quantificadas as diferentes formas nas quais os metais se encontram. Em ambas metodologias, devem-se correlacionar os valores encontrados e a quantidade dos elementos absorvidos pelas plantas (Sposito et al., 1982). O emprego de técnicas de extração sequencial busca, normalmente, discriminar as formas solúvel, trocável, carbonato, complexada à matéria orgânica, ligada a óxidos e residual. As três primeiras formas são consideradas lábeis e, por conseguinte, são mais disponíveis para os vegetais, enquanto as demais formas, sobretudo a ligada a óxidos e residual, são pouco lábeis e, dessa forma, pouco biodisponíveis.

Por questões relacionadas com a simplicidade e rapidez nos procedimentos analíticos, diversos estudos têm procurado determinar a disponibilidade de metais pesados em solos contaminados por meio de extrações simples. Na prática, contudo, também tem sido difícil chegar a métodos de aceitação geral, o que mostra a dificuldade envolvida nesses procedimentos. Dentre as soluções extradoras mais utilizadas no Brasil para a determinação de formas disponíveis dos metais, destacam-se Mehlich-1, Mehlich-3, ácido dietilenotriaminopentaacético (DTPA) e HCl 0,1 mol L⁻¹.

FITOTOXICIDADE DOS METAIS PESADOS

Uma das grandes dificuldades nos estudos de metais pesados no solo diz respeito à determinação das faixas críticas desses elementos no ambiente e também aos critérios empregados no estabelecimento dessas faixas. Para solos, considera-se o grau de fitotoxidez um dos critérios mais aceitos nos estudos de impacto, mas ainda assim não se têm estabelecidas, até o momento, faixas críticas de aceitação global.

A toxidez é considerada uma manifestação de anormalidade e que pode ser devida a qualquer elemento, nutriente ou não. De acordo com Beckett (1991), a determinação da fitotoxidez de um elemento deve-se basear nas seguintes variáveis: redução do crescimento ou produção, visualização de sintomas e avaliação da concentração no tecido. As concentrações totais de Zn, Cu, Pb e Cd no solo consideradas excessivas do ponto de vista da fitotoxidez, apontadas por Kabata-Pendias & Pendias (1985), são (em mg.kg⁻¹): 70 – 400 de Zn, 60 – 125 de Cu, 100 – 400 de Pb e 3 – 8 de Cd (Quadro 1). Contudo, os níveis acumulativos máximos permitidos desses metais, a exemplo de outros elementos, variam amplamente nos diferentes países. Na Suíça, consideram-se tóxicos os níveis que reduzam em 25% o crescimento de plantas, que, segundo a Swiss Agency for the Environment, forests and Landscape (1998), correspondem (em kg.ha⁻¹) a 1.000 de Zn, 500 de Cu, 500 de Pb e 15 de Cd. Por outro lado, nos Estados Unidos, a Agência de Proteção Ambiental (Usepa) considera fitotóxico o nível do metal que provoque a queda de 50% do crescimento, que representam (em kg.ha⁻¹): 2.800 de Zn, 3.000 de Cr, 1.500 de Cu, 420 de Ni, 300 de Pb e 39 de Cd (King, 1996). Segundo este autor, na Holanda esses valores caem para 1.000 de Zn, 500 de Cr, 200 de Cu, 200 de Ni, 300 de Pb e 10 de Cd.

Crítérios mais rígidos para a determinação de níveis permitidos desses elementos em solos agrícolas levam em consideração, sobretudo, o risco potencial à saúde

humana. Nesse aspecto, os teores totais recomendados pela Comunidade Econômica Européia para Zn, Cu, Pb e Cd no solo são: 150, 140, 50 e 3 mg.kg⁻¹ de solo, respectivamente (Chander & Brookes, 1991, 1993). Segundo Accioly & Siqueira (2000), o Brasil ainda não possui regulamentação específica para o assunto. No estado de São Paulo, adotam-se os níveis estabelecidos pela Usepa na aplicação de lodo de esgoto no solo.

Com relação aos teores foliares de metais pesados considerados críticos, também são citadas faixas que podem variar em

função do metal, do vegetal e das condições relacionadas com o ambiente. No Quadro 2, são apresentadas as concentrações normais e tóxicas de Zn, Cu, Pb e Cd (em mg.kg⁻¹), segundo Kabata-Pendias & Pendias (1985), Barceló & Poschenrieder (1992) e Bergmann (1992). De modo geral, percebe-se que Cd e Zn são mais móveis na planta, enquanto Cu e Pb apresentam mobilidade relativamente menor (Davies & Jones, 1988 e Bergmann, 1992). O Cd constitui um elemento que requer atenção especial, já que é relativamente muito móvel no sistema solo-planta. Em solos contamina-

dos, este elemento encontra-se, predominantemente, em forma trocável (Ribeiro Filho et al., 1999). Para plantas cultivadas em solos com pH e capacidade adsorviva baixos, recomendam-se análises de plantas sempre que o conteúdo total de Cd no solo for superior a 1,5 - 2,0 mg.kg⁻¹ (Bergmann, 1992). Além de ser proporcional à concentração do agente fitotóxico no meio, a toxidez também varia em função do tempo de exposição da planta a este meio.

Nos processos de absorção, translocação e incorporação às células, verifica-se frequentemente a competição de metais pesados entre si e com outros elementos essenciais ou não. O excesso de Zn pode levar à deficiência de Fe e à redução da fotossíntese nas plantas. Nesse caso, elevando-se a disponibilidade de Fe é possível diminuir, pelo menos em parte, os efeitos na deficiência induzida de Fe. Mesmo pequenas quantidades de metais pesados não-essenciais, como Pb e Cd, podem bloquear enzimas específicas e, assim, ser

QUADRO 1 - Concentração de alguns metais em solo normal, contaminado e metalífero

Concentração em	Cd	Zn	Cr	Pb	Cu
Solo normal (mg.kg ⁻¹)	0,06 - 1,1	17 - 125	7 - 221	10 - 84	6 - 80
Solo contaminado ^(A) (mg.kg ⁻¹)	3 - 8	70 - 400	-	100 - 400	60 - 125
Solo metalífero ^(B) (g.kg ⁻¹)	≤ 0,35	≤ 150	≤ 50	≤ 50	≤ 50

FONTE: (A) Faixa crítica de fitotoxidez citada por Kabata-Pendias & Pendias (1985) e (B) Dados básicos: Barceló & Poschenrieder (1992).

QUADRO 2 - Concentrações normal e tóxica⁽¹⁾ de Zn, Cu, Pb e Cd (em mg.kg⁻¹) e sintomas de toxidez na parte aérea de plantas

Elemento	Concentração normal	Concentração tóxica	Sintomas de toxidez	Outros aspectos
Zn	^(A) 25 - 150 ^(B) (20 - 100)	100 - 400 (300 - 500)	Cloroses semelhantes a deficiências de Fe em folhas jovens e velhas; lesões necróticas marrom-avermelhadas; redução no crescimento e produção; queda de folhas e morte da planta	Muito menos tóxico que Cu; sob fraca contaminação do solo, altos teores de Fe podem reduzir sua absorção; a translocação pode ser reduzida com a elevação de fosfatos na raiz, como verificado também para Cu, Pb e Cd; deposita-se mais na parede celular e vacúolos.
Cu	5 - 20 (5 - 15)	20 - 100 (25 - 35)	Clorose semelhante à deficiência induzida de Fe; redução no crescimento e produção; em níveis elevados ocorrem folhas verde-escuras com clorose e lesões necróticas que avançam das bordas e pontas para o centro; morte e queda das folhas; morte da planta.	A absorção é mais lenta que de Zn; pode haver sintomas de deficiência na parte aérea enquanto na raiz os teores estão normais; baixa translocação até mesmo em solos contaminados; análise foliar é de pouca utilidade em casos de contaminação do solo, assim como verificado para Pb.
Pb	5 - 10 (2 - 7)	30 - 300 (15 - 50)	Ruptura do metabolismo do Ca ocasionando sintomas de sua deficiência; diminuição da fotossíntese, crescimento e produção; morte da planta	Baixa absorção; localiza-se sobretudo na parede celular da superfície de raízes, sendo difícil distinguir o assimilado do aderido; ao contrário do Zn, a tolerância a Pb não depende muito da planta e sim de sua biodisponibilidade no solo; baixa translocação.
Cd	0,05 - 0,7 (0,2 - 3)	5 - 30 (> 4)	Manchas cloróticas e descoloração das folhas jovens e velhas; perda de turgor e murcha de folhas; lesões necróticas em folhas velhas; redução do crescimento e produção; morte da planta	Muito tóxico à biota; relativa facilidade de absorção e translocação; elevados níveis nas folhas induzem redução da translocação de Fe; os sintomas de fitotoxidez aparecem após atingir níveis tóxicos para o homem e animais.

FONTE: (A) Kabata-Pendias & Pendias (1984) e Barceló & Poschenrieder (1992) e (B) Bergmann (1992).

(1) Exceto acumuladoras.

severamente tóxicos.

Uma vez absorvidos, os metais tendem a se acumular nas raízes, que são os primeiros órgãos vegetais afetados pela contaminação do solo por esses elementos. Semelhante aos efeitos tóxicos do alumínio (Al), pode-se verificar precipitação de proteínas nos tecidos, com escurecimento, engrossamento e redução do número de pêlos radiculares (Fig. 10, contracapa). De modo geral, somente uma pequena parte desses elementos é translocada para a parte aérea. No caso do Pb e Cu, é comum encontrar conteúdos radiculares superiores a 90% do conteúdo total na planta.

Os sintomas mais comuns da toxidez de metais pesados na parte aérea das plantas são a clorose, similar àquela indicativa da deficiência de Fe, e o aparecimento de manchas foliares de diversas formas, que evoluem ou não para a necrose e morte das folhas (Fig. 11, contracapa). Em níveis muito elevados desses elementos, há considerável diminuição no crescimento, evoluindo para o colapso dos processos bioquímicos e morte da planta. Às vezes, diversos sintomas ocorrem simultaneamente, sobretudo nos casos de toxidez causada por múltiplos agentes, dificultando a interpretação da toxicidade. Desde o momento da absorção de metais pesados pelas plantas, pode-se admitir que o Cd e o Pb são concentrados em níveis perigosos para homens e animais antes que as plantas desenvolvam sintomas de toxidez. De acordo com El-Bassam (1978), o espinafre pode tolerar níveis de Cd superiores a 100 mg.kg^{-1} sem apresentar sinais de dano. Os outros elementos, de modo geral, induzem inibição do crescimento e sintomas de fitotoxidez antes que sejam excedidos os limites aceitáveis para gêneros alimentícios. No Brasil, a legislação estabelece os seguintes limites máximos desses metais (em mg.kg^{-1}) em alimentos (com base na matéria seca): 50 de Zn, 30 de Cu, 8 de Pb e 1 de Cd (Associação..., 1985).

Em termos fisiológicos, os mecanismos de tolerância vegetal a metais pesados em níveis tóxicos variam desde ligações na parede celular e alterações da permeabilidade das membranas e exsudação de substâncias quelantes até produção de ligantes

intercelulares, bombeamento de íons para vacúolos, complexação por ácidos orgânicos, precipitação por fosfatos e ligações metalo-proteína. O gasto de energia para realização desses mecanismos, entretanto, proporciona uma redução no crescimento das plantas tolerantes, quando comparadas com aquelas cultivadas em áreas não contaminadas (Ernst, 1976). De acordo com os mecanismos de tolerância desenvolvidos, as plantas podem ser classificadas em: exclusoras, quando a concentração do metal absorvido é mantida constante até que seja atingido o nível crítico no substrato; indicadoras, quando ocorre absorção passiva, em que as concentrações internas refletem os teores externos; acumuladoras, aquelas que desenvolvem capacidade de manter níveis internos mais elevados que os do substrato de cultivo (Baker, 1981).

REMEDIAÇÃO DO SOLO CONTAMINADO POR METAIS PESADOS

Diversos procedimentos de descontaminação ou de estabilização dos metais no solo são conhecidos, sendo que a escolha de um deles para determinado sítio deve levar em consideração, além da dimensão do impacto provocado pelo contaminante no ecossistema, a viabilidade econômica do processo de remediação. Na seleção de uma ou mais alternativas de remediação, deve-se considerar os seguintes aspectos:

- a) tamanho, local e histórico da área;
- b) características do solo (estrutura, textura, pH etc.);
- c) tipo e estados físico e químico dos contaminantes;
- d) grau de poluição (distribuição e concentração do contaminante);
- e) uso final desejado para a área;
- f) recursos técnicos e financeiros disponíveis;
- g) questões ambientais, geográficas, legais e sociais.

De modo geral, os procedimentos envolvendo descontaminação ou estabili-

zação da área, podem ser classificados em dois grupos, em função dos princípios da metodologia empregada, segundo Accioly & Siqueira (2000) e Vangronsveld & Cunningham (1998):

- a) as técnicas de engenharia, como escavação e disposição do material contaminado em local adequado, lavagem, tratamento térmico ou eletrocinético do solo, vitrificação, recobrimento com camada asfáltica e ainda sua mistura com materiais solidificantes, como cimento;
- b) a fitorremediação envolve técnicas biológicas e químicas, como a fitoextração e a fitoestabilização, que implicam no uso de plantas e sua microbiota associada, de amenizantes de solo e de práticas agrônômicas que, aplicadas em conjunto, removem, imobilizam ou tornam os contaminantes menos disponíveis ao sistemas bióticos e aos recursos hídricos.

A remoção da camada contaminada ou adição de uma cobertura constituída de solo não contaminado, técnica genericamente conhecida por escavação, apresenta custo muito elevado e, portanto, só é viável em pequenas áreas. Também são de custo elevado e de grande intervenção no ambiente as demais técnicas de engenharia que visam à descontaminação ou simplesmente à imobilização dos metais, não sendo utilizadas em grandes áreas. Em função das limitações acima descritas, grandes esforços têm sido feitos por pesquisadores e empresas na identificação de técnicas viáveis de remediação de áreas mais amplas. A maioria das soluções encontradas, até o momento, pressupõe a utilização de plantas tolerantes e acumuladoras, nos processos de fitoextração e fitoestabilização.

A fitoextração consiste na remoção do contaminante por meio do cultivo e colheita da parte aérea de plantas capazes de acumular metais. Após cortadas, as plantas podem ser depositadas em locais adequados ou submetidas a processos de redução de sua biomassa como a compostagem, digestão e incineração, com subse-

qüente recuperação dos metais importantes (Hinchman et al., 1997). As plantas que acumulam metais são denominadas hiperacumuladoras e representam, sobretudo, espécies nativas, de pequeno porte, que evoluíram ou não em ambientes contaminados (Baker & Brooks, 1989). Os estudos com essas plantas ainda são recentes, não tendo sido verificado nenhum sítio reabilitado completamente por esse processo, uma vez que a capacidade máxima de acumulação verificada em vegetais chega a 100 - 200 mg metal kg⁻¹. solo. ano⁻¹ (Vangronsveld & Cunningham, 1998). Com base nisso e supondo um solo contendo 15.000 mg.kg⁻¹ de Zn, teoricamente, o tempo mínimo necessário para remover esse metal seria de, aproximadamente, 75 anos.

Outra técnica de fitorremediação de sítios contaminados por metais pesados e que se tem mostrado promissora para áreas mineradas e ao redor de indústrias metalúrgicas é a fitoestabilização, que combina o uso de amenizantes de solo e a introdução de espécies vegetais tolerantes ao estresse provocado pelo excesso de contaminantes metálicos. De acordo com Griffith et al. (1994), o êxito nos processos de revegetação dessas áreas impactadas está condicionado à correção da acidez ou alcalinidade, da fertilidade do solo e à adição de matéria orgânica, que darão condições para haver maior atividade microbiana e desenvolvimento vegetal.

A função dos amenizantes é converter as frações solúveis e trocáveis dos metais em formas mais estáveis (menos lábeis), diminuindo a biodisponibilidade e a toxicidade dos metais às plantas. A redução da disponibilidade desses elementos dá-se por reação direta de superfície, por efeito do pH ou por ambos, sendo que os processos envolvidos na estabilização são a precipitação, a humificação e as transformações redox. Os amenizantes incluem materiais comumente encontrados na agricultura, como calcário, gesso, fosfato e materiais ricos em matéria orgânica, sendo que as doses desses materiais requeridas para inativar os contaminantes metálicos normalmente são maiores que aquelas usadas para corrigir e fertilizar solos. Pesquisas

mais recentes têm investigado, ainda, outros materiais com potencial amenizante, incluindo argilas, diatomita, zeólitos, beringita e farpas de aço (Whitbread-Aburat, 1997 e Vangronsveld & Cunningham, 1998).

A aplicação de calcário pode reduzir a disponibilidade de metais para as plantas, devido à precipitação deles em valores de pH superiores a 6,0. Palatzky & Bergmann (1979), cultivando milho em substrato argilo-arenoso com altos níveis de Zn disponível, conseguiram reduzir a fração disponível desse metal no solo, bem como o conteúdo de Zn das plantas, por meio da adição de calcário, fertilizante fosfatado e turfa, sendo que os resultados obtidos no solo com calcário (que elevou o pH para 6,9) foram muito superiores em relação aos demais materiais. Os efeitos da aplicação de calcário em solo contaminado por metais pesados incluem a adsorção, a precipitação e a complexação pela matéria orgânica do solo, o aumento na biodisponibilidade de nutrientes e o aumento da atividade biológica.

Além da calagem, outros aditivos podem exercer influência nas formas e atividades dos contaminantes metálicos, reduzindo a disponibilidade desses elementos e interferindo positivamente na nutrição das plantas presentes nesses ambientes. Nesse aspecto, a aplicação de gesso tem sido indicada em solos ácidos que contêm excesso de metais, sobretudo de Al (Logan, 1992). Apesar de sua influência no pH do solo ser mínima ou inexistente, o gesso apresenta duas grandes características, que são o fornecimento de Ca em camadas subsuperficiais, devido à sua mobilidade no perfil do solo e à capacidade de precipitar cátions metálicos (como Al⁺³), ambos favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular de plantas (Pavan et al., 1984). Entretanto, Simão (1999) verificou que o gesso foi nocivo a plantas de sabiá (sansão-do-campo) em solo contaminado por altas concentrações de Zn, Cu, Pb e Cd, aumentando nitidamente o processo de fitotoxidez - foi verificada elevação na concentração desses metais na parte aérea. Isso sugere cautela na escolha desse ma-

terial como amenizante nas diversas situações de solo e espécies vegetais sob contaminação por metais pesados.

A incorporação de matéria orgânica pode auxiliar na redução do estresse provocado pela contaminação do solo por melhorar sua estrutura e capacidade de retenção de umidade, fornecer nutrientes, estimular a atividade microbiana e reduzir a mobilidade de cátions metálicos. Os materiais comumente utilizados variam desde aqueles ricos em substâncias húmicas, como composto, ácidos húmicos comerciais e turfa, até matéria orgânica não humificada, como esterco, camas de animais, serragem, cascas de madeira e palhas. A eficiência de um material orgânico a ser adicionado em áreas contaminadas está diretamente relacionada com a baixa solubilidade de complexos organo-metálicos de elevado peso molecular. Por outro lado, a adição de aditivos orgânicos ao solo pode provocar o aumento de frações disponíveis de metais para as plantas, devido à formação de complexos orgânicos solúveis, sendo esse comportamento mais acentuado em solos ácidos e com baixos teores de argila (Schnitzer, 1978).

As plantas utilizadas na fitorremediação, além de protegerem o solo de erosões hídrica e eólica, auxiliam na estabilização desses contaminantes, sobretudo por retenção na superfície radicular e pela absorção e acúmulo no interior das raízes. É muito difícil classificar os diferentes tratamentos quanto à sua eficiência, sendo necessário, entretanto, que as ações sejam coordenadas de modo que se permita a futura diversificação de espécies vegetais e a auto-sustentabilidade dos ecossistemas (Griffith et al., 1994).

No Brasil, a fitorremediação ainda é muito pouco explorada pelo fato de a maioria das espécies de plantas tolerantes conhecidas ser de clima temperado (Accioly & Siqueira, 2000). Algumas pesquisas com espécies arbóreas em áreas degradadas pela ação mineradora registram a potencialidade de leguminosas nodulíferas, como *Mimosa caesalpinifolia*, *Mimosa scabrella*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Acacia mangium*, *Acacia auriculiformis*, *Leucaena*

leucocephala, dentre outras, por adicionarem quantidades consideráveis de liteira com baixa relação carbono/nitrogênio, favorecendo a atividade microbiana do solo como um todo. Em situação de contaminação do solo por metais pesados, entretanto, os estudos com espécies arbóreas tolerantes são escassos, resumindo-se, principalmente, a avaliações de plântulas com semeio direto em substrato contaminado ou por meio do transplantio dessas espécies, cujas mudas foram produzidas em condições normais, isentas de contaminação. Ao estudarem 20 espécies de árvores nativas, Marques et al. (2000) verificaram, com base no ganho de matéria seca da parte aérea, que oito dessas espécies foram menos sensíveis ao excesso de metais no solo. Dentre estas, a sabiá tem apresentado bom desempenho, constituindo uma opção muito promissora para a fitorremediação de sítios contaminados, tendo em vista constituir uma leguminosa muito rústica, pioneira, resistente a déficit hídrico e nodulífera (Franco et al., 1995 e Simão, 1999).

A simbiose de plantas e fungos micorrízicos pode auxiliar na fitorremediação de áreas contaminadas. Esses fungos, além de facilitarem a solubilização e absorção de nutrientes, sobretudo de fósforo (P), podem auxiliar no processo de tolerância das plantas a condições de estresse, atenuando parte dos efeitos nocivos de alguns elementos em concentrações tóxicas. Dentre os vários estudos que abordam a participação dos fungos micorrízicos na tolerância de plantas a metais pesados, a maioria refere-se a fungos ectomicorrízicos (FEMs) e alguns a fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). Estes últimos, entretanto, requerem atenção especial nos processos de remediação, devido à sua simbiose não apresentar especificidade quanto ao hospedeiro, estando presentes na grande maioria das espécies de plantas fanerógamas. Alguns trabalhos têm demonstrado o "efeito protetor" de FMAs em espécies arbóreas submetidas a condições de estresse por níveis elevados de metais pesados no solo. Os mecanismos envolvidos na proteção das plantas a metais pesados, que

variam em função do fungo, da planta e dos metais, ainda não estão bem esclarecidos, podendo ser, em parte, devidos à promoção de uma maior retenção dos metais nas raízes e/ou a uma melhor condição nutricional da planta hospedeira (Nogueira, 1996).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, A.M.A.; SIQUEIRA, J.O. Contaminação química e biorremediação do solo. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.299-352.

AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; VELLOSO, A.C.X.; OLIVEIRA, C. de. Solubilidade de metais pesados em solo tratado com resíduo siderúrgico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.1, p.9-16, jan./mar. 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DA ALIMENTAÇÃO. **Compêndio da legislação de alimentos: consolidação das normas e padrões de alimentos**. São Paulo, 1985. Não paginado.

BAKER, A.J.M. Accumulators and excluders-strategies in the response of plants to heavy metals. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.3, p.643-654, 1981.

BAKER, D.E.; BROOKS, R.R. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements: a review of their distribution, ecology and phytochemistry. **Biorecovery**, v.1, p.81-126, 1989.

BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, C. H. Respuestas de las plantas a la contaminación por metales pesados. **Suelo y Planta**, Madrid, v.2, p.345-361, 1992.

BECKETT, P.H.T. Critical tissue concentrations as indicators of toxicity. **Suelos Ecuatoriales**, v.21, p.39-44, 1991.

BERGMANN, W. **Nutritional disorders of plants: development, visual and analytical diagnosis**. New York: G. Fischer, 1992. 741p.

CHANDER, K.; BROOKES, P.C. Effects of heavy metals from past applications of sewage sludge on microbial biomass and organic matter accumulation in a sandy loam and silty loam U. K. soil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.23, p.927-932, 1991.

_____; _____. Residual effects of zinc, copper and nickel in sewage sludge on microbial biomass in a sandy loam. **Soil Biology and Bioche-**

mistry, Oxford, v.25, p.1231-1239, 1993.

DAVIES, B.E.; JONES, L.H.P. Micronutrients and toxic elements. In: WILD, A. (Ed.). **Russell's soil conditions and plant growth**. New York: John Wiley, 1988. p.780-814.

EL-BASSAM, N. Spurenelemente: nährstoffe und gift zugleich. **Kali-Briefe**, v.14, p.255-272, 1978.

ERNST, W.H.O. Physiological and biochemical aspects of metal tolerance. In: MANSFIELD, T.A. (Ed.). **Effects of air pollutants on plants**. Cambridge: Cambridge University Press, 1976. p.115-133.

FRANCO, A.A.; DIAS, L.E.; FARIA, S.M.; CAMPELLO, E.F.; SILVA, E.M.R. Uso de leguminosas florestais noduladas e micorrizadas como agentes de recuperação e manutenção da vida do solo: um modelo tecnológico. In: ESTEVES, F. de A. (Ed.). **Estrutura, funcionamento e manejo de ecossistemas brasileiros**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1995. p.459-467. (Oecologia Brasiliensis, 1).

GRIFFITH, J.J.; DIAS, L.E.; JUICKSCH, I. Novas estratégias ecológicas para a revegetação de áreas mineradas no Brasil. In: SIMPÓSIO SUL AMERICANO DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1.; SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., 1994, Foz do Iguaçu. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1994. p.31-43.

GUY, R.D.; CHAKRABARTI, C.L. Studies of metal organic interventions in model systems pertaining to natural waters. **Canadian Journal of Chemistry**, Ottawa, v.54, p.2600-2611, 1976.

HINCHMAN, R.R.; NEGRI, M.C. Providing the baseline science and data for real-life phytoremediation applications: partnering for success. In: THIBEAULT, C. A.; SANAGE, L. M. Phytoremediation. Seattle: IBC, 1997.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRC Press, 1985.

KING, L.D. Soil heavy metals. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L. E.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: UFV, 1996. p.823-836.

KORCAK, R.F.; FANNING, D.S. Availability of applied heavy metals as a function of type of soil material and metal source. **Soil Science**, Balti-

more, v.140, n.1, p.23-34, July. 1985.

LOGAN, T.J. Reclamation of chemically degraded soils. *Advances in Soil Science*, New York, v.17, p.13-35, 1992.

MA, Y.B.; UREN, N.C. Transformations of heavy metals added to soil - application of a new sequential extraction procedure. *Geoderma*, Amsterdam, v.84, p.157-168, 1998.

MCBRIDE, M.D. *Environmental chemistry of soils*. New York: Oxford University, 1994. 406p.

MARQUES, T.C.L.L. de S. e M.; MOREIRA, F.M. de S.; SIQUEIRA, J.O. Crescimento e teor de metais de mudas de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado com metais pesados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.35, n.1, p.121-132, jan. 2000.

NOGUEIRA, A.V. As micorrizas e o excesso de metais. In: SIQUEIRA, J.O. *Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas*. Lavras: UFLA, 1996. p.135-174.

PALATZKY, A.; BERGMANN, W. Ein Beitrag zur Reduzierung von Zink-Überschußschäden auf einem mit Zink kontaminierten Boden. *Arch.*

Phytopat. Pflanzensch., v.15, p.131-141, 1979.

PAVAN, M.A.; BINGHAN, F.T.; PRATT, F.P. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian oxisol. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.48, n.1, p.33-38, Jan./Feb. 1984.

RIBEIRO-FILHO, M.R.; CURI, N.; SIQUEIRA, J.O.; MOTTA, P.E.F. da. Metais pesados em solos de área de rejeitos de indústria de processamento de zinco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.23, n.2, p.453-464, abr./jun. 1999.

SCHNITZER, M. Humic substances: chemistry and reactions. In: _____; KHAN, S.U. (Ed.). *Soil organic matter*. New York: [s.n.], 1978. p.1-64.

_____. Organic matter characterization. In: PAGE, A.L. (Ed.). *Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties*. 2.ed. Winsconsin: American Society of Agronomy, 1982. v.2, p.581-594.

SIMÃO, J.B.P. *Mitigação da fitotoxidez de metais pesados no solo, através do uso de*

materiais orgânicos e inorgânicos. 1999. 135f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SPOSITO, G.; LUND, L.J.; CHANG, A.C. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: I - fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.46, n.2, p.260-264, Mar./Apr. 1982.

STEVENSON, F.J. *Cycles of soil: carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients*. New York: John Wiley, 1986. 380p.

SWISS AGENCY FOR THE ENVIRONMENT, FORESTS AND LANDSCAPE. *Derivation of trigger and clean-up values for inorganic pollutants in the soil*. Berne, 1998. 103p. (Environmental Documentation, 83).

VANGRONSVELD, J.; CUNNINGHAM, S.D. *Metal contaminated soils: in situ inactivation and phytoremediation*. Georgetown: Springer, 1988. 265p.

WHITBREAD-ABRUTAT, P.H. The potential of some soil amendments to improve tree growth on metalliferous mine wastes. *Plant and Soil*, v.192, p.199-217, 1997.

PEDIDOS PELO TELEFAX (31) 3488-6688

R\$4,00

FORMAS DE PAGAMENTO
Depósito Bancário
 Banco do Brasil - Agência 1615-2 c/c 028063-1.
 Enviar cópia do comprovante de depósito, nome e endereço completos via fax (31) 3488-6688 ou para a Revista Informe Agropecuário Av. José Cândido da Silveira, 1647, CEP 31170-000 - Belo Horizonte - MG
Cheque nominal à EPAMIG
 Enviar para a sede da empresa no endereço acima

EPAMIG

GOVERNO DE MINAS GERAIS
 AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO

Recuperação de áreas degradadas por monocultivos extensivos

Eduardo Van Den Berg¹

Resumo - Os monocultivos estão entre as atividades que degradam maiores extensões de solo no mundo. No Brasil, eles têm ocupado áreas imensas, principalmente no Centro-Oeste, levando a impactos ambientais consideráveis. Apesar disto, conhece-se pouco sobre a recuperação dessas áreas. Serão apresentadas as principais formas de degradação ligadas aos monocultivos, assim como as estratégias para recuperação dessas áreas, com base na recuperação de florestas ciliares e áreas degradadas por mineração. O princípio básico da recuperação é a imitação do processo de sucessão natural, embora no Cerrado esta sucessão ocorra de forma diferente. Também é indicada a recuperação estrutural do solo, o aumento de sua matéria orgânica, a utilização de leguminosas fixadoras de nitrogênio e plantas que possuem micorrizas, todos estes processos favorecendo o processo sucessivo. A necessidade de utilizar espécies nativas da região na proporção e diversidade próximas a sua ocorrência natural e algumas técnicas de revegetação promissoras para o contexto de monocultivos, como o plantio em linhas alternadas de espécies pioneiras e não-pioneiras e a implantação de "ilhas" de vegetação, bem como a necessidade de desenvolver técnicas específicas para recuperação de áreas degradadas nas condições do Cerrado, são aqui enfatizadas.

Palavras-chave: Recuperação ambiental; Monocultura; Ecossistema natural.

Solo Monocultivos

INTRODUÇÃO

Quando se pensa em recuperação de áreas degradadas normalmente se imagina a recuperação de uma área que foi minerada, ou que sofreu corte ou aterro para construção de uma grande barragem ou algo similar. Embora tais tipos de impacto sejam de alta intensidade local, visualmente bastante ofensivos e de difícil recuperação, sua abrangência é bastante restrita. As atividades agropecuárias, apesar de frequentemente serem responsabilizadas pela destruição de áreas de vegetação natural, raramente são consideradas atividades degradadoras. Talvez, em parte, isto ocorra pela freqüente sinonimização do conceito de área degradada com o conceito de solo degradado. Especificamente no caso das grandes monoculturas, nas áreas de Cerrado, é difícil a aceitação da idéia de que a atividade agrícola pode degradar uma área.

Afinal, o produtor está melhorando o solo, através da correção de sua acidez, do aumento da disponibilidade de fósforo e de bases trocáveis e da elevação de sua produtividade. No entanto, o conceito de degradação de uma área, embora inclua a idéia da degradação do solo, vai além disso, engloba a deterioração da diversidade biológica e o rompimento dos processos ecológicos (Rodrigues & Gandolfi, 2000).

As atividades agropecuárias, em especial os monocultivos extensivos, estão atualmente entre as atividades humanas responsáveis pelas maiores extensões de áreas degradadas (Oliveira, 2000). Mesmo restringindo a degradação apenas ao aspecto do solo, verifica-se que esta é assustadora e preocupante. As áreas desertificadas e em desertificação vêm crescendo acentuadamente desde o século XX (Oliveira, 2000). Calcula-se que cerca de 60

a 100 mil hectares são desertificados por ano, correspondendo a 24 bilhões de toneladas/ano de solo, US\$ 26 bilhões/ano de perdas e US\$ 90 bilhões de custo diluído em 20 anos de recuperação. A área afetada atualmente pela desertificação corresponde a 36 milhões de km², distribuídos em 110 países. A área ameaçada pela desertificação é de cerca de 45 milhões de km², em 150 países, afetando em torno de um bilhão de pessoas. As razões desta desertificação estão ligadas principalmente ao uso agrícola intensivo e superpastoreio não sustentáveis (Saadi, 2000). As perdas de solo no mundo, devido a atividades agrícolas, são absurdas e muito acima do seu desgaste natural. Se o conceito de área degradada for ampliado para o seu real significado, indo além da simples degradação do solo, o quadro torna-se ainda mais aterrador.

¹Eng^o Agr^o, D.Sc., Prof. UFLA, Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras-MG.

Apesar da escala impressionante do problema de degradação de áreas por monocultivos, a literatura é particularmente escassa em trabalhos ligados a sua recuperação. A maior parte dos estudos feitos para as condições brasileiras corresponde à recuperação de matas ciliares e áreas mineradas. Assim, por força das circunstâncias, as diretrizes e estratégias apresentadas aqui constituem um esforço em adequar as técnicas desenvolvidas para outras situações à condição específica da degradação de áreas por monocultivos.

Os monocultivos típicos caracterizam-se por ocupar áreas extensas e ininterruptas de solo e por utilizar 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. Uma das conseqüências disso é que tais etapas do cultivo são aplicadas de forma quase instantânea a uma enorme área, incrementando o potencial impactante dessas atividades. Assim, por exemplo, quando se prepara uma extensa área para o plantio de soja, instantaneamente todo o ecossistema é modificado, com a destruição da cobertura vegetal e o revolvimento do solo.

Sem dúvida, o maior impacto ambiental de um monocultivo ocorre no momento da abertura da área para o primeiro cultivo. No entanto, isto não significa que impactos posteriores, ligados às etapas seguintes do cultivo e cultivos posteriores não possam ocorrer.

Dentro do contexto atual, este artigo pretende analisar quais são os tipos de degradação ambiental gerados por monocultivos e discutir estratégias de recuperação das áreas impactadas. Optou-se pela não apresentação de técnicas detalhadas e pacotes tecnológicos fechados, mas sim pela discussão dos princípios e estratégias que direcionam a arte da recuperação de áreas degradadas (RAD), aplicados ao contexto dos impactos causados por monocultivos.

PRINCIPAIS TIPOS DE DEGRADAÇÃO

É essencial para o estabelecimento das

estratégias de recuperação, a compreensão dos processos de degradação (Rodrigues & Gandolfi, 2000). Neste tópico serão enfatizados os efeitos de monocultivos típicos, entendendo-se por isto aqueles que utilizam maquinário pesado, que dependem da aração e da gradagem e que utilizam elevadas quantidades de insumos. Embora alternativas a este sistema tradicional venham crescendo no setor agropecuário, este sistema ainda predomina na realidade brasileira.

Solo

Os principais impactos causados ao solo por monocultivos serão analisados em relação à sua estrutura, propriedades químicas, matéria orgânica e biota. Embora analisados separadamente, por razões didáticas, estas propriedades são profundamente inter-relacionadas, sendo que, freqüentemente, a modificação de uma delas afeta as demais em maior ou menor grau.

Estrutura

As propriedades físicas do solo responsáveis pela sua estrutura são as mais perceptivelmente impactadas por monocultivos. Os principais impactos causados, principalmente através da acentuada mecanização dos processos, são: desagregação do solo; diminuição dos macroporos e aumento dos microporos, levando à redução da aeração, da capacidade de retenção de água e da infiltração (Alvarenga & Davide, 1999, Alvarenga et al., 1999, Daniels, 1994, Motta Neto, 1996 e Resck & Silva, 1998); inversão dos primeiros 30cm ou 40cm do solo; exposição do solo ao impacto direto da chuva, do sol e do vento, aumentando os processos de erosão hídrica e eólica; com a continuidade do monocultivo na área e repetição das atividades de cultivo também ocorre a formação camadas impermeáveis subsuperficiais (pé-de-grade e pé-de-arado), que diminuem a infiltração e penetração das raízes e aumentam a erosão (Dedecek, 1992).

Os processos erosivos decorrentes da ocupação de extensas áreas dos Cerrados brasileiros por monocultivos têm gerado impactos ambientais impressionantes

(Durigan, 1996 e Resck & Silva, 1998). Em visitas à região Centro-Oeste é comum observar-se a formação de extensas nuvens de poeira na época da seca, resultado da desagregação dos solos. Também é visível, em algumas regiões, como os limites do Pantanal Mato-Grossense, o acentuado assoreamento dos rios da região, mudando os seus cursos e alagando áreas anteriormente não inundadas (Resck & Silva, 1998), o que leva à morte da vegetação nativa.

Matéria orgânica

A matéria orgânica do solo é essencial à manutenção de sua integridade, produtividade e sustentabilidade do sistema. Em um ecossistema natural, a matéria orgânica é uma das etapas da ciclagem de nutrientes. A decomposição lenta da matéria orgânica pela biota do solo e a intrincada rede de sistemas radiculares presentes em ecossistemas naturais levam a uma ciclagem de nutrientes extremamente eficiente (Maschio et al., 1992). A biota do solo (micro e macroorganismos que dependem da matéria orgânica para a sua manutenção) é uma das partes mais importantes da grande diversidade de organismos das formações vegetais tropicais (Sautter, 1996). A presença de matéria orgânica também é importante para aumentar a retenção de água, a capacidade de retenção de cátions, além de melhorar a agregação do solo (Motta Neto, 1996 e Williams et al., 1990).

A transformação de um ecossistema natural em monocultivo leva ao rompimento do ciclo da matéria orgânica e das condições que promovem este ciclo. Além disso, ocorre a redução dos níveis de matéria orgânica, devido à exposição ao sol e à chuva (Alvarenga et al., 1999 e Dedecek, 1992). Entre as principais conseqüências desse processo estão a acentuada redução da diversidade e modificação da composição da biota do solo (Sautter, 1996) (às vezes favorecendo patógenos e pragas), a redução da capacidade de infiltração, armazenamento de água e retenção de cátions, a desestruturação dos solos, isto tudo levando a um aumento da erosão e lixiviação de nutrientes (Dedecek, 1992).

Nutrientes

Em um sistema natural, devido à diversidade de sistemas radiculares, à presença de matéria orgânica e à estrutura bem condicionada do solo, a eficiência de ciclagem de nutrientes costuma ser bastante alta. Principalmente em regiões tropicais, onde normalmente os solos são bastante intemperizados e, conseqüentemente, pobres em nutrientes, esta ciclagem eficiente é essencial à manutenção dos ecossistemas (Restom & Nepstad, 1994).

O rompimento desse sistema leva ao aumento das perdas de nutrientes, que, com a correção e a adubação do solo, podem promover a eutrofização de cursos d'água (Resck & Silva, 1998), levando ao comprometimento daqueles ecossistemas. Além do mais, embora a correção e adubação do solo no geral aumentem a quantidade de bases trocáveis e aparentemente melhorem o solo, por outro lado, as condições ambientais são freqüentemente tão modificadas que se torna impossível, caso se deseje (existem casos em que isto é interessante), a recomposição da vegetação nativa original, pelo menos a curto prazo. Isto é particularmente verdade em solos naturalmente pobres, como é a maior parte dos solos de Cerrado (Alvarenga & Davide 1999, Durigan, 1996 e Morretes, 1992).

Biota do solo

Como já foi visto, a comunidade de macro e microorganismos presentes no solo é estreitamente dependente da matéria orgânica. Também a diversidade e sobrevivência destes organismos são altamente dependentes da comunidade de plantas existentes ali, seja pelas várias associações aos sistemas radiculares, seja pela diversidade de material orgânico produzido pelas plantas (Alvarenga, et al. 1999). As inúmeras relações dos organismos do solo entre si, entre estes e a comunidade de plantas e entre estes e o seu meio (sem falar dos outros organismos não-vegetais, tais como insetos, aves e mamíferos) são responsáveis pela composição e equilíbrio ecológico da vida no solo. Os monocultivos tradicionais rompem estas relações de uma forma devastadora, reduzindo drasticamente a

diversidade destes organismos (Alvarenga et al., 1999). Assim, ocorre o comprometimento da decomposição eficiente da matéria orgânica e da ciclagem de nutrientes, aumentando as perdas destes e as conseqüências desses processos.

Lençol freático e cursos d'água

Um dos impactos importantes provocados pelos monocultivos é a eutrofização de cursos d'água. Esta eutrofização, simplificada, é a proliferação excessiva de organismos, devido ao aumento da quantidade de nutrientes dissolvidos na água, em particular o fósforo (P) e o nitrogênio (N), levando ao consumo do oxigênio da água, o que resulta, entre outras coisas, na mortandade de peixes. A eutrofização tem-se tornado um processo preocupante em áreas altamente cultivadas (Resck & Silva, 1998).

Além da eutrofização, os cursos d'água em áreas de monocultivo são freqüentemente vítimas do carreamento de sedimentos advindos da erosão do solo (Rezende, 1998). Estes sedimentos não só assoreiam os cursos d'água (o que modifica a sua conformação original), mas, quando em suspensão, mudam as propriedades originais da água destes, modificando o pH, a transparência, a produtividade etc. (Resck & Silva, 1998). Estas modificações afetam o habitat das espécies originais daquelas comunidades, podendo levá-las à extinção ou redução de suas populações.

Plantas e animais

O impacto mais visível de um monocultivo é a simplificação da comunidade de plantas e animais existente ali originalmente. Freqüentemente, estas comunidades compõem-se de centenas, às vezes de milhares, de espécies diferentes e intimamente associadas entre si (Whitmore, 1990 e Mendonça et al., 1998). Com a instalação do monocultivo, forma-se uma comunidade composta basicamente por uma única espécie vegetal, que quase sempre é exótica. As poucas outras espécies de plantas que possam aparecer ali são consideradas invasoras e combatidas tenazmente. O impacto na comunidade vegetal reflete-

se fortemente na comunidade de animais, já que a cadeia trófica (alimentar) inicia-se pelas plantas (os únicos organismos naquele ambiente capazes de fixar a energia solar). A extinção local das espécies vegetais invariavelmente leva à extinção da comunidade de animais dependente daquelas plantas (Silva, 1992 e Whitmore, 1990).

Uma das conseqüências mais conhecidas desse impacto, é que se costumam instalar naquelas áreas organismos exóticos, ou mesmos nativos da área, que se encontram adaptados às novas condições. Estes organismos, ao encontrar alimento abundante (monocultivo) e livres do controle de seus predadores naturais (extintos localmente ou talvez nunca presentes ali anteriormente), apresentam explosões populacionais e causam danos volumosos, acarretando prejuízos e/ou gastos com agrotóxicos. Freqüentemente estes agrotóxicos, devido ao seu mau uso, apenas pioram a situação, visto que podem destruir inimigos naturais que porventura ainda possam estar ali, e ainda selecionar indivíduos resistentes das pragas, levando ao ressurgimento desta com força dobrada (Begon, 1996).

Outro impacto negativo, ligado à redução da diversidade biológica, é a redução da eficiência do sistema no aproveitamento de recursos. A simplificação do sistema na forma de um monocultivo leva à homogeneização da rede de raízes, implicando, por um lado, na superexploração de determinados recursos em determinadas profundidades (alguns nutrientes, por exemplo), por outro, na perda de elementos, em particular nutrientes, devido à incapacidade de determinadas plantas de absorvê-los ou retê-los. O mesmo se aplica às copas das plantas e ao aproveitamento da energia luminosa. Diversos trabalhos têm mostrado que florestas tropicais são muito mais eficientes na utilização da luz e nutrientes do que monocultivos (Whitmore, 1990).

ESTRATÉGIAS DE RECUPERAÇÃO

Um dos consensos em relação às técnicas de RAD é que elas devem ser sempre empregadas no contexto de microbacias

(Gandolfi & Rodrigues, 1996, Kageyama & Gandara, 2000 e Rodrigues & Gandolfi, 2000). Os processos ecológicos em uma microbacia são altamente interdependentes e raramente podem ser isolados. Assim, o planejamento da RAD em nível de microbacia implica em maior eficiência do processo e redução dos seus custos.

Sucessão ecológica

Quando uma comunidade vegetal natural sofre algum tipo de impacto, seja ele natural, seja ele antrópico, normalmente ocorre o processo conhecido como sucessão ecológica. Este processo inicia-se pela chegada na área de espécies colonizadoras de plantas. Estas primeiras espécies caracterizam-se, por produzir uma grande quantidade de sementes (ligada à estratégia de colonizar áreas novas), por crescer, reproduzir-se e morrer rapidamente. Com a chegada destas primeiras espécies, o ambiente vai-se modificando; a diversidade de plantas aumenta, assim como a fauna associada; a matéria orgânica vai-se acumulando e variáveis ambientais vão-se modificando. Um exemplo disso é o aumento freqüente do sombreamento em florestas. Com o aumento da complexidade da comunidade, também ocorre o aumento da competição por recursos (por exemplo, a luz) sendo que aquelas espécies iniciais, com estratégia colonizadora, vão dando lugar àquelas com maior capacidade competitiva. O processo de sucessão é justamente isto, a mudança gradual da composição de espécies ligadas às suas diferentes estratégias de sobrevivência, seja colonização, seja maior capacidade competitiva (Denslow, 1987 e Whitmore, 1990). A terminologia na literatura para denominação destes grupos com diferentes estratégias é extremamente confusa (Swaine & Whitmore, 1988). Em termos de comunidades florestais, as primeiras espécies são freqüentemente denominadas pioneiras. Já as espécies posteriores recebem denominações diversas, sendo chamadas de secundárias, secundárias iniciais, secundárias tardias, clímax, entre outros. Parece que o único grupo mais claramente definido é o das pioneiras, que são aquelas espécies

que colonizam inicialmente as áreas e investem muito mais em reprodução e capacidade dispersiva do que em capacidade competitiva (Barbosa, 2000, Clark & Clark, 1992 e Kageyama & Gandara, 2000). As espécies que aparecem posteriormente na área, normalmente são difíceis de ser divididas em subgrupos, por seguirem mais ou menos um contínuo em termos de capacidade competitiva, principalmente em relação ao aproveitamento da luz. Neste artigo serão adotados somente dois grupos, pioneiras e não-pioneiras.

Normalmente, a sucessão é abordada e mais bem estudada em relação a florestas. No entanto, a sucessão também ocorre em diversos outros ecossistemas. No contexto dos monocultivos no Brasil, também deve ser entendido o processo de sucessão na vegetação do Cerrado. O Cerrado é uma vegetação normalmente aberta, com altos níveis de insolação (exceto o chamado "cerradão", que é uma fisionomia florestal), onde predominam plantas heliófilas (Durigan, 1996). Sendo assim, a sucessão neste ecossistema não é governada prioritariamente pela luz, como é o caso das florestas. Ela é determinada por outros fatores ambientais, como o fogo, acúmulo de matéria orgânica etc. (Moreira, 1996). Também no caso do Cerrado, embora de forma menos conhecida, existem plantas colonizadoras, que invadem a área inicialmente, e plantas que chegam posteriormente e enfrentam competição mais intensa.

Com a continuidade do processo de sucessão (em florestas ou Cerrados), há uma tendência de a comunidade voltar a um estado próximo ao original (antes do impacto), a diversidade de organismos aumenta, assim como o acúmulo de matéria orgânica, a eficiência do sistema no uso de nutrientes e água e ainda ocorre a reestruturação do solo (Britez et al., 1992, Carneiro, 2000 e Whitmore, 1990). Quando a perturbação é local e pouco intensa, o processo de sucessão é mais rápido e menos complicado, visto normalmente já existirem, na área, propágulos (sementes e partes vegetativas vivas) das plantas da comunidade original, e o ambiente (composição química e estrutura do solo, matéria

orgânica etc.) não estar profundamente modificado. Este tipo é denominado sucessão secundária. Se a perturbação é muito intensa, os propágulos são destruídos e as condições ambientais modificadas, o processo torna-se mais demorado e complicado, dependendo totalmente da chegada de propágulos de outras áreas, bem como da modificação gradual do ambiente existente. Este tipo normalmente é denominado sucessão primária (Begon, 1996).

As estratégias de recuperação de áreas degradadas são extremamente variáveis e, às vezes, mais empíricas do que cientificamente testadas (Gandolfi & Rodrigues, 1996). No entanto, existe um consenso de que este processo (quando objetiva o retorno da comunidade original) deve procurar imitar o processo natural de sucessão ecológica (Barbosa et al., 1992, Barbosa & Barbosa, 1998, Barbosa, 2000, Gandolfi & Rodrigues, 1996, Griffith et al., 1994, Kageyama & Gandara, 2000, Kageyama & Mendes, 1996, Kageyama et al., 1992, Rodrigues & Gandolfi, 2000 e Seitz, 1994). Assim, normalmente as técnicas de recuperação de áreas degradadas consistem em estratégias que visam favorecer e acelerar o processo de sucessão. Em termos de monocultivos, isto não é diferente, e as estratégias e técnicas apresentadas a seguir para recuperação dessas áreas não só procuram otimizar o processo de sucessão, como também visam inverter os efeitos danosos apresentados nos parágrafos anteriores.

Quando uma área de cultivo é abandonada, logo aparecem diversas plantas consideradas invasoras ou daninhas (Durigan, 1996). Na verdade, estas plantas constituem o início do processo de sucessão na área. Estas plantas são as colonizadoras ou pioneiras. É provável que a forma mais barata e simples de recuperar uma área degradada por monocultivo seja simplesmente abandoná-la e protegê-la contra impactos posteriores como fogo, pisoteio pelo gado etc. (Seitz, 1996). Naturalmente, nesta área irá ocorrer o processo de sucessão e os benefícios que ele traz em termos de diversidade biológica e solo (Britez et al., 1992). No entanto, muitas vezes este

processo é bastante moroso e, dependendo do caso, até impedido, devido à excessiva degradação do solo ou ausência de propágulos das plantas nativas (Gandolfi & Rodrigues, 1996). Nestes casos, existem técnicas que serão abordadas a seguir, que podem viabilizar e/ou acelerar a sucessão (Seitz, 1996).

Recuperação estrutural do solo

Um dos maiores empecilhos ao processo de sucessão é a excessiva compactação do solo, seja ela superficial, seja ela mais profunda. Esta compactação diminui a retenção de água no solo, que, em alguns casos, pode ser limitante ao estabelecimento da comunidade vegetal (é o exemplo de áreas de mineração que sofreram trânsito contínuo de maquinário pesado) (Daniels, 1994). Raramente uma área degradada por monocultivos pode chegar a este nível de compactação, no entanto, é comum a formação do pé-de-grade ou do pé-de-arado, uma camada compactada a cerca de 20-30cm de profundidade, que desfavorece o desenvolvimento radicular e a infiltração, além de aumentar a erosão laminar (Resck & Silva, 1998).

Uma das indicações para a solução deste problema é iniciar-se a recuperação da área com uma subsolagem profunda (Durigan, 1996 e Williams et al., 1990). Também, posterior à subsolagem, podem-se introduzir certas espécies vegetais que possuem sistemas radiculares vigorosos e profundos, que podem ser utilizados com intuito de romper esta camada impermeável. Existem algumas leguminosas que potencialmente podem exercer este papel (Macedo, 1992).

Uma outra prática importante no início do processo é o controle erosivo (pluvial ou eólico), que remove a camada de solo mais propícia ao estabelecimento da comunidade. Técnicas tradicionais de conservação de solo, tais como terraços, podem ser utilizadas. No entanto, a estratégia mais importante é a de promover o mais rápido possível o recobrimento do solo pela vegetação (Williams et al., 1990). Isto diminui a velocidade da água sobre o solo, redu-

zindo o carreamento de sedimentos, e impede o impacto direto da chuva na superfície. Além do mais, o recobrimento do solo reduz enormemente a erosão eólica.

Freqüentemente tem sido indicada a utilização de gramíneas para promover este recobrimento inicial do solo. É comum recomendar o capim-gordura (*Melinis minutiflora*) na recuperação de áreas degradadas. Realmente algumas destas plantas, devido a sua agressividade e baixas exigências nutricionais, promovem este recobrimento com sucesso, além de aumentar rapidamente o teor de matéria orgânica no solo. Um outro benefício das gramíneas é que o seu sistema radicular tipicamente fasciculado (em cabeleira) é um excelente agregador de solo. Por outro lado, na maioria dos casos, estas plantas são exóticas (africanas em geral) e, devido a sua agressividade, impedem ou retardam o estabelecimento das espécies nativas da área, necessitando, para que isto ocorra, do controle artificial destas gramíneas, o que aumenta o custo da recuperação (Durigan, 1996, Gandolfi & Rodrigues, 1996, Griffith et al., 1994 e Morosini & Klink, 1997). No caso em que a comunidade a ser recuperada é de porte arbóreo, se a competição inicial for superada (através do controle artificial, por exemplo), o próprio sombreamento causado pelas árvores encarregar-se-á de eliminar, posteriormente, as gramíneas (Williams et al., 1990). Outras espécies de ciclo curto ou menos agressivas podem ser utilizadas, ou pode-se optar pelo recobrimento do solo por restos de cultura e capim ceifado de áreas vizinhas. No entanto, como nunca existem soluções perfeitas, deve-se avaliar sempre o balanço entre eficiência de cobertura, dificuldade de controle, efeito sobre a comunidade posterior e custo.

Retorno da matéria orgânica para o solo

Um passo essencial na recuperação de qualquer área degradada e, em particular, de áreas degradadas por monocultivos é o aumento do teor de matéria orgânica no solo. Como já foi visto, isto é importante para aumentar a diversidade de organismos, restabelecer a vida no solo, melhorar a re-

tenção de água e nutrientes e reestruturar o solo.

Em áreas mineradas, uma das técnicas mais bem estabelecidas e eficientes de recuperação é a remoção da camada superficial do solo, com a serrapilheira, e posterior redistribuição deste material sobre áreas que já foram mineradas (Williams et al., 1990). Este processo tem a função de preservar a camada mais superficial do solo, onde as condições de desenvolvimento das plantas são melhores para reintroduzir os propágulos da comunidade original (presente no solo) e, finalmente, retornar ao sistema a matéria orgânica que fatalmente se perderia. Infelizmente, no caso de monocultivos, tal processo é impossível, já que é justamente esta camada superficial que é explorada comercialmente e não o subsolo. Uma outra opção seria a introdução de matéria orgânica de fora do sistema (esterco, composto orgânico etc.), mas, normalmente, isto é economicamente inviável, devido às enormes extensões das áreas. Assim, a única opção prática seria a produção da matéria orgânica *in situ* (Motta Neto, 1996). Como já foi visto, isto poderia ser feito através da utilização de gramíneas, apesar dos problemas. Uma outra opção interessante seria a utilização de leguminosas (Franco et al., 1994 e Macedo, 1992). Estas plantas, embora freqüentemente não tão eficientes no recobrimento das áreas como é caso das gramíneas, têm a vantagem de possuir sistemas radiculares muitas vezes profundos, além de fixarem N através de simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*. Este último efeito é muito importante, já que o N costuma ser um dos fatores limitantes no processo de sucessão (Campello, 1996, 1999, Daniels, 1994 e Dias, 1996). Uma outra vantagem das leguminosas é o fato de serem mais fáceis de controlar, sendo inclusive muitas delas de ciclo anual. A menor agressividade destas plantas e seu efeito sobre o solo (matéria orgânica e N) facilitam o estabelecimento de outras plantas no processo de sucessão.

Instalação da vegetação

Como já foi visto, o processo de sucessão pode ocorrer naturalmente em uma área

pela colonização desta por plantas pioneiras. No entanto, este processo pode ser potencializado ou direcionado de modo que venha a recuperar mais rapidamente a área. Em alguns casos, quando, por exemplo, não existem fragmentos de vegetação natural próxima à área, é necessária a intervenção humana ativa, no sentido de solucionar tal problema (Gandolfi & Rodrigues, 1996 e Poggiani, 1996). As técnicas descritas de recuperação da estrutura do solo e aumento de sua matéria orgânica, certamente contribuem para a aceleração da sucessão.

É importante também verificar as condições químicas do solo. Em alguns casos, a escassez de certos nutrientes ou a presença de contaminantes pode ser limitante à sucessão. O N e o P são os nutrientes mais comumente limitantes ao estabelecimento da comunidade vegetal (Daniels, 1994 e Macedo, 1992). Por isso, muitas vezes as leguminosas são tão importantes no início do processo de sucessão (Franco et al., 1994). É interessante também a instalação de plantas que se associam com fungos micorrízicos. As plantas que possuem micorrizas são potencialmente mais capazes de estabelecer-se em solos pobres em P ou onde este nutriente está imobilizado (Campello, 1996, 1999, Dias, 1996, Gaiad, 1996 e Maschio et al., 1992).

As características químicas do solo devem ser avaliadas na perspectiva da comunidade que se pretende ter ali no futuro (provavelmente similar à original, antes do monocultivo). Isto é muito diferente da avaliação da fertilidade com o objetivo de cultivo comercial. Por exemplo, se originalmente a área era coberta por cerrado, a correção da acidez do solo ou neutralização dos elevados níveis de alumínio é desaconselhável (Durigan, 1996). Neste caso, para que a vegetação seja instalada com sucesso, talvez seja mais importante a reconstrução da estrutura do solo, com aumento da capacidade de infiltração e possibilidade de penetração das raízes. As plantas de cerrado normalmente são adaptadas a elevados teores de acidez e presença de alumínio, mas também possuem sistemas radiculares profundos, crescendo

em solos bastante permeáveis (Reatto et al. 1998).

A sucessão natural pode ser limitada pela chegada de propágulos na área (Gandolfi & Rodrigues, 1996). Isto pode acontecer pela ausência de fragmentos de vegetação natural nas proximidades, ou pela ineficiência dos agentes dispersores fora destes fragmentos (Poggiani, 1996 e Seitz, 1996). Embora muitas espécies colonizadoras sejam frequentemente dispersas pelo próprio vento (como por exemplo as plantas das famílias Graminae e Asteraceae), a grande maioria das espécies, pelo menos no caso de florestas, é dispersa por animais, principalmente por aves. Estas espécies animais raramente deixam as áreas de vegetação natural, limitando, assim, a dispersão das espécies de plantas. A instalação de poleiros para aves em áreas degradadas de forma que venham a atrair dispersores das espécies vegetais tem-se mostrado uma técnica interessante (Melo, 1997).

Depois do início do processo de sucessão, quando já existe na área vegetação de porte arbustivo ou arbóreo, ocorre um aumento da presença de animais dispersores. Assim, o período mais limitante e demorado no estabelecimento da vegetação é o inicial, quando não só as condições ambientais são limitantes, mas também há ausência de dispersores. Uma forma de acelerar diretamente este processo, além da melhoria das condições ambientais é a dispersão artificial de propágulos, principalmente das espécies pioneiras. Neste caso, deve-se dar preferência às espécies que produzem frutos atrativos às aves, de forma que estas possam trazer propágulos de outras espécies para a área a ser recuperada (Reis et al., 1996). A dispersão artificial de propágulos foi utilizada com bastante sucesso na recuperação das encostas da Serra do Mar, quando a vegetação foi destruída pelos poluentes emitidos no distrito industrial de Cubatão. Este método também tem sido indicado em conjunto com outros na recuperação de áreas degradadas por mineração (Santos Júnior, 2000 e Williams et al., 1990).

O plantio direto de mudas no campo tem sido muito utilizado na RAD. Em áreas

pouco extensas ele é viável e, desde que realizado obedecendo a princípios técnicos corretos, acelera em muito o processo de sucessão. Já em áreas muito extensas, o custo deste processo pode ser proibitivo, no entanto, ele pode ser utilizado de forma localizada nos pontos onde há a necessidade de recuperação mais rápida e eficiente. Por exemplo, pode ser utilizado na recuperação de matas ciliares e matas de cabeceiras de mananciais. Os princípios técnicos citados referem-se ao processo de imitação da sucessão ecológica natural, ou seja, dar preferência inicialmente às espécies pioneiras, só depois introduzindo espécies não-pioneiras (Barbosa & Barbosa, 1998, Barbosa, 2000 e Gandolfi & Rodrigues, 1996).

Vários esquemas têm sido adotados no plantio de mudas de espécies arbóreas (Barbosa & Barbosa, 1998 e Barbosa, 2000). Na maioria dos casos, as recomendações são com base no princípio de imitação do processo de sucessão. Em um primeiro caso, plantam-se inicialmente mudas de espécies pioneiras e, quando já ocorreu pelo menos parcialmente o fechamento da vegetação, entram-se com as espécies não-pioneiras. Uma segunda opção é plantarem-se ao mesmo tempo mudas de espécies pioneiras e não-pioneiras, sendo as primeiras em maior quantidade. Um dos problemas que ocorre no segundo caso é que, como as espécies não-pioneiras crescem mais lentamente, elas correm mais riscos de serem abafadas pela vegetação herbácea que possa existir na área (gramíneas por exemplo). Quando as mudas de espécies pioneiras são plantadas antes, elas de certa forma resolvem este problema, através do sombreamento da vegetação herbácea e conseqüente eliminação ou redução desta (Poggiani, 1996 e Santos Júnior, 2000). A vantagem da segunda opção é geralmente operacional e em termos de custo, desde que não seja necessário voltar à área uma segunda vez, e o plantio das espécies não-pioneiras é facilitado pela não-existência de uma vegetação já formada no local. No entanto, a primeira opção é mais próxima da sucessão natural. No caso do plantio concomitante de espécies pioneiras e não-

pioneiras, normalmente as plantas são distribuídas em módulos onde uma não-pioneira, do final do processo de sucessão, é rodeada de plantas de espécies pioneiras. Estes módulos podem ter forma e espaçamento variados, mas o princípio é basicamente o mesmo.

Os trabalhos de Gandolfi & Rodrigues (1996), Kageyama & Gandara (2000) e Rodrigues & Gandolfi (2000), embora produzidos para o contexto de RAD em matas ciliares, detalham técnicas bastante interessantes para a aplicação no caso de áreas degradadas por monocultivos e valem a pena ser consultados. Um dos aspectos interessantes destes trabalhos é que eles têm embasamento experimental. Entre os modelos propostos, o plantio das espécies em linhas alternadas de pioneiras e não-pioneiras é bastante promissor, devido à facilidade de mecanização das etapas, o que permite redução do custo e implantação em áreas mais extensas. Outro modelo interessante é a formação de "ilhas" de colonização (Griffith et al., 1994). Em condições naturais, tem sido observado que, frequentemente, a revegetação de uma área ocorre a partir de grupos de árvores e mesmo de árvores isoladas presentes originalmente ali. Estas "ilhas" de vegetação atraem dispersores e propiciam condições adequadas para a germinação de outras plantas, levando à expansão gradual das "ilhas". O modelo de "ilhas" é a imitação deste processo natural, onde os módulos descritos funcionariam como núcleos de expansão e colonização da área. Uma alternativa seria o plantio ou semeadura de pioneiras entre os intervalos das "ilhas", apressando, assim, o processo de revegetação. Estes modelos foram idealizados para áreas anteriormente cobertas por florestas, mas é possível que, com as devidas modificações, possam ser aplicados em áreas de cerrado (Durigan, 1996).

Um cuidado que se deve ter, tanto na dispersão artificial de sementes como no plantio de mudas, é a escolha de espécies nativas das áreas de ecossistemas naturais da região (Barbosa et al., 1992, Barbosa, 2000, Gandolfi & Rodrigues, 1996, Kageyama & Gandara, 2000 e Williams et

al., 1990). Este cuidado implica em:

- a) reconstituição mais próxima do ecossistema original, implicando no restabelecimento mais completo das relações ecológicas e das funções do ecossistema;
- b) maior chance de sucesso na reconstituição do ecossistema, desde que as espécies provavelmente estejam mais bem adaptadas à área;
- c) menor chance de introdução de alguma espécie exótica que possa por algum motivo, tornar-se dominante na área, dificultando a continuidade da sucessão e comprometendo o restabelecimento do ecossistema original.

Deve-se sempre almejar uma vegetação com alta diversidade (isto traz estabilidade ao sistema e é normalmente mais próximo do original) e obedecer a proporção natural de ocorrência das espécies, implantando mais indivíduos das espécies naturalmente mais abundantes e poucos indivíduos das espécies mais raras (Barbosa & Barbosa, 1998, Barbosa, 2000, Gandolfi & Rodrigues, 1996, Kageyama & Gandara, 2000 e Kageyama & Mendes, 1996). É importante também analisar como o processo de sucessão ocorre localmente. Sempre é possível encontrar-se na região de implantação do projeto de RAD uma área em processo de sucessão. A observação deste laboratório natural pode ensinar importantes lições para a definição do processo. Por exemplo, quais espécies pioneiras poderiam ser utilizadas ou qual a seqüência de espécies que ocorrem normalmente (Kageyama et al., 1992).

Planejamento estratégico da recuperação das áreas degradadas

Nem todas as técnicas ou estratégias são igualmente aplicáveis a qualquer situação. Em particular, no caso de monocultivos, os impactos negativos ocorrem de forma desuniforme na área. Alguns impactos são mais generalizados e homogêneos na área, como, por exemplo, a redução da diversidade biológica e eliminação de pro-

págulos da comunidade original. Já outros impactos ocorrem mais intensamente em alguns locais do que em outros. Assim, por exemplo, determinadas áreas, devido à declividade, tipo de solo ou manejo, podem ter sofrido mais ou menos erosão ou maior ou menor compactação do que outras. Por outro lado, algumas áreas podem ser mais prioritárias do que outras, em termos de sua recuperação. Como já foi visto, frequentemente matas ciliares e de cabeceiras são prioritárias na recuperação, devido ao seu impacto positivo nos recursos hídricos.

Assim, a primeira providência a ser tomada na recuperação de uma área é o planejamento estratégico deste processo (Gandolfi & Rodrigues, 1996 e Rodrigues & Gandolfi, 2000). Necessita-se inicialmente de um mapeamento detalhado da área, definindo-se os impactos existentes e suas intensidades, as áreas prioritárias de recuperação, as áreas que continuarão no processo produtivo e aquelas que serão destinadas à recuperação do ecossistema original. A partir deste mapeamento serão definidas as estratégias e técnicas adotadas para cada situação específica, maximizando a eficiência do processo e minimizando os custos (Fig. 12).

Avaliação

Cada situação de RAD é uma nova situação, visto que a vegetação, solo, tipo e nível de impacto, entre outras coisas, são extremamente variáveis. Assim, o processo de RAD deve ser constantemente adaptado e ajustado à problemática específica. É essencial para que isto aconteça a constante avaliação do processo, permitindo assim a correção de seus rumos em cada uma de suas etapas, bem como o aprimoramento deste, quando se fizerem necessárias tais atividades em uma outra área (Rodrigues & Gandolfi, 2000).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Faz-se necessária, no contexto atual, a implementação de estudos sobre a recuperação de áreas degradadas por monocultivos, haja vista a enorme escassez de informações sobre este assunto.

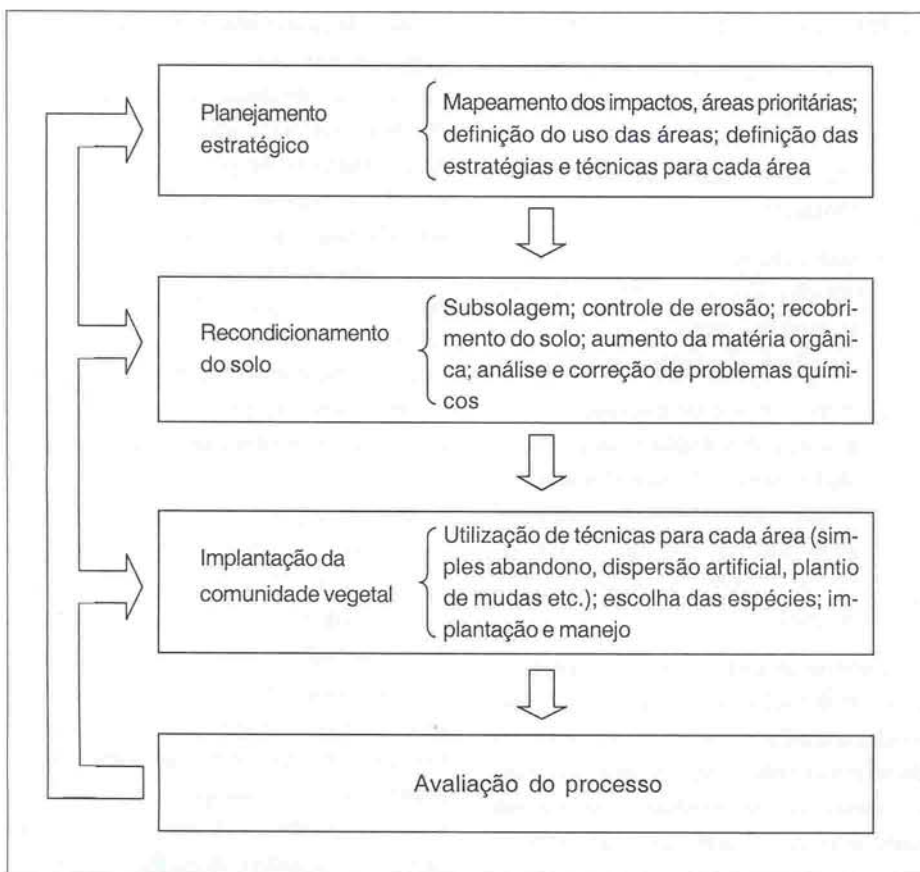


Figura 12 - Fluxograma de recuperação de áreas degradadas por monocultivos

Como grande parte das áreas de extensos monocultivos do Brasil está na região dos Cerrados, é necessário que se desenvolvam, urgentemente, estratégias de recuperação desses ecossistemas. Para tanto, é necessária a melhor compreensão dos processos de sucessão nos Cerrados. Também é importante a busca de soluções para problemas relacionados com o manejo destes ecossistemas, quando degradados, por exemplo, o retorno da comunidade original após a adubação e calagem intensivas.

Como já existem inúmeras técnicas para recuperação de florestas ciliares e áreas degradadas por mineração, devem-se promover pesquisas que visem avaliar e adaptar estas técnicas ao contexto das áreas degradadas por monocultivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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, out./dez. 1999.

_____; SIQUEIRA, J. O.; DAVIDE, A. C. Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de cerrado com diferentes usos. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.23, n.3, p.617-625, jul./set. 1999.

BARBOSA, L. M. Considerações gerais e modelos de recuperação de formações ciliares. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO-FILHO, H.F. (Ed.). *Matas ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo: FAPESP, 2000. p.289-312.

_____; ASPERTI, L. M.; BEDINELLI, C.; BARBOSA, J.C.; BELASQUE, E. de F.; PIRRE, E. Informações básicas para modelos de recuperação de áreas degradadas de matas ciliares. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2., 1992, São Paulo. *Anais...* São Paulo: Instituto Florestal, 1992. p.640-644.

_____; BARBOSA, J.M. Informações técnico-científicas sobre recuperação de áreas degradadas. *Ecossistema*, Espírito Santo do Pinhal-SP, v.23, p.19-25, dez. 1998.

BEGON, M.; HARPER, J.L.; TOWNSEND, C.R. *Ecology: individuals, populations, and communities*. 3.ed. Oxford: Blackwell, 1996. 1068p.

BRITZ, R.M.; SILVA, S.M.; REISSMAN, C.B.; SANTOS FILHO, A. Estudo da vegetação se-

cundária como subsídio técnico para a recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1992, Curitiba. *Anais...* Curitiba: FUPEF, 1992. p.164-177.

CAMPELLO, E.F.C. O papel de leguminosas arbóreas noduladas e micorrizas na recuperação de áreas degradadas: parte I. In: BALENSIEFER, M. (Ed.). *Recuperação de áreas degradadas - III: curso de atualização*. [Curitiba]: FUPEF, 1996. p.9-16.

_____. *Influência de leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio na sucessão vegetal em áreas degradadas na Amazônia*. 1999. 121f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

CARNEIRO, M.A.C. *Características bioquímicas do solo em duas cronosseqüências de reabilitação em áreas de mineração de bauxita*. 2000. 166f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CLARK, D.A.; CLARK, D.B. Life history diversity of canopy and emergent trees in a neotropical rain forest. *Ecological Monographs*, Durham, v.62, p.315-344, 1992.

DANIELS, W.L. Princípios para restauração de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO SULAMERICANO, 1.; SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., 1994, Foz do Iguaçu. *Anais...* Curitiba: FUPEF, 1994. p.3-18.

DEDECEK, R.A. A dinâmica dos solos em áreas degradadas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1992, Curitiba. *Anais...* Curitiba: FUPEF, 1992. p.44-57.

DENSLow, J.S. Tropical rainforest gaps and tree species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, Palo Alto, v.18, p.431-451, 1987.

DIAS, L.E. O papel das leguminosas arbóreas noduladas e micorrizadas na recuperação de áreas degradadas: parte II. In: BALENSIEFER, M. (Ed.). *Recuperação de áreas degradadas - III: curso de atualização*. [Curitiba]: FUPEF, 1996. p.17-28.

DURIGAN, G. Revegetação de áreas de cerrado. In: SIMPÓSIO IPEF, 6., 1996, São Pedro. *Anais...* Piracicaba: IPEF, 1996. p.23-26.

FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E.F.C.; DIAS, L.E.; FARIA, S.M. de. Revegetação de áreas de mineração de bauxita em Porto Trombetas-PA com leguminosas arbóreas noduladas e micorrizadas. In: SIMPÓSIO SUL AMERICANO, 1.; SIM-

- PÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., 1994, Foz do Iguaçu. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1994. p.145-153.
- GAIAD, S. Micorrizas: ferramenta na recuperação de áreas degradadas. In: BALENSIEFER, M. (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas – III: curso de atualização.** [Curitiba]: FUPEF, 1996. p.1-7.
- GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R.R. Recomposição de florestas nativas: algumas perspectivas metodológicas para o Estado de São Paulo. In: BALENSIEFER, M. (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas – III: curso de atualização.** [Curitiba]: FUPEF, 1996. p.83-100.
- GRIFFITH, J.J.; DIAS, L.E.; JUCKSHC, I. Novas estratégias ecológicas para a revegetação de áreas mineradas no Brasil. In: SIMPÓSIO SUL AMERICANO, 1.; SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., 1994, Foz do Iguaçu. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1994. p.31-43.
- KAGEYAMA, P.; GANDARA, F.B. Recuperação de áreas ciliares. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO-FILHO, H.F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação.** São Paulo: FAPESP, 2000. p.249-269.
- _____; MENDES, F.B.G. Revegetação de áreas degradadas, alta diversidade de espécies. In: SIMPÓSIO IPEF, 6., 1996, São Pedro. **Anais...** Piracicaba: IPEF, 1996. p.21.
- _____; REIS, A.; CARPANEZZI, A.A. Potencialidades e restrições da regeneração artificial na recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1992, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1992. p.1-7.
- MACEDO, R.L.G. Sistemas agroflorestais com leguminosas arbóreas para recuperar áreas degradadas por atividades agropecuárias. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1992, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1992. p.288-297.
- MASCHIO, L.; GAIAD, S.; MONTOYA, L.; CURCIO, G.R.; RACHWAL, M.F.G.; CAMARGO, C.M.S.; BATTI, A.M.B. Microorganismos e auto sustentação de ecossistemas em solos alterados. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1992, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1992. p.440-445.
- MELO, V.A. **Poleiros artificiais e dispersão de sementes por aves em uma área de reflorestamento, no Estado de Minas Gerais.** 1997. 40f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.
- MENDONÇA, R.C.; FELFILI, J.M.; WALTER, B.M.T.; SILVA JÚNIOR, M.C.; REZENDE, A.V.; FILGUEIRAS, T.S.; NOGUEIRA, P.E. Flora vascular do cerrado. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora.** Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. p.289-556.
- MOREIRA, A.G. Proteção contra o fogo e seu efeito na distribuição e composição de espécies de cinco fisionomias de cerrado. In: MIRANDA, H.S.; SAITO, C.H.; DIAS, B.F.S. (Ed.). **Impactos de queimadas em áreas de cerrado e restinga.** Brasília: UnB, 1996. p.112-121.
- MOROSINI, I.B.A.; KLINK, C.A. Interferência do capim-gordura (*Melinis minutiflora* Beauv.) no desenvolvimento de plântulas de embaúba (*Cecropia pachystachia* Trécul). In: LEITE, L.L.; SAITO, C.H. (Ed.). **Contribuição ao conhecimento ecológico do cerrado.** Brasília: UnB, 1997. p.82-86.
- MORRETES, B.L. Potencialidades e restrições da regeneração artificial na recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1992, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1992. p.8-16.
- MOTTA NETO, J.A. Processos químicos e físicos na dinâmica de recuperação de solos degradados: uma visão interior. In: BALENSIEFER, M. (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas – III: curso de atualização.** Curitiba: FUPEF, 1996. p.129-133.
- 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.
- POGGIANI, F. Modelos de revegetação em áreas degradadas, plantios homogêneos. In: SIMPÓSIO IPEF, 6., 1996, São Pedro. **Anais...** Piracicaba: IPEF, 1996. p.17-20.
- REATTO, A.; CORREIA, J.R.; SPERA, S.T. Solos do bioma cerrado: aspectos pedológicos. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora.** Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. p.47-86.
- REIS, A.; NAKAZONO, E.M.; MATOS, J.Z. Utilização da sucessão e das interações planta-animal na recuperação de áreas florestais degradadas. In: BALENSIEFER, M. (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas – III: curso de atualização.** [Curitiba]: FUPEF, 1996. p.29-36.
- RESCK, D.V.S.; SILVA, J.E. da. Importância das matas de galeria no ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica. In: RIBEIRO, J.F. (Ed.). **Cerrado: matas de galeria.** Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. p.31-49.
- RESTOM, T.G.; NEPSTAD, D.C. Diversidade de raízes profundas em mata primária e em área em processo de regeneração após uso para pecuária na Amazônia Oriental. In: SIMPÓSIO SUL AMERICANO, 1.; SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., 1994, Foz do Iguaçu. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1994. p.329-336.
- REZENDE, A.V. Importância das matas de galeria: manutenção e recuperação. In: RIBEIRO, J.F. (Ed.). **Cerrado: matas de galeria.** Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. p.3-16.
- RODRIGUES, R.R.; GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO-FILHO, H.F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação.** São Paulo: FAPESP, 2000. p.235-247.
- SAADI, A. Os sertões que viram desertos. **Boletim Informativo.** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa-MG, v.25, n.1, p.10-17, jan./mar. 2000.
- SANTOS JÚNIOR, N.A. **Estabelecimento inicial de espécies florestais nativas em sistema de semeadura direta.** 2000. 96f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- SAUTTER, K.D. Meso e macrofauna na recuperação de áreas (solos) degradadas (os). In: BALENSIEFER, M. (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas – III: curso de atualização.** [Curitiba]: FUPEF, 1996. p.125-128.
- SEITZ, R.A. A regeneração natural na recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO SUL AMERICANO, 1.; SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., Foz do Iguaçu. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1994. p.103-110.
- _____. As potencialidades da regeneração natural na recuperação de áreas degradadas. In: BALENSIEFER, M. (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas – III: curso de atualização.** [Curitiba]: FUPEF, 1996. p.45-52.
- SILVA, L.L. **Ecologia de áreas silvestres.** Santa Maria: UFSM, 1992. 218p.
- SWAINE, M.D.; WHITMORE, T.C. On the definition of ecological species groups in tropical rain forests. **Vegetatio**, Dordrecht, v.75, p.81-86, 1988.
- WHITMORE, T.C. **An introduction to tropical rain forests.** Oxford: Clarendon Press, 1990.
- WILLIAMS, D.D.; BUGIN, A.; REIS, J.L.B.C. **Manual de recuperação de áreas degradadas por mineração: técnicas de revegetação.** Brasília: IBAMA, 1990. 96p.

Recuperação de pastagens degradadas

Marcos Koiti Kondo¹
Álvaro Vilela de Resende²

Resumo - O aumento nas últimas décadas da demanda por produtos de origem animal estimulou a expansão das áreas com pastagens cultivadas, no Brasil. Em virtude da perda gradual da capacidade produtiva, tem-se observado um acelerado processo de degradação dessas pastagens nos últimos anos. A insustentabilidade produtiva nos ecossistemas de pastagens torna-se mais crítica nas áreas de exploração extensiva, caracterizadas pelo uso extrativista e pelo baixo nível tecnológico. Considera-se que uma pastagem está degradada, quando há uma diminuição considerável na sua produtividade potencial para as condições edafoclimáticas e bióticas a que está submetida, devendo-se considerar o ambiente e o sistema de exploração utilizado. Devem-se buscar a utilização racional e sustentável das pastagens, através do estudo do processo de degradação, e a indicação de alternativas para a recuperação delas, notadamente as cultivadas. Vários métodos de recuperação/renovação de pastagens podem ser utilizados com bons resultados, sendo economicamente viáveis, tais como: Sistema Barreirão, recuperação com uso de agricultura, recuperação/renovação direta, recuperação com plantio direto de soja. Finalmente, devem-se considerar alguns elementos na prevenção da degradação da pastagem: manejo da pastagem, controle de invasoras, melhoramento da fertilidade do solo e descompactação.

Palavras-chave: Renovação; Sistema Barreirão; Sustentabilidade.

Pastagem; Área degradada

INTRODUÇÃO

O aumento nas últimas décadas da demanda por produtos de origem animal, principalmente carne e leite, provocou a expansão das áreas com pastagens cultivadas no Brasil. Após alguns anos da sua implantação, em virtude da perda gradual da capacidade produtiva, tem-se caracterizado o processo de degradação das pastagens.

A insustentabilidade produtiva nos ecossistemas de pastagens torna-se mais crítica nas áreas de exploração extensiva, caracterizadas pelo uso extrativista e pelo baixo nível tecnológico.

Buscando a reversão do processo de degradação de pastagens, tem-se, como proposta deste trabalho, o estudo do processo de degradação e a indicação de alter-

nativas para a recuperação de pastagens, notadamente as cultivadas.

DISTRIBUIÇÃO TERRITORIAL DE ÁREAS COM PASTAGENS DEGRADADAS

Conforme dados do Censo Agropecuário (2000), Minas Gerais é o estado brasileiro que possui o maior rebanho de bovinos (20.044.616 cabeças), compondo 13,10% do total de 153.058.275 de bovinos de todo o país e 55,75% do rebanho da Região Sudeste (35.953.897 cabeças). Deve-se lembrar que há ainda outros rebanhos ocupantes das pastagens, tais como: bubalinos, eqüinos, asininos, muares, caprinos e ovinos, participando em 1996, com mais de 29.128.884 cabeças. Embora se tenha parte do rebanho criada em regime de

confinamento, é a criação extensiva de gado que predomina no país, daí a grande importância dos estudos sobre pastagens degradadas e sua recuperação.

O crescimento do rebanho mineiro levou ao aumento das áreas com pastagens, as quais ocupavam uma área de 9.065.605 ha, em 1970, que foi ampliada para uma área de 25.348.603 ha de pastagens naturais e plantadas em 1996 (crescimento de 279,61%), compondo 14,26% dos 177.700.469 ha de pastagens brasileiras (Censo..., 2000). Pode-se visualizar no Gráfico 1 a evolução crescente, nos últimos 25 anos, do rebanho brasileiro de bovinos em comparação com a área de pastagens (que não teve crescimento proporcional), provocando um aumento da pressão de pastejo, com maior número de animais por área, o que leva, em

¹Eng^o Agr^o, M.Sc., Doutorando, UFLA - Dep^o Ciência do Solo, Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras-MG. Correio eletrônico: marcoskondo@uol.com.br

²Eng^o Agr^o, M.Sc., Prof. Visitante, UFLA - Dep^o Ciência do Solo, Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras-MG. Correio eletrônico: alvaro@ufla.br

muitos casos, ao processo de degradação das pastagens.

Um outro fator que contribuiu para o processo de degradação de pastagens foi a necessidade do aumento da área de pastagens plantadas nos últimos 25 anos, em função do aumento da demanda por produtos de origem animal (Gráfico 2), levando à substituição de áreas de floresta e de Cerrado por pastagens em ambientes muitas vezes inadequados ao desenvolvimento da pecuária.

Estima-se que, na Amazônia, cerca de 10 milhões de hectares de pastagens (aproximadamente 50% das pastagens estabelecidas) tenham alcançado um estágio avançado de degradação (Serrão et al., citado por Dias Filho, 1988). O nível mais elevado de degradação da pastagem é considerado como aquele em que a área afetada está totalmente desprovida de vegetação e com ausência de banco de sementes no solo, que possa proporcionar uma rápida reocupação da área.

Considerando-se somente a área dos Cerrados no Brasil Central, responsável por 60% da produção nacional de carne, estima-se que cerca de 80% dos 50 milhões de hectares de pastagens plantadas apresentam algum estágio de degradação, havendo pouco interesse de pecuaristas na sua recuperação (Kichel et al., 2000).

Há grandes perdas econômicas, devido à baixa capacidade de suporte das pastagens do Cerrado brasileiro, com 0,3 unidade animal por hectare (u.a./ha), menor que a média nacional de 0,6 u.a./ha. Sabe-se que a capacidade de suporte das pastagens degradadas é de 0,3 a 0,5 u.a./ha sendo que a pastagem plantada, em boas condições, tem capacidade de suporte superior a 1,8 u.a./ha (Kluthouski, citado por Yokohama et al., 1995). A degradação de pastagens plantadas e a baixa capacidade de suporte das pastagens nativas levam a prejuízos anuais de cerca de 1 bilhão de dólares somente no Cerrado, considerando-se a morte de 1% do rebanho bovino (450 mil cabeças), em virtude da falta de alimentação e da perda de cerca de 1,5 arroba na entressafra (aproximadamente 36 milhões de arrobas) (Yokohama et al., 1995).

CAUSAS E EFEITOS PRINCIPAIS DA DEGRADAÇÃO

A degradação de pastagens é o processo evolutivo de perda de vigor, de produtividade, de capacidade de recuperação natural das pastagens para sustentar os níveis de produção e a qualidade exigida pelos animais, assim como o de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e invasoras, culminando com a degradação avançada dos recursos naturais, em razão do manejo inadequado.

Considera-se que uma pastagem está degradada, quando há uma diminuição considerável na sua produtividade potencial para as condições edafoclimáticas e bióticas a que está submetida, devendo-se considerar o ambiente e o sistema de exploração utilizado.

A degradação de pastagens caracteriza-se, em maior ou menor grau, pela redução da produtividade da forrageira, além da presença de plantas invasoras e surgi-

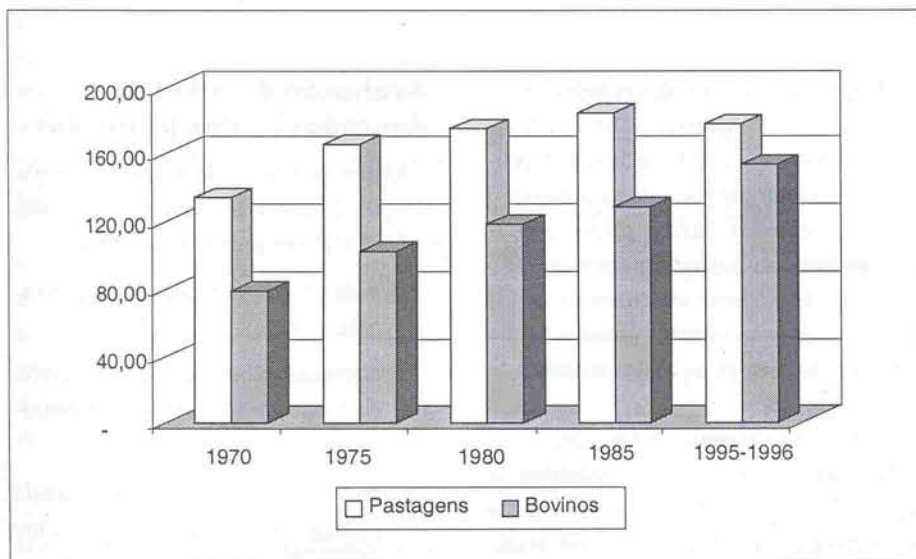


Gráfico 1 - Evolução das pastagens (milhões de hectares) e número de bovinos (milhões de unidades) no período 1970-1996 no Brasil

FONTE: Censo Agropecuário (2000).

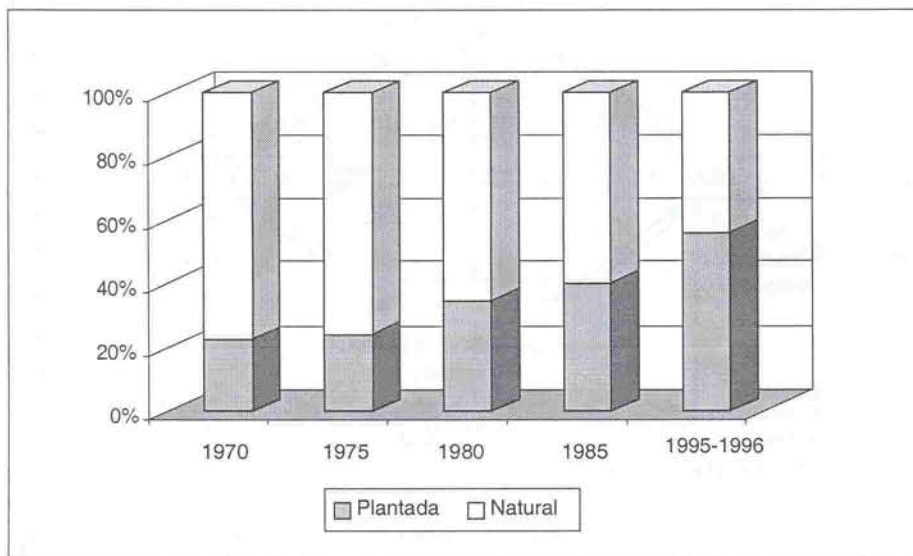


Gráfico 2 - Evolução relativa das pastagens plantada e natural no período 1970-1996

FONTE: Censo Agropecuário (2000).

mento de áreas com solo exposto, favorecendo o processo erosivo (Carvalho, 1999).

O pisoteio em excesso do gado provoca o aumento da compactação do solo (Kondo & Dias Júnior, 1999), contribuindo para a redução da infiltração e elevando o escoamento superficial da água das chuvas. Tal fato contribui evidentemente no processo de degradação de pastagens pela perda de nutrientes com o solo, além de elevar a resistência à penetração de raízes.

Podem-se citar ainda outros fatores que influenciam direta ou indiretamente para a degradação das pastagens:

- manejo inadequado, incluindo o sobrepastoreio e o uso indiscriminado do fogo;
- longo período sem manejo ou reforma adequada;
- invasão de plantas indesejáveis;
- susceptibilidade a pragas e doenças;
- falta de adaptação aos fatores edafoclimáticos das espécies semeadas;
- perda ou redução da fertilidade do solo sem a realização de adubação de reposição;
- incompatibilidade entre as espécies associadas;
- baixa fertilidade natural do solo;
- implantação da pastagem com baixa tecnologia.

Deve-se destacar que a degradação das pastagens ocorre gradualmente, devido ao acúmulo dos efeitos dos fatores que a causam, como, por exemplo, a alteração da composição botânica intensifica o pastejo seletivo pelos animais, que recusam as invasoras menos palatáveis, consumindo apenas o capim ou a forrageira principal que já está mais enfraquecida pela concorrência com as invasoras por água, luz e nutrientes.

Um outro fator contribuinte é a existência da estacionalidade de produção das forragens, apesar de que as necessidades nutritivas dos animais permanecem inalteradas durante o ano todo, determinando a ocorrência de dois períodos na produção animal: safra e entressafra, conforme se observa no Gráfico 3.

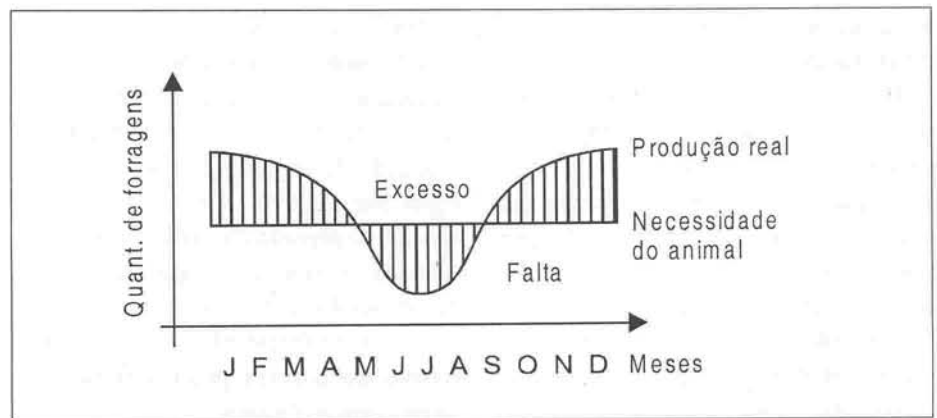


Gráfico 3 - Produção de forragens e necessidades nutritivas dos animais durante o ano

FONTE: Pupo (1979).

A busca de maior produtividade da pastagem deve contemplar o equilíbrio entre o rendimento e a qualidade da forragem produzida e a manutenção da composição botânica desejada para o pasto, com a concomitante produção ótima por animal e por área, devendo-se conhecer as interações dos componentes envolvidos no controle e na manipulação dos sistemas de pastejo (Fig. 13).

Devem-se observar as ligações existentes entre os diversos componentes da Figura 13 para a condução de sistemas de produção duradouros e produtivos, resultando na obtenção de plantas produtivas e permanentes.

Avaliação do nível de degradação das pastagens

Alguns indícios podem auxiliar na identificação do processo de degradação das pastagens (Rodrigues & Reis, 1994):

- redução da produção de matéria vegetal e menor vigor de rebrota;
- alteração na composição botânica, com infestação crescente de invasoras;
- redução da área de solo coberta pela pastagem, surgindo manchas esparsas de solo nu;
- sinais evidentes de erosão do solo.

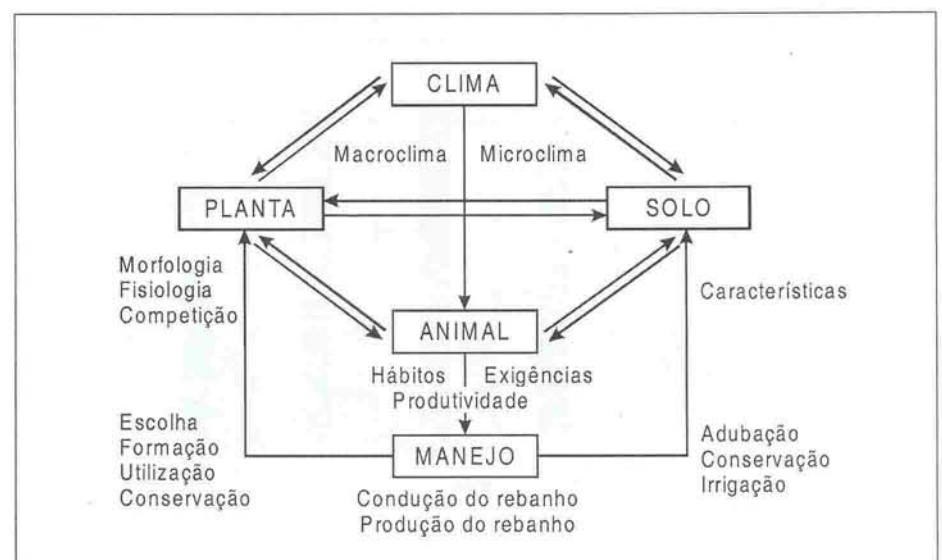


Figura 13 - Representação esquemática das interações que ocorrem no ecossistema de pastagem

FONTE: Nascimento Júnior et al. (1994).

Qualquer outro critério proposto para avaliar o estágio de degradação tem de, necessariamente, considerar dois parâmetros: diminuição da produção e mudança na composição botânica. Quando a degradação encontra-se em estágio mais avançado, deve-se considerar a estabilidade do solo (erosão) (Nascimento Júnior et al., 1994).

A Escola Americana de Manejo de Pastagens Naturais, segundo Nascimento Júnior et al. (1994), utiliza dois conceitos para estudo e manejo das pastagens, sendo o primeiro conhecido como sítio ecológico, definido como "uma série que difere da área adjacente pela sua produção e proporção das espécies presentes", com restrições, devido à visão a curto prazo da situação da pastagem, não tendo relação com o potencial de produção da área. O segundo considera a condição da pastagem, através de seu "estado de saúde", quando, a longo prazo, tem-se uma expressão da quantidade de forragem presente relacionada com a espécie e com o total de forragem que a mesma área pode produzir sob condições de bom manejo. Neste método, são utilizadas quatro classes de condição de pastagem, sendo que a forrageira produzida em cada situação pode estar:

- excelente: quando produz 75-100% de toda a forragem, sob um manejo prático;
- boa: quando produz 50-75% de toda a forragem;
- razoável: quando produz 25-50% de toda a forragem;
- pobre: quando produz menos do que 25% de toda a forragem.

Esse critério pode ser usado também exclusivamente, em relação à composição botânica, em que se avalia o desvio do clímax (Fig. 14).

Um outro critério para avaliação do grau de degradação de pastagens, desenvolvido por Barcellos, citado por Spain & Gualdrón (1991), em condições de Cerrado, utiliza quatro graus de degradação que variam de 1 a 4, em que o estado de menor degradação seria o grau 1:

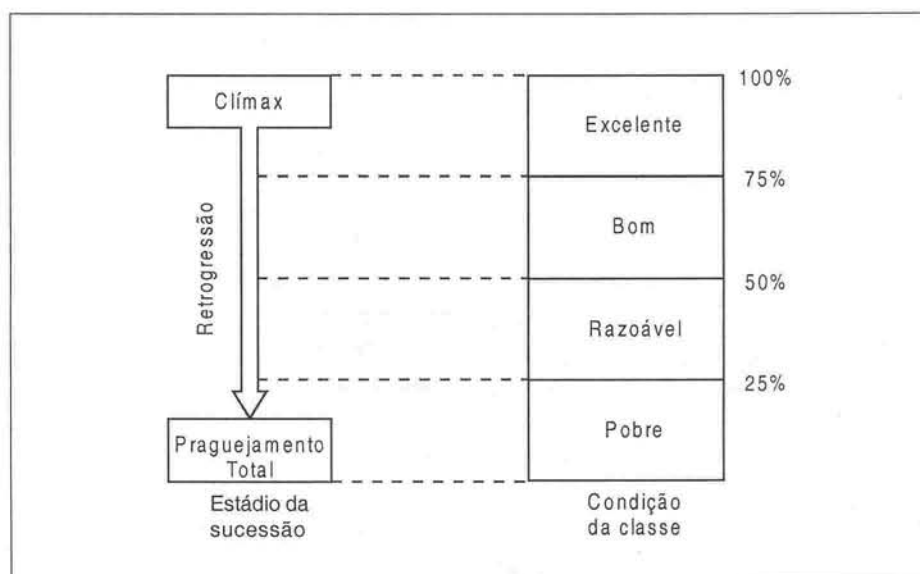


Figura 14 - Critério para avaliação de pastagens, em relação à composição botânica, onde se avalia o desvio do clímax

FONTE: Stoddart et al. (1975).

- grau 1: redução na produção de forragem, na qualidade, na altura e no volume durante a época de crescimento;
- grau 2: diminuição na área coberta pela vegetação, reduzido número de plantas novas;
- grau 3: aparecimento de invasoras de folhas largas, início de processo erosivo pela ação das chuvas;
- grau 4: presença, em alta proporção, de espécies invasoras, aparecimento de gramíneas nativas e processos erosivos acelerados.

Para pastagens cultivadas, principalmente com *Brachiaria decumbens*, a época de avaliação é considerada importantíssima por Nascimento Júnior et al. (1994), que propõem uma escala de classificação do estágio de degradação, para ser aplicada no período de verão (crescimento). Essa escala baseia-se na produção, na composição botânica, na relação folha/caule, na densidade e altura e na presença de evidências de erosão. Dessa forma, têm-se as seguintes classificações:

- excelente: produção de matéria seca igual a 2.500kg/ha. Presença de mais de 75% de braquiária na composição botânica. Altura média das plantas

maior que 40cm e relação folha/caule maior que 1;

- boa: produção de matéria seca entre 2.500 e 1.500kg/ha. A braquiária deverá estar presente entre 50% e 75% na composição botânica. Altura média das plantas em torno de 40cm e relação folha/caule em torno de 1;
- razoável: produção de matéria seca entre 1.500 e 750kg/ha. Espécie dominante (braquiária) entre 25% e 50% da composição botânica. Altura média das plantas abaixo de 40cm. Relação folha/caule sempre abaixo de 1 e sinais de erosão laminar incipiente causada pelas chuvas;
- pobre: produção de matéria seca inferior a 750kg/ha. Percentagem da espécie dominante (braquiária) inferior a 25%. Altura média das plantas inferior a 40cm e sinais evidentes de erosão laminar causada pelas chuvas.

Deve-se observar que os critérios de avaliação de cada estágio de degradação poderão variar em função do clima e do solo dominantes na área em estudo. Para cada estágio de degradação identificado, deverá ser adotada uma estratégia de recuperação adequada.

RECUPERAÇÃO E MANEJO DO SOLO

A recuperação é o processo de restabelecimento da capacidade produtiva de uma determinada espécie forrageira, de acordo com o interesse econômico, diferenciando-se da renovação, que consiste no restabelecimento da produção da forragem com a introdução de uma nova espécie ou cultivar, realizando-se a substituição da espécie forrageira degradada (Kichel et al., 2000).

A recuperação e a manutenção da sustentabilidade das áreas de pastagens degradadas devem contemplar as propriedades do solo, evitando a erosão, buscando o equilíbrio na ocorrência de pragas, doenças e plantas invasoras, além de uma maior diversificação das atividades econômicas no meio rural. Assim, importantes medidas na recuperação de pastagens devem ser aplicadas:

- a) manejo da pastagem: deve-se manejar a taxa de lotação ou o sistema de pastejo. Reduz-se assim, a carga animal, elevando as chances de rebrota e produção de sementes. Além disso, pode-se restringir o pastejo em períodos estratégicos, como durante a germinação das sementes e o desenvolvimento de plântulas. Onde o acesso de máquinas é limitado por obstáculos ou declividade, podem ser utilizadas a roçada e a vedação;
- b) controle de invasoras: comumente, as invasoras das pastagens são plantas com capacidade de sobrevivência superior, em virtude da elevada produção e disseminação de suas sementes, além de, na maioria das vezes, serem pouco consumidas pelos animais. O seu controle pode ser efetuado através da aração, roçada, arranquio ou uso de herbicidas;
- c) melhoramento da fertilidade do solo e descompactação: para que as pastagens permaneçam em níveis de garantia da produção animal, os solos devem ser corrigidos, através da aplicação de fertilizantes e corre-

ção da acidez. A descompactação pode ser efetuada mecanicamente e ainda complementada através de semeadura de leguminosas com grande crescimento radicular, que contribuem também na melhoria da fertilidade do solo.

O Cerrado brasileiro tem experimentado uma intensificação do processo de degradação de pastagens cultivadas, notadamente as do gênero *Brachiaria*, devido ao manejo inadequado, falta de adubação, presença de invasoras, compactação superficial e ataque de pragas, principalmente a cigarrinha-das-pastagens (Carvalho et al., 1990). O processo de recuperação dessas pastagens deve incluir técnicas de descompactação do solo, correção da acidez e adubação adequada, além de mudança da espécie forrageira, caso seja necessário. Algumas tecnologias para a recuperação de pastagens de *B. decumbens* estão apresentadas no Quadro 1, com seus respectivos custos.

Diferentes métodos podem ser utilizados para a recuperação e/ou renovação de pastagens degradadas. Algumas alternativas podem ser utilizadas em conjunto e outras isoladamente, tendo-se ainda a possibilidade da combinação das diferentes tecnologias.

Para a escolha de qual método seguir, deve-se realizar o diagnóstico da área, analisando seu histórico e definindo o sistema de produção a ser implantado após a recuperação ou renovação. No diagnóstico, devem constar informações sobre o

clima, classes de solo, topografia, propriedades químicas e físicas do solo, espécie de forrageira, produtividade, ocorrência de pragas e doenças, manejo animal vigente, perfil dos custos de produção e sistema de produção adotado.

Os sistemas de recuperação/renovação de pastagens podem ser divididos em duas formas: com o uso de agricultura (integração agricultura-pecuária, forma indireta) e recuperação/renovação direta da pastagem.

Recuperação com uso de agricultura

A integração de agricultura com a pecuária pode ocorrer de quatro formas:

- a) recuperação com plantio de culturas anuais solteiras (milho, arroz, soja, sorgo etc.) por um ou mais anos, retornando-se à pastagem com a mesma espécie ou outra mais produtiva. Pode ser realizada visando à recuperação rápida, com o estabelecimento de culturas como arroz e milho, através do preparo do solo no final da estação seca e plantio da cultura no início das chuvas, com retorno espontâneo da forrageira por meio de banco de sementes do solo. Esta pastagem passaria a ser utilizada após a colheita da cultura anual. A maior dificuldade deste sistema é o controle da sementeira de braquiária, que normalmente é alta, levando à competição excessiva com o milho e o arroz;

QUADRO 1 - Custo de recuperação de uma pastagem degradada de *Brachiaria decumbens* em função de diferentes estratégias

Estratégias de recuperação	Custo final	
	US\$	Arroba de boi ⁽¹⁾
Calagem, adubação, gradagem ⁽²⁾	150.00	7,5
Calagem, adubação, gradagem, aração ⁽³⁾	163.00	8,15

FONTE: Carvalho et al. (1990).

(1) Valor da arroba = US\$ 20.00. (2) Grade aradora; 1.300kg/ha de calcário; 6, 90, 45 e 30kg/ha, respectivamente de N, P₂O₅, K₂O e micronutrientes. (3) Arado de disco; nivelamento; 1.300kg/ha de calcário; 6, 90, 45 e 30kg/ha, respectivamente de N, P₂O₅, K₂O e micronutrientes.

- b) recuperação a longo prazo, na qual são realizados cultivos anuais com rotação ou não de arroz, milho, soja etc., por dois ou mais anos, sendo restabelecida a pastagem na área após esse período. Esse sistema leva à tentativa de controle total da braquiária, tanto das plantas adultas como da sementeira. Deve-se preparar o solo no período seco, eliminando-se as plantas adultas e utilizando-se herbicidas para controle da sementeira. O uso de dicotiledôneas, como soja, girassol e algodão é mais interessante, devido à maior facilidade do controle químico de braquiárias para estas culturas;
- c) em consórcio com culturas anuais, tais como arroz, milho, sorgo, entre outras, com o plantio conjunto das sementes da cultura anual e da pastagem e/ou aproveitando-se o potencial de sementes da forrageira existentes no solo;
- d) Sistema Barreirão.

Sistema Barreirão

Inicialmente utilizado com sucesso na região do Cerrado brasileiro, o Sistema Barreirão é uma tecnologia de recuperação/renovação de pastagens em consórcio com culturas anuais, quando são utilizadas as culturas do arroz de sequeiro, milho, sorgo e milheto com forrageiras, principalmente dos gêneros *Brachiaria* e *Andropogon* e/ou com leguminosas forrageiras, como *Stylosanthes* sp., *Calopogonio mucunoides* e *Arachis pintoe*.

Esse Sistema foi desenvolvido com base em experiências de produtores no Cerrado, que estabeleceram suas pastagens através do consórcio com arroz de sequeiro.

a) vantagens

Oliveira et al. (1996) enumeram algumas de suas vantagens:

- ocupação da área para recuperação/renovação por curto período (setembro a março/abril), coincidindo com o período de possível sobra de pastagem na propriedade;

- menor necessidade de máquinas e implementos, em relação ao sistema de rotação;
- correção da acidez do solo de acordo com as exigências das espécies a serem consorciadas;
- redução apreciável dos cupinzeiros de monte e das invasoras perenes;
- redução dos riscos de perdas por deficiência hídrica, devido aos veranicos, através da formação de cobertura vegetal permanente sobre o solo e melhor enraizamento das plantas;
- desenvolvimento vegetativo das forrageiras por mais tempo, no período seco, em função da maior retenção de umidade no solo;
- retorno parcial ou total do capital aplicado a curto prazo, através da venda dos grãos produzidos no consórcio;
- facilidade de aplicação, bastando haver disponibilidade de máquinas e implementos e de orientação técnica.

Para a recuperação de pastagens, o período mais indicado é o verão (época chuvosa), quando há maior oferta de forragem, quase sempre, gerando excedentes. A descompactação do solo, através da escarificação ou aração profunda (disco e aiveca), pode proporcionar melhor desempenho das forrageiras na entressafra (período seco, de maio a outubro).

b) seqüência de aplicação das práticas do Sistema Barreirão

- primeira etapa (julho a setembro): análise do solo através de coleta convencional de amostras, a duas profundidades (0-20 e 20-40cm), antes de qualquer revolvimento do solo. Caso necessário, deve-se realizar a calagem e/ou a fosfatagem, conforme o resultado da análise e as necessidades nutri-

cionais das espécies a serem utilizadas;

- segunda etapa (30 dias antes do início do período chuvoso e da aração): preparo do solo, com o desenraizamento e incorporação superficial da pastagem degradada, com uma passagem de grade aradora na profundidade de 10-15cm. Realiza-se a aração profunda (preferencialmente com arado de aiveca), quando o solo estiver com umidade em toda a camada a ser trabalhada. O nivelamento/destorroamento deve ser feito de sete a dez dias após a aração e imediatamente antes do plantio;
- terceira etapa: semeadura das culturas anuais e forrageiras. Devem-se utilizar sementes de boa qualidade, tratadas com inseticida sistêmico (Carbofuran, Carbosulfan, Thiodicarb), para prevenção do ataque da cigarrinha-das-pastagens e lagartas do solo. O espaçamento e densidade de semeadura para o milho, sorgo e milheto seguem as recomendações convencionais. Para o arroz de sequeiro, deve-se reduzir o espaçamento da entrelinha dos tradicionais 50cm para 30-40cm, de acordo com a precocidade e porte (baixo). A densidade de semeadura, para as variedades de ciclo curto, é de 80 a 100 sementes/metro e, de 60 a 70 sementes/metro, para as de ciclo médio. Para as forrageiras do gênero *Brachiaria* (valor cultural (VC) de 30%) devem-se utilizar de 5 a 7kg de sementes por hectare. Dividindo-se a constante 150 pelo VC, têm-se as quantidades de sementes de *B. brizantha* e *B. decumbens* a serem utilizadas, por hectare. O cultivo de *Andropogon gayanus* utiliza entre 10 e 20kg/ha de sementes, semeadas superficialmente, de maneira convencional. As braquiárias são semeadas com o adubo, na mesma fileira das culturas. Para o cálculo da

adubação, deverá ser considerado o seu efeito residual para benefício da pastagem;

- quarta etapa: condução da lavouira, com controle das invasoras e trato fitossanitário, caso necessário. Devem-se realizar também adubações nitrogenadas em cobertura, caso haja demanda pela cultura anual (milho ou arroz) e adubações potássicas antes da cobertura nitrogenada para o arroz em solos arenosos;

- quinta etapa: colheita da cultura anual. Devem-se evitar atrasos nesta etapa, em virtude de acamamento e/ou perdas, devido ao aumento da massa da forrageira, cujo desenvolvimento é acelerado após a maturação das culturas anuais.

- sexta etapa: última fase, com a vedação da área, por um período mínimo de 30 a 60 dias, após a colheita. Busca-se, assim, uma melhor formação da pastagem e/ou produção de novas sementes da forrageira, ceifadas na colheita (no caso do arroz de sequeiro). A partir daí, inicia-se o pastejo, com cuidados no manejo da pastagem e suplementação da adubação, responsáveis pela melhor produção da forrageira e sua maior longevidade.

Oliveira et al. (1996) citam um levantamento feito com 20 produtores pecuaristas que utilizaram o Sistema Barreirão nos anos de 1993 e 1994 (entressafra e período chuvoso, respectivamente). Na entressafra de 1993, a capacidade de suporte animal obtida foi de 0,6 u.a./ha nas pastagens degradadas e 1,2 u.a./ha nas pastagens recuperadas pelo Sistema Barreirão (acréscimo de 100%). No período chuvoso, o acréscimo foi de 117%, passando de 1,2 para 2,6 u.a./ha.

Em 1994, no período das chuvas, a capacidade de suporte passou de 0,7 nas pastagens degradadas para 1,5 u.a./ha (acréscimo de 114%), ou seja, com o Sistema Barreirão teve-se 100% de acréscimo, indo de 1,2 para 2,4 u.a./ha.

Também houve inversão da perda de peso (normalmente entre 0,27 e 0,36kg/dia, entre 1991 e 1994) dos animais em pastagens degradadas. Com o Sistema Barreirão, houve ganho de peso médio diário em 1994, sendo de 0,3kg/dia na entressafra e de 0,5kg/dia no período chuvoso.

Porém, nesse mesmo levantamento, foram indicadas algumas limitações do Sistema Barreirão (em ordem decrescente de importância): falta de equipamento adequado e de crédito específico, custo de máquinas e implementos, inexperiência ou desinteresse do pecuarista em agricultura, falta de assistência técnica e seguro agrícola específico, custo de implantação, complexidade e falta de maior divulgação do Sistema.

Tem-se, no Quadro 2, a análise comparativa do Sistema Barreirão, onde verifica-

se uma taxa de retorno que varia de 0,83 até 1,27 (tal taxa de retorno 1 equivale ao equilíbrio entre receita e custo), indicando; em média, que, além do pasto recuperado, os produtores obtiveram lucro com a aplicação do Sistema para a cultura do arroz.

A taxa de retorno positiva (acima de 1) também foi verificada para a cultura do milho, na safra de 1992/1993 (Quadro 3), com cobertura de todos os custos e lucro de 6%. Para a safra 1993/1994, devido à queda na produtividade (16%) e elevação do custo de produção (13%), teve-se uma cobertura de 80% dos gastos, sem considerar o retorno econômico pela pastagem recuperada. O Sistema Barreirão deixa ainda para a pastagem diversos aspectos benéficos (preparo do solo, descompactação, adubação, semente etc.), representando cerca de 63% do custo de produção. Tal fato desta-

QUADRO 2 - Resultados econômicos médios obtidos com o Sistema Barreirão, com a cultura do arroz

Resultados econômicos	Safrá			
	1990/1991	1991/1992	1992/1993	1993/1994
Produtividade (kg/ha)	2.040	2.280	1.860	1.800
Receita total (US\$)	453.99	302.92	310.00	279.00
Custo de produção (US\$)	356.21	277.95	321.80	334.69
Taxa de retorno	1,27	1,09	0,96	0,83

FONTE: Yokoyama et al. (1995).

QUADRO 3 - Resultados econômicos médios obtidos com o Sistema Barreirão, com a cultura do milho

Resultados econômicos	Safrá	
	1992/1993	1993/1994
Produtividade (kg/ha)	4.020	3.360
Receita total (US\$)	402.00	341.60
Custo de produção (US\$)	376.32	424.86
Taxa de retorno	1,06	0,80

FONTE: Yokoyama et al. (1995).

ca a lucratividade do Sistema, a qual não está apenas na produção de grãos, mas também no desfrute das pastagens recuperadas, na forma de produção de carne ou leite.

Em síntese, os benefícios gerados pelo Sistema Barreirão seriam:

- a) produção de carne e de leite;
- b) aumento provável na taxa de natalidade e redução na de mortalidade;
- c) redução ou eliminação dos custos com controle de cupinzeiros de monte e de invasoras perenes;
- d) redução ou eliminação da perda de peso e da mortalidade do rebanho na entressafra, período seco;
- e) produção de carcaça de melhor qualidade;
- f) provável redução da necessidade de suplementação mineral;
- g) melhoria do perfil cultural, como descompactação, correção da acidez, nutrientes e matéria orgânica;
- h) redução do processo de erosão hídrica;
- i) enraizamento profundo das forrageiras, contribuindo para o melhoramento do perfil, onde os implementos agrícolas convencionais não trabalham, proporcionando maior resistência da pastagem nos períodos de déficit hídrico;
- j) melhor cobertura e maior oferta de alimentos à fauna herbívora;
- k) redução da necessidade de abertura de novas áreas, particularmente na Amazônia;
- l) redução do assoreamento dos rios e várzeas, devido à maior infiltração de água no solo e, conseqüentemente, menor erosão;
- m) aumento do volume de água de melhor qualidade no lençol freático;
- n) redução no uso de agrotóxicos para o controle de invasoras, principal-

mente perenes e dos cupinzeiros de monte.

Recuperação/renovação com plantio direto de soja sobre a pastagem em sistema rotativo

Pode ser realizada sobre pastagens em degradação com boa cobertura do solo, mesmo com sintomas de deficiência de nutrientes. Essa tecnologia pode ser usada em curto, médio ou longo prazos (Kichel et al., 2000).

Como a pastagem oferece boa cobertura do solo para o plantio direto, faz-se a rotação da soja com a pastagem (dois a três anos de soja e igual período de pasto), com benefícios para ambos, tais como: diminuição de plantas invasoras, quebra do ciclo de pragas e doenças da soja (cancro-da-haste, murcha, nematóides etc.) e aumento da produtividade.

A opção pelo plantio direto permite a redução dos custos com máquinas e equipamentos, além de ser operacionalmente mais simples que o plantio convencional, necessitando apenas de um pulverizador, de uma semeadora adequada e de herbicidas dessecantes.

O sucesso no uso desta tecnologia exige certas condições:

- a) a pastagem não deve estar em estágio avançado de degradação, podendo apresentar, por outro lado, limitações químicas;
- b) deve-se ter boa cobertura de palha, distribuída uniformemente (melhor dessecamento). Não deve estar subpastejada (com excesso de palha) ou superpastejada, sendo o ideal uma camada de palha de 20cm a 30cm de altura;
- c) baixa incidência de plantas invasoras de difícil eliminação com herbicidas, tais como rebrote da vegetação natural do Cerrado;
- d) áreas sem tocos, raízes, galhos, pedras, erosão etc., que possam causar impedimentos mecânicos para as operações motomecanizadas;

e) época ideal de aplicação do herbicida e sua dosagem, quando a pastagem encontra-se em crescimento ativo, nos meses de outubro ou novembro, em média 21 dias antes do plantio da soja;

f) a variedade de soja a ser usada deve ser de ciclo precoce a médio, proporcionando boa cobertura do solo;

g) o plantio deve ser feito na época recomendada para cada cultivar na região, com a pastagem devidamente dessecada, utilizando-se uma semeadora adequada para plantio direto e que aumente em 15% a 20% a quantidade de semente e o estande da cultura da soja, cobrindo melhor o solo;

h) o manejo pós-colheita deve considerar se haverá troca da espécie forrageira, controlando-se as plantas remanescentes após a colheita da soja e plantando-se uma pastagem anual (aveia ou milheto) para utilização pelos animais no outono e no inverno. Deve-se repetir esta operação por dois ou três anos e implantar a nova espécie de forragem. Se o objetivo for somente recuperar a pastagem, após a colheita da soja (março ou abril), planta-se a forrageira anual (aveia ou milheto) e, entre outubro e janeiro, planta-se novamente a forrageira original.

Recuperação/renovação direta da pastagem

Primeiramente, devem-se realizar os trabalhos de conservação do solo, onde for necessário e possível. Sob certas condições, somente a roçada e a vedação, por período apropriado, podem proporcionar razoável recuperação da pastagem, após um período de mau manejo. Tal prática é comum em áreas onde o acesso de máquinas é restrito por obstáculos ou declividade.

A redução da fertilidade e a compactação do solo estão entre as principais causas de degradação de pastagens, cujo

controle pode ser independente ou associado, sendo ainda complementado, sob certas circunstâncias, pela introdução de leguminosas. Uma das práticas para recuperação consiste no suprimento dos corretivos e fertilizantes em deficiência, aplicados na superfície ou ainda incorporados com preparo superficial ou completo do solo (Zimmer et al., 1994).

Uma prática a ser considerada é a introdução de leguminosas em áreas de pastagens degradadas com adubação e práticas de preparo do solo. Há um pequeno acréscimo no custo de produção, devido à utilização de sementes de qualidade, porém, a leguminosa, mesmo não persistindo por muitos anos, poderá trazer alguns benefícios.

A introdução da espécie leguminosa pode ainda ser feita com preparo convencional do solo, com a aração e gradagem de toda a área durante o período seco, controlando a gramínea e favorecendo a leguminosa, que pode ser plantada na época chuvosa. Caso haja estoque suficiente de sementes no campo, a forrageira retorna espontaneamente, ocupando a área.

Na Zona da Mata de Minas Gerais, Carvalho (1988) indica a recuperação direta das pastagens degradadas de capim-gordura, através da substituição dessa gramínea por outra de maior potencial para produção de forragem. Deve-se ter um adequado controle da erosão do solo, embora a pastagem seja considerada uma forma racional de conservação e recuperação de solos degradados (Moraes, 1993). Sabe-se que essa eficiência somente será alcançada se as pastagens forem bem-formadas e manejadas, tendo-se sempre uma adequada cobertura do solo.

Algumas espécies de *Brachiaria* (*decumbens* e *brizantha*) e a *Setaria sphacelata* são as mais apropriadas para utilização em áreas montanhosas, com características de boa capacidade de cobertura do solo, produção de forragem na época seca e tolerância à cigarrinha-das-pastagens (exceto *B. decumbens*).

Deve-se evitar o cultivo contínuo de toda a área através de aração e gradagem,

uma vez que as perdas de solo podem atingir valores até seis vezes superiores àqueles encontrados, quando se utilizou o cultivo em faixas, cultivadas em nível, intercaladas por faixas de retenção, não cultivadas (Saraiva, citado por Carvalho, 1988).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, M.C.S. **Práticas de recuperação de uma pastagem degradada e seus impactos em atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo**. 1999. 103f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

CARVALHO, M.M. Recuperação de pastagens degradadas em áreas de relevo acidentado. In: DIAS, L.E.; MELLO, J.W.V. de. (Ed.) **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV, 1988. p.149-161.

CARVALHO, S.I.C. de.; VILELA, L.; SPAIN, J.M.; KARIA, C.T. Recuperação de pastagens degradadas de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk na região dos Cerrados. **Pasturas Tropicais**, Cali, v.12, n.2, p.24-28, ago. 1990.

CENSO AGROPECUÁRIO 1995-1996. Rio de Janeiro: IBGE, 1998. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/ibge/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/default.shtm>>. Acesso em: mar. 2000.

DIAS FILHO, M.B. Pastagens cultivadas na Amazônia Oriental brasileira: processos e causas de degradação e estratégias de recuperação. In: DIAS, L.E.; MELLO, J.W.V.de. (Ed.) **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa: UFV, 1988. p.135-147.

KICHEL, A.N.; MIRANDA, C.H.B.; TAMBOSI, S.A. Produção de bovinos de corte com a integração agricultura x pecuária. In: SIMPÓSIO DE FORRAGICULTURA E PASTAGENS, 1., 2000, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2000. p.51-68.

KONDO, M.K.; DIAS JÚNIOR, M. S. Efeito do manejo e da umidade no comportamento compressivo de três latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p.497-506, jul./set. 1999.

MORAES, A. de. Pastagens como fator de recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO

SOBRE ECOLOGIA DE PASTAGENS, 2., 1993, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, 1993. p.191-215.

NASCIMENTO JÚNIOR, D.; QUEIROZ, D.S.; SANTOS, M.V.F. dos. Degradação das pastagens e critérios para avaliação. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 11., 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. p.107-151.

OLIVEIRA, I.P. de; KLUTHCOUSKI, J.; YOKOYAMA, L.P.; DUTRA, L.G.; PORTES, T. de A.; SILVA, A. E. da; PINHEIRO, B. da S.; FERREIRA, E.; CASTRO, E. da M. de; GUIMARÃES, C.M.; GOMIDE, J. de C.; BALBINO, L.C. **Sistema barreirão: recuperação/renovação de pastagens degradadas em consórcio com culturas anuais**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1996. 87p. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 64).

PUPO, N.I.H. **Manual de pastagens e forrageiras: formação, conservação, utilização**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1979. 343p.

RODRIGUES, L. R. de A.; REIS, R. A. Estabelecimento de outras forrageiras em áreas de *Brachiaria* spp. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 11., 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. p.299-325.

SPAIN, J.M.; GUALDRON, R. Degradación e rehabilitación de pasturas. In: LASCANO, C.; SPAIN, J.M. (Ed.). **Establecimiento y renovación de pasturas**. Cali: CIAT, 1991. 426p.

STODDART, L.A.; SMITH, A.D.; BOX, T.W. **Range management**. 3.ed. New York: McGraw-Hill, 1975. 531p.

YOKOYAMA, L.P.; KLUTHCOUSKI, J.; OLIVEIRA, I.P. de; DUTRA, L.G.; SILVA, J.G. da; GOMIDE, J. de C.; BUSO, L.H. **Sistema Barreirão: análise de custo/benefício e necessidade de máquinas e implementos agrícolas**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1995. 31p. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 56).

ZIMMER, A. H.; MACEDO, M. C. M.; BARCELLOS, A. de. O.; KICHEL, A. N. Estabelecimento e recuperação de pastagens de *Brachiaria*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 11., 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. p.153-208.

Leguminosas e recuperação de áreas degradadas

Álvaro Vilela de Resende¹
Marcos Koiti Kondo²

Resumo - A grande diversidade de espécies e de usos das leguminosas, aliada ao importante papel que estas plantas exercem na incorporação e suprimento de nitrogênio nos ecossistemas, faz com que sua inserção em programas de revegetação de áreas degradadas proporcione vantagens adicionais àquelas normalmente obtidas com plantas de outras famílias botânicas. Diferentes técnicas que envolvem o plantio de leguminosas vêm sendo desenvolvidas e aprimoradas, visando, principalmente, usufruir dos benefícios da fixação biológica de nitrogênio, o que, além de favorecer o estabelecimento de mecanismos naturais de sucessão vegetal e a revitalização do solo, representa economia no uso de fertilizantes nitrogenados e menores riscos ao ambiente.

Palavras-chave: Revegetação; Fixação biológica de nitrogênio; Sucessão vegetal.

INTRODUÇÃO

Da mesma forma que várias são as causas da degradação, várias também são as alternativas de reabilitação de áreas degradadas. Dentre os propósitos ou objetivos finais dos processos de recuperação, tem-se a conversão dessas áreas devolutas em pastagens, em sistemas agroflorestais e em áreas para recreação ou preservação permanente.

Independentemente da finalidade, as ações recuperadoras pressupõem o uso de medidas de proteção do solo, dentre as quais a formação de uma vegetação de cobertura tem sido imprescindível. Neste aspecto, a grande dificuldade consiste no fato de que, quase sempre, a degradação traz como consequência a criação de condições físicas, químicas e/ou biológicas bastante desfavoráveis ao crescimento de plantas no solo ou substrato da área. Idealmente, busca-se o crescimento de plantas com baixa demanda de insumos externos e capazes de criar condições favoráveis aos mecanismos de regeneração natural da área.

Assim sendo, as espécies vegetais empregadas na revegetação, notadamente na fase inicial de recuperação, devem ser rús-

ticas e agressivas o bastante para se estabelecerem nestes ambientes hostis e, preferencialmente, devem apresentar características que contribuam para o reequilíbrio e estabilização do ecossistema, propiciando a atuação dos mecanismos e dos processos naturais de colonização e integração da flora e da fauna.

As plantas leguminosas, devido à ampla diversidade de espécies, versatilidade de usos potenciais e ao seu papel na dinâmica dos ecossistemas, especialmente no tocante ao suprimento e ciclagem do nitrogênio (N), apresentam enorme potencial na reabilitação de áreas degradadas, razão pela qual vêm sendo sistematicamente inseridas em programas dessa natureza.

CARACTERÍSTICAS DAS LEGUMINOSAS

O termo genérico "leguminosa" refere-se às plantas das famílias Caesalpiniaceae, Fabaceae e Mimosaceae. Existem numerosas leguminosas tropicais, havendo ainda muitas espécies desconhecidas e cerca de 13 mil catalogadas, as quais se prestam a uma gama de utilizações, como produção de grãos, frutos, tubérculos, forragem, carvão e celulose, madeira, adubação verde e

arborização (Siqueira & Franco, 1988).

Uma das características que mais chama a atenção nas leguminosas é a capacidade de boa parte das espécies formar simbiose com determinados gêneros de bactérias comumente chamadas de rizóbio. A simbiose permite que o N₂ do ar atmosférico seja convertido e transferido para a planta em formas assimiláveis, mediante a atuação do rizóbio presente em nódulos nas raízes, no processo denominado Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN).

Uma vez que os vegetais superiores não são capazes de aproveitar diretamente o N₂, a FBN assume relevância equiparada à da fotossíntese como processo essencial à vida no planeta. No solo, as formas de N disponíveis às plantas são facilmente perdidas, quando não absorvidas pelas raízes, o que restringe a capacidade de suprimento do nutriente mais exigido pelas plantas. Além disso, o maior reservatório de N no solo é representado pela matéria orgânica que ocorre principalmente nas camadas mais superficiais e que, normalmente, perde-se em função das atividades degradadoras (Franco et al., 1992).

Um outro aspecto relevante é o fato de que muitas leguminosas nodulíferas são

¹Eng^oAgr^o, M.Sc., Prof. Visitante, UFLA - Dep^o Ciências do Solo, Caixa Postal 37, CEP37200-000 Lavras-MG. Correio eletrônico: alvaro@ufla.br

²Eng^oAgr^o, M.Sc., Doutorando, UFLA - Dep^o Ciências do Solo, Caixa Postal 37, CEP37200-000 Lavras-MG. Correio eletrônico: marcoskondo@uol.com.br

também micorrízicas, ou seja, além de se associarem com o rizóbio formam simbiose também com fungos micorrízicos, podendo se valer dos múltiplos benefícios desta interação. A exploração de maior volume de solo pelas hifas da micorriza permite a absorção de nutrientes e de água, além da zona de atuação das raízes. Os maiores benefícios se dão em função do incremento na absorção de nutrientes de baixa mobilidade no solo, notadamente o fósforo (P), e do abrandamento dos problemas relacionados com o pH, alumínio (Al) e manganês (Mn) nos solos ácidos, além de benefícios não-nutricionais. Tais efeitos sobre o desenvolvimento da planta micorrizada são mais importantes e visíveis justamente em ambientes estressantes, como é o caso dos sítios degradados (Furtini Neto et al., 2000 e Siqueira & Franco, 1988).

Neste contexto, a presença de espécies vegetais capazes de crescer e incorporar e reciclar o carbono (C), N e outros nutrientes em solos exauridos é altamente desejável, favorecendo a posterior colonização da área por outras espécies mais sensíveis ou exigentes quanto às características de

solo (Franco et al., 1992).

Adicionalmente, há vantagens econômicas e ambientais relacionadas com o uso dessas espécies. Uma das vantagens é a redução da necessidade de correção do solo e fertilização por meio da seleção de plantas adaptadas e eficientes na aquisição e conversão de nutrientes em biomassa, uma vez que se tem um elevado custo na reabilitação de ambientes degradados, em função dos expressivos gastos com fertilizantes, corretivos e preparo do solo, muitas vezes ampliados pela dificuldade de acesso às áreas. Paralelamente, a menor aplicação de fertilizantes minimiza o risco de contaminação do ecossistema, situação associada principalmente ao uso excessivo de N na adubação.

ESPÉCIES UTILIZADAS

Em princípio, qualquer espécie leguminosa pode ser utilizada na recuperação de áreas degradadas. Mesmo aquelas que não nodulam, apresentam baixa relação C/N em seus tecidos, o que irá favorecer uma rápida decomposição e reciclagem do material

orgânico adicionado pela queda de folhas ou morte da planta, criando condições propícias e ativando a vida microbiana no solo. Um outro exemplo seria o uso de leguminosas produtoras de grãos que, embora sendo mais exigentes, podem compor um esquema de rotação de culturas, o qual é muitas vezes imprescindível à recuperação de áreas degradadas pelo cultivo intensivo que deverá ser incorporado novamente ao sistema produtivo.

Dessa forma, dependendo das características e objetivos do processo de recuperação, bem como das condições climáticas e edáficas do local, têm-se diversas opções de espécies a utilizar. No Quadro 1, são sumarizadas informações sobre uso potencial e outras características de leguminosas herbáceas, arbustivas e arbóreas. Além de revegetação com plantas de porte vegetativo distinto, a existência de espécies pertencentes aos diferentes grupos ecológicos ou sucessivos (Quadro 1) permite inseri-las, conforme a estratégia de recuperação de áreas degradadas, em modelos de sucessão secundária ou em povoamentos puros (Davide, 1994).

QUADRO 1 - Espécies e características de leguminosas tropicais de interesse na recuperação de áreas degradadas

Nome científico	Nome comum	Uso	Fixação de N (kg/ha/ano ou ciclo)	Características ecológicas e adaptação ambiental (Continua)
Leguminosas herbáceas				
<i>Calopogonium mucunoides</i>	Calopogônio	B	370-450	Indicada para pastagens ou lavouras consorciadas.
<i>Canavalia brasiliensis</i>	Feijão-bravo-do-ceará	C	-	-
<i>Canavalia ensiformes</i>	Feijão-de-porco	C	-	-
<i>Centrosema pubescens</i>	Centrosema	B	126-398	-
<i>Clitoria ternatea</i>	Cunhã	B	-	-
<i>Glycine max</i>	Soja	A, B	60-178	-
<i>Lablab purpureum</i>	Lablab	B, C	-	-
<i>Macroptilium atropurpureum</i>	Siratiro	B	-	-
<i>Mucuna aterrima</i>	Mucuna preta	B, C	157	-
<i>Neonotonia wightii</i>	Soja perene	B	160-450	-
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Feijão	A	2,7-110	-
<i>Pueraria phaseoloides</i>	Kudzu tropical	B	30-99	-
<i>Stylosanthes spp.</i>	Estilosantes	B	34-220	Elevada rusticidade e potencial para recuperação de áreas degradadas.
<i>Vigna unguiculata</i>	Caupi	A	73-354	-

Nome científico	Nome comum	Uso	Fixação de N (kg/ha/ano ou ciclo)	Características ecológicas e adaptação ambiental (Continua)
Leguminosas arbustivas				
<i>Cajanus cajan</i>	Guandu	A, B, C	168-280	–
<i>Crotalaria juncea</i>	Crotalária	C	154	–
Leguminosas arbóreas				
<i>Acacia auriculiformes</i>	Acácia auriculiformes	D, E, F, G, H, I	200	Solos ácidos (até pH 3,0), arenosos ou com problemas de drenagem.
<i>Acacia mangium</i>	Acácia mangium	D, E, F, G, H, I	200	Solos ácidos (até pH 4,5), rasos ou com problemas de drenagem.
<i>Acacia polyphylla</i>	Monjoleiro	E, G	–	Pioneira / secundária inicial. Indicada para solos bem drenados.
<i>Acacia senegal</i>	–	D, E, F, G, H, I	–	Solos ácidos, tolerância à seca, ou solos com problemas de drenagem.
<i>Albizia guachapelle</i>	–	D, F, G, I	–	Solos ácidos.
<i>Albizia hasslerii</i>	Farinha-seca	D	–	Secundária tardia / inicial. Indicada para solos mal drenados (brejos, margens de cursos d'água).
<i>Albizia lebbek</i>	Albizia, ébano oriental	D, F, G, I	–	Solos neutros ou ácidos.
<i>Albizia saman</i>	Saman	D, F, G, I	–	Solos ácidos.
<i>Amburana cearensis</i> ⁽¹⁾	Cerejeira	E	–	Pioneira. Solos férteis e bem drenados.
<i>Anadenanthera</i> spp.	Angico-branco, Angico-vermelho, Angico-preto	D, E	–	Secundária tardia / inicial. Indicada para solos bem drenados não sujeitos ao encharcamento.
<i>Andira inermis</i>	–	D, H, I	–	Nativa de solos ácidos.
<i>Andira spectabilis</i>	Angelim-pedra	E	–	–
<i>Bauhinia</i> spp. ^{(1) (2)}	Unha-de-vaca	G, H, I	–	Pioneira. Nativa de solos ácidos, indicada para revegetação de terrenos erodidos e reposição de mata ciliar.
<i>Caesalpinia echinata</i> ⁽¹⁾	Pau-brasil	E, G, H, I	–	Clímax. Nativas de solos ácidos.
<i>Caesalpinia ferrea</i> ⁽¹⁾	Pau-ferro	E, G, H, I	–	Secundária tardia / clímax. Nativas de solos ácidos, indicada para reposição de mata ciliar em locais sem inundação.
<i>Caesalpinia peltophoroides</i> ⁽¹⁾	Sibipiruna	E, G, H, I	–	Nativas de solos ácidos. Indiferente às condições físicas do solo.

Nome científico	Nome comum	Uso	Fixação de N (kg/ha/ano ou ciclo)	Características ecológicas e adaptação ambiental (Continua)
Leguminosas arbóreas				
<i>Calliandra calothyrsus</i>	Caliandra	D, G, I	–	Solos ácidos.
<i>Cassia fistula</i> ⁽¹⁾	Chuva-de-ouro	D, G, H, I	–	Nativa de solos ácidos.
<i>Cassia grandis</i> ⁽¹⁾	Cássia rósea	D, G, H, I	–	Secundária inicial. Nativa de solos ácidos, tolera solos com problemas de drenagem ou inundados.
<i>Cedrelinga catenaeformis</i>	–	E, H	–	Solos ácidos e de baixa fertilidade.
<i>Centrolobium tomentosum</i>	Araribá-rosa	D, E	–	Secundária tardia. Indicada para solos bem drenados não sujeitos ao encharcamento.
<i>Clitoria fairchildiana</i>	Sombreiro	D, G	–	Solos ácidos com problemas de drenagem.
<i>Copaifera langsdorffii</i> ^{(1) (2)}	Óleo copaíba	D, E, H	–	Clímax. Nativa de solos ácidos, indicada para a reposição de mata ciliar para locais com inundações periódicas ou solos encharcados.
<i>Copaifera multijuga</i> ⁽¹⁾	Óleo copaíba	D, E, H	–	Nativa de solos ácidos.
<i>Dalbergia nigra</i>	Jacarandá-da-baía	E	–	Secundária tardia/clímax. Solos de baixa fertilidade, apresenta boa deposição de folhas.
<i>Delonix regia</i> ⁽¹⁾	Flamboyant	G	–	–
<i>Diploptropis purpurea</i>	–	E, H	–	Nativa de solos ácidos.
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Araribá, tamboril	D, E, I	–	Secundária tardia. Solos ácidos e argilosos, não tolera solos rasos e muito úmidos, sendo utilizada em áreas mineradas e em início de desertificação.
<i>Erythrina falcata</i>	Eritrina, suinã canivete	G, H	60	Secundária inicial. Nativa de solos ácidos e com problemas de drenagem.
<i>Gliricidia sepium</i>	Gliricídia	B, D, I	31	Solos ligeiramente ácidos e com problemas de drenagem.
<i>Hymenaea courbaril</i> ^{(1) (2)}	Jatobá	E, H, I	–	Clímax. Nativa de solos ácidos e secos, indicada para reposição de mata ciliar.
<i>Inga</i> spp.	Ingá	D, G, H, I	–	Secundária inicial. Solos ácidos e úmidos, indicada para plantio em faixas próximo aos cursos d'água.

Nome científico	Nome comum	Uso	Fixação de N (kg/ha/ano ou ciclo)	Características ecológicas e adaptação ambiental (Continua)
Leguminosas arbóreas				
<i>Leucaena leucocephala</i>	Leucena	B, D, I	500-600	Solos neutros.
<i>Lonchocarpus guilhemianus</i>	Feijão-cru	D	–	Secundária tardia. Indicada para solos mal drenados (brejos, margens de cursos d'água).
<i>Machaerium nycitans</i>	Bico-de-pato	D	–	Secundária tardia. Indicada para solos bem drenados não sujeitos ao encharcamento.
<i>Machaerium stiptatum</i>	Sapuvinha	E	–	Secundária tardia. Indicada para solos bem drenados não sujeitos ao encharcamento.
<i>Machaerium vilosum</i>	Jacarandá paulista	E	–	Secundária tardia. Indicada para solos bem drenados não sujeitos ao encharcamento.
<i>Melanoxylon brauna</i>	Braúna	E	–	–
<i>Mimosa acutistipula</i>	Jurema-preta	F	–	–
<i>Mimosa bimucronata</i>	Maricá	D, I	–	Pioneira. Solos ácidos, rochosos, ou com problemas de drenagem.
<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>	Sabiá	B	–	Pioneira. Solos ligeiramente ácidos. Prefere solos profundos. Planta de ambientes secos (xerófita).
<i>Mimosa flocculosa</i>	–	D, I	–	Solos ácidos.
<i>Mimosa scabrella</i>	Bracatinga	D, F, I	até 253	Pioneira. Solos ácidos, tolera terrenos pedregosos e terraplanados ou minerados.
<i>Mimosa tenuiflora</i>	–	D, I	–	Solos neutros.
<i>Mora paraensis</i> ⁽¹⁾	–	E, H	–	Nativa de solos ácidos, tolera solos com problemas de drenagem.
<i>Myroxylum peruiferum</i>	Cabreúva	E	–	Secundária tardia / clímax. Indicada para solos bem drenados não sujeitos ao encharcamento.
<i>Ormosia</i> spp. ⁽²⁾	Tento	G	–	Clímax. Indicada para solos bem drenados não sujeitos ao encharcamento.
<i>Paraserianthes falcataria</i>	–	D, F, H	–	Solos ácidos.
<i>Parkia</i> spp. ⁽¹⁾	Parkia, angelim	E, G, H, I	–	Nativa de solos ácidos e bem drenados.
<i>Peltophorum dubium</i> ⁽¹⁾	Angico-amarelo canafístula	D, E	–	Secundária inicial / tardia. Solos ácidos e pobres, mal drenados, responde a pequenas doses de P.

Nome científico	Nome comum	Uso	Fixação de N (kg/ha/ano ou ciclo)	Características ecológicas e adaptação ambiental (Conclusão)
Leguminosas arbóreas				
<i>Pentaclethra macroloba</i>	–	D, I	–	Solos ácidos e encharcados.
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	Pau-jacaré	D, F	–	Secundária inicial. Solos ácidos. Indicada para terrenos erodidos e de baixa fertilidade, responde à adubação.
<i>Plathymenia</i> spp.	Vinhático	E	–	Solos bem drenados.
<i>Platycyamus regnellii</i> ⁽²⁾	Pau-pereira	E	–	Secundária tardia. Indicada para solos bem drenados não sujeitos ao encharcamento.
<i>Platymiscuim uley</i>	–	E	–	Solos ácidos e encharcados.
<i>Platypodium elegans</i>	Jacarandá-do-campo	E	–	Secundária tardia. Indicada para solos bem drenados não sujeitos ao encharcamento.
<i>Prosopis juliflora</i>	Algaroba	B, D	–	Solos arenosos ou salinos.
<i>Pterogyne nitens</i>	Amendoim-bravo	–	–	Secundária tardia. Indicada para solos bem ou mal drenados.
<i>Schizolobium amazonicum</i> ⁽¹⁾	–	D, E, F, H	–	Pioneira. Nativa de solos ácidos.
<i>Schizolobium parahyba</i> ^{(1) (2)}	Guapuruvu	D, E, F, H	–	Secundária inicial / pioneira. Nativa de solos ácidos. Indicada para solos mal drenados.
<i>Senna macranthera</i> ⁽¹⁾	Fedegoso	D, E	–	Pioneira. Indiferente às características físicas do solo. Responde à adubação.
<i>Senna multijuga</i> ⁽¹⁾	Canafístula, cássia verrugosa	G	–	Pioneira / secundária inicial. Nativa de solos ácidos, utilizada em áreas mineradas.
<i>Sesbania grandiflora</i>	Sesbânia	B, D	–	Solos ácidos ou com problemas de drenagem.
<i>Sesbania grandiflora</i>	Sesbânia	D, H, I	–	Solos ácidos e encharcados.
<i>Stryphnodendron guianense</i>	–	E, F	–	Nativa de solos ácidos.
<i>Swartzia laevicarpa</i>	–	E	–	Solos ácidos e encharcados.
<i>Tamarindus indica</i>	Tamarindo	I	–	–

FONTE: Dados básicos: Siqueira & Franco (1988), Franco et al. (1992), Carvalho (1994), Siqueira et al. (1994) e Gonçalves et al. (2000).

NOTA: A - Grão; B - Forragem; C - Adubo verde; D - Lenha, carvão; E - Madeira para serraria, postes; F - Celulose e papel; G - Arborização, ornamental; H - Produtos fitoquímicos medicinais; I - Outros: sombreamento, cerca viva, flora apícola, alimentação humana ou animal.

(1) Espécies não-nodulíferas. (2) Não responde à micorrização.

A despeito do potencial das leguminosas como condicionadoras de solo para a recuperação de áreas degradadas e dos esforços nas pesquisas sobre o tema, as informações disponíveis sobre as características das espécies e seu comportamento em diferentes ambientes são ainda bastante restritas.

Há conhecimento sobre cerca de 600 espécies de leguminosas arbóreas tropicais capazes de fixar N em simbiose com o rizóbio. O isolamento dessas bactérias presentes nos nódulos gerou um banco com 5 mil estirpes (Franco et al., 2001). É sabido que a quantidade de N fixado depende de fatores que afetam a eficiência simbiótica, tais como a espécie vegetal, o potencial da estirpe de rizóbio, as condições ambientais e suas interações. Porém, contrariamente às espécies tradicionais empregadas na agricultura, dados sobre a capacidade de fixação de N em leguminosas arbóreas são desconhecidos para a maioria delas (Quadro 1).

Existem subsídios para nortear a escolha de espécies, conforme as condições físicas, de fertilidade do solo e de drenagem da área a ser reabilitada (Quadro 1). No entanto, à exceção de leguminosas como a leucena, bracatinga e outras que vêm sendo utilizadas para finalidades diversas há mais tempo, indicações sobre as exigências e/ou adaptação ambiental das espécies são relativamente superficiais e, em alguns casos, controversas.

FORMAS DE UTILIZAÇÃO

Por apresentarem características desejáveis de adaptação, crescimento e melhoria do ambiente, espécies leguminosas vêm sendo introduzidas em sistemas de recuperação de áreas degradadas com resultados vantajosos. Conforme o tipo de degradação sofrida e as finalidades de uso futuro da área, busca-se a seleção de espécies mais promissoras para tais condições.

Recuperação de áreas de uso agrícola

A utilização de leguminosas pode produzir um efeito protetor contra a erosão do solo, um dos principais processos relacio-

nados com degradação de áreas exploradas para a produção agrícola convencional. Tal proteção está diretamente ligada à capacidade de cobertura do solo pelas espécies empregadas (Nascimento, 1994).

Há relatos de que o vigor de crescimento do sistema radicular de determinadas leguminosas como a crotalária, além de reciclar os nutrientes acumulados em profundidade no solo, pode, ao menos em parte, favorecer o rompimento de camadas compactadas no perfil.

Diversas são as possibilidades de obter os benefícios das leguminosas na agricultura em geral. Os esquemas de rotação de culturas preconizam o uso de leguminosas alternadas às demais culturas, com características morfofisiológicas distintas, como forma de criar agroecossistemas mais estáveis e sustentáveis. Um exemplo é a difundida sucessão milho/soja considerada um sistema com efeito conservacionista bastante satisfatório no tocante ao controle da erosão (Monegat, 1992). O uso de leguminosas em consorciação com outras culturas anuais, ou como cobertura de solo em períodos de pousio, ou ainda como adubo verde nas entrelinhas de culturas perenes, constitui outras opções de inserção destas plantas nos sistemas agrícolas.

Um fato de especial relevância é a ocorrência de voçorocas nas zonas rurais, embora, não raro, seja este também um problema em áreas urbanas. Como consequência de processos erosivos severos, as voçorocas inutilizam extensas áreas produtivas em curto espaço de tempo, dada a rápida expansão das enormes crateras que se formam.

Muito mais que reabilitar estas áreas para a geração de retornos econômicos, a preocupação inicial é interromper o processo degradatório e promover a estabilização do local, estancando a movimentação de solo em direção aos mananciais de água e reduzindo o assoreamento. Este efeito desejável foi obtido por Davide et al. (1994), quando aliam práticas mecânicas e vegetativas para recuperação de uma área com voçorocas. Dentre outras plantas arbóreas, as leguminosas acácia mangium,

bracatinga e cássia verrugosa destacaram-se pela capacidade de rápido crescimento, contribuindo para a revitalização do ambiente.

Recuperação de pastagens

A importância da utilização de leguminosas na formação, manutenção e recuperação de pastagens está ligada à procura de um sistema de produção de forragem de alta qualidade, do ponto de vista da alimentação animal, mas, principalmente, buscando-se a auto-suficiência em N neste sistema. Além disso, as leguminosas podem levar à interrupção do ciclo de pragas e doenças das gramíneas (Alves & Medeiros, 1997). Em ecossistemas de pastagens, estes autores relatam alternativas que envolvem o uso de leguminosas em rotação, consórcio com culturas anuais ou consórcio com gramíneas. Neste último caso, apesar do esforço para se desenvolverem tecnologias eficientes, dificuldades práticas são encontradas para o manejo adequado das plantas em consorciação com gramíneas, tais como, o pisoteio, pastejo seletivo, sombreamento ou a dominância de uma das forrageiras, comprometendo a longevidade da consorciação.

Recomposição de matas ciliares

É indiscutível a necessidade de inserir plantas leguminosas, preferencialmente as nativas, em qualquer tentativa de recomposição de vegetação ciliar (Siqueira et al., 1995). Várias espécies pioneiras, secundárias e clímax são de ocorrência comum nas formações florestais ao longo dos cursos d'água e exercem importante papel na dinâmica destes ecossistemas. Pode-se citar, por exemplo, a típica interação com a fauna (peixes, mamíferos e pássaros), quando da disponibilidade de frutos de ingá, jatobá e óleo copaíba nas florestas de proteção dos mananciais de água.

As empresas envolvidas no ramo de geração de energia hidrelétrica já possuem programas e tecnologias próprias de reflorestamento, especialmente às margens dos reservatórios das represas, visando garantir maior vida útil destas. Neste contexto, as leguminosas são espécies estratégicas.

Reabilitação de áreas de empréstimo e áreas mineradas

Característica comum das áreas de empréstimo é a degradação física do solo, muitas vezes caracterizada pela remoção do horizonte superficial, com perda da estruturação, compactação e, em consequência, dificuldade de infiltração de água e intensificação dos processos erosivos. Logicamente, nesta situação é notória a restrição ao desenvolvimento da maioria das espécies vegetais, um empecilho a mais para a proteção e reabilitação do local.

Em função do comportamento distinto entre espécies, quanto à tolerância à baixa fertilidade e à compactação do solo (Dias, 1996), a seleção daquelas mais promissoras para o uso em recuperação de áreas degradadas é um aspecto-chave no planejamento de um programa de revegetação.

O uso da bracinga, dentre diversas estratégias de revegetação com outras espécies arbóreas e gramíneas, foi a prática mais eficiente na recuperação da diversidade microbiológica, que apresentou bons resultados também em relação às características de densidade do solo e porosidade em área de exploração de bauxita na região de Poços de Caldas-MG (Souza, 1996).

Boni et al. (1994) observaram que os plantios de crotalária e guandu propiciaram melhoria das características físicas na recuperação de uma área compactada de Latossolo Roxo, do qual foi removido o horizonte A. Houve redução na densidade global e aumentos no diâmetro médio de agregados e na porosidade. A grande exploração do solo pelo sistema radicular destas espécies e a cobertura do solo favorecem a infiltração e a retenção de água e, conseqüentemente, a maior proteção contra a erosão, fatores decisivos na recuperação do solo nas condições mencionadas.

O plantio de espécies capazes de crescer em solo compactado pode permitir também a redução dos custos de preparo do substrato como escarificação e subsolação. Tal situação foi sugerida por Campello (1999), quando da utilização das leguminosas *Acacia holosericea*, *Sesbania virgata* e *Pseudosamanea guachapele* em área de

estéril de bauxita compactado. Este autor observou também que o uso de leguminosas arbóreas fixadoras de N, nativas ou exóticas, beneficiou a regeneração natural de espécies nativas. Segundo este autor, os principais condicionantes deste efeito foram a quantidade e a qualidade do *litter*, formado por material com menos lignina e rico em N; favorecendo a microbiota do solo e a ciclagem de nutrientes.

Reabilitação de áreas contaminadas

Muitas atividades geram rejeitos derivados de processos industriais que, depositados no ambiente, são potencialmente nocivos às plantas, aos animais ou ao próprio homem. Dentre os contaminantes, os metais pesados têm sido motivo de grande preocupação. O melhor destino final destes materiais e formas de proteger depósitos e áreas contaminadas geralmente exigem a implantação de vegetação de cobertura, de preferência com capacidade descontaminante, por meio de técnicas de fitorremediação. O maior entrave consiste na restrição imposta ao desenvolvimento da maioria das plantas pela presença de tais substâncias poluentes, motivando a seleção de espécies aptas a crescer nestas condições.

Comparando o crescimento e nodulação de diversas leguminosas herbáceas e arbóreas em solo com diferentes níveis de contaminação por zinco (Zn) e cádmio (Cd), Mostasso (1997) indicou a mucuna preta e o tamboril como plantas promissoras para revegetação de áreas contaminadas por metais pesados, com crescimento satisfatório em solo que contém até cerca de 1.860 mg Zn e 13,5 mg Cd/dm³. Nesta mesma linha de estudo, em relação a várias outras espécies florestais, o jatobá teve seu crescimento pouco afetado em substrato contaminado por Zn, Cd, chumbo (Pb) e cobre (Cu), sendo indicado como planta potencialmente apta ao plantio em solos com problemas de excesso destes metais (Marques et al., 1997).

Apesar de se tratar de um nutriente essencial às plantas, o Mn, em concentrações excessivas, dificulta o desenvolvimento da vegetação de proteção em substratos ricos deste nutriente, especial-

mente em condições de elevada acidez. Num ensaio comparativo envolvendo 12 espécies leguminosas e seis gramíneas crescidas em material de área de empréstimo rico em Mn, Einloft (1996) verificou que as leguminosas mucuna preta e *Arachis* foram as plantas com maior potencialidade para plantio nestas condições, não tendo sido seu crescimento afetado pelo excesso de Mn.

SISTEMAS DE MULTIPLICAÇÃO E PLANTIO

Uma etapa essencial ao êxito da utilização de leguminosas consiste na obtenção de sementes e/ou mudas selecionadas e de alto vigor, haja vista que tais características são decisivas no transcorrer da fase mais crítica de desenvolvimento da planta que é o estabelecimento inicial após a semeadura ou transplantio da muda no campo.

É preciso considerar também que a definição do melhor sistema de plantio de leguminosas varia segundo as peculiaridades das espécies e da área a ser revegetada, bem como os objetivos a serem alcançados e as condições de manejo adotadas.

Produção de sementes e mudas

A multiplicação da maioria das espécies leguminosas é realizada através de sementes, sendo os métodos de propagação vegetativa relativamente pouco empregados.

No caso de leguminosas herbáceas, muitas vezes pode ser realizada a semeadura direta, dada a maior facilidade de obtenção de sementes em quantidade e com certa qualidade. É possível, em pequenas áreas, proceder ao cultivo visando à multiplicação para produção de sementes das espécies de interesse (Monegat, 1992). Eventualmente, nos estabelecimentos que comercializam produtos agropecuários, podem-se adquirir sementes daquelas espécies mais comumente utilizadas como adubos verdes, forrageiras, culturas de inverno e cercas vivas.

Maior dificuldade existe para a multipli-

cação das espécies leguminosas arbóreas e mais especificamente nativas. Normalmente, o plantio é feito por mudas produzidas em viveiro. Quando não há possibilidade de aquisição das mudas de viveiristas, empresas especializadas em reflorestamento para fins ambientais, universidades ou institutos florestais, a solução pode ser a identificação e seleção de plantas matrizes para coleta de sementes em remanescentes de matas, preferencialmente próximas da área a ser revegetada. De acordo com Santarelli (1996), importa ainda observar que sejam espécies ocorrentes em locais com características semelhantes às da área a recuperar.

Uma vez feitas as coletas, para cada espécie, é importante conhecer suas características, tais como, forma de processamento do material coletado, período de viabilidade, necessidade de tratamentos para quebra de dormência e condições ideais de germinação das sementes e formação das mudas. Geralmente, estas informações são peculiares a uma espécie ou grupo de espécies e estão disponíveis em publicações específicas, tais como as de Franco et al. (1992), Lorenzi (1992), Carvalho (1994), Davide et al. (1995) e Gonçalves et al. (2000), ainda que de forma superficial, dada a carência de estudos para a maioria das espécies.

A produção de mudas pode ser feita em sacos plásticos, bandejas de isopor ou tubetes. Ao que parece, a última opção é mais vantajosa. Entre outros motivos, ela favorece a formação de mudas de melhor qualidade (especialmente quanto à conformação do sistema radicular), apresenta maior facilidade de manuseio e transporte, propicia economia de substrato e possibilita a reutilização dos tubetes, embora exija maior investimento inicial. Os substratos podem ser os mais variados, devendo apresentar boa estrutura e consistência para dar suporte às plantas, boa porosidade (drenagem fácil) e retenção de umidade, ausência de substâncias tóxicas e inóculos de patógenos (Gonçalves et al., 2000).

Estes autores apresentam uma série de recomendações para a produção de substratos de boa qualidade.

Devido à grande variação de respostas das espécies à fertilização (Furtini Neto et al., 2000), não há quantidades pré-definidas de nutrientes a serem fornecidas às mudas. Ressalta-se porém, que, tanto a pobreza em nutrientes, quanto a fertilização exagerada do substrato para leguminosas podem inibir as simbioses com rizóbio e fungos micorrízicos. Franco et al. (1992) sugerem como substrato uma mistura, em volume, de 10% de fosfato de rocha, 30% de areia, 30% de solo argiloso e 30% de composto orgânico ou esterco curtido.

Alguns cuidados, contudo, são imprescindíveis para obtenção de mudas mais vigorosas e com maior capacidade de sobrevivência no campo. A inoculação das sementes com rizóbio e fungos micorrízicos pode conferir às mudas grande vantagem adaptativa após o transplantio nas condições quase sempre estressantes dos solos degradados.

Para as leguminosas herbáceas são empregados inoculantes comerciais. Inoculantes com estirpes de rizóbio específicas para leguminosas florestais, bem como inóculos de fungos micorrízicos, podem ser obtidos junto à Embrapa Agrobiologia³, mediante reembolso postal. Para tanto, deve-se contatar a Instituição, indicando a espécie a ser plantada.

Em geral, o inoculante contendo o rizóbio é à base de turfa. Utilizam-se cerca de 200g para 1kg de sementes, as quais devem ser umedecidas com água e, em seguida, misturadas ao produto até que este forme uma camada que as envolvam. Após secagem à sombra, procede-se à semeadura. O inóculo micorrízico é obtido a partir do cultivo, em vasos, de um hospedeiro (ex: *Brachiaria decumbens*) e constitui-se de uma mistura de solo + raízes colonizadas + esporos. Para inoculação, pequena quantidade deste material é colocada no substrato, no mesmo orifício que irá receber a semente (Franco et al., 1992).

A semeadura pode ser feita diretamente nos recipientes sob luminosidade de 50% (uso de tela sombrite ou ripado). Efetua-se posteriormente o desbaste, mantendo uma planta por recipiente. Aos 30 dias após a germinação, as plantas devem ser postas a crescer a pleno sol.

O tamanho ideal para o transplantio das mudas é quando apresentam entre 20 e 35cm de altura. O tempo de viveiro, em média, varia de 100 a 160 dias, sendo mais breve para espécies pioneiras, de rápido desenvolvimento, e mais dilatado para as clímax, as quais apresentam menor taxa de crescimento. Em qualquer situação é recomendada uma pré-adaptação das mudas, condicionando-as à menor disponibilidade de água e nutrientes no período que precede o transplantio.

Sistemas de plantio

Conforme a finalidade ou características do processo de reabilitação, podem-se adotar diferentes estratégias de plantio. O plantio puro de leguminosas é mais comum em áreas agrícolas para adubação verde, cultura de cobertura ou de inverno. Mais rara e pouco recomendada é a introdução de uma única espécie arbórea como bratinga ou acácia mangium em plantios florestais (Davide, 1994), na recuperação de áreas degradadas. Contudo, em áreas de mineração de bauxita na Amazônia, a acácia mangium em plantio puro, aos dez anos, proporcionou riqueza de espécies em sub-bosque comparável à de uma de plantio heterogêneo de essências nativas na mesma idade, embora a densidade de plantas tenha sido menor no primeiro caso, fato este atribuído ao bloqueio que o *litter* de acácia exerce sobre as sementes, impedindo-as de alcançar o solo e germinar (Campello, 1999).

O plantio consorciado de leguminosas com espécies de outras famílias botânicas constitui alternativa de manejo em áreas de pastagens.

Em se tratando da reabilitação de áreas

³Endereço da Embrapa Agrobiologia: Antiga Rodovia Rio-São Paulo, Km 47 - Caixa Postal 74505 - CEP 23851-970 Seropédica-RJ. Tel. (21) 682-1500, Fax (21) 682-1230, E-mail: sac@cnpas.embrapa.br, site: www.cnpab.embrapa.br

por meio de reflorestamento, a prática mais comum é o plantio misto de espécies leguminosas e um número de outras espécies com diversidade de características botânicas, sucessionais e/ou de hábitos de crescimento. Tal procedimento tende a criar melhores condições de restabelecimento de equilíbrio e biodiversidade, além de conferir à área um visual mais parecido com o de paisagens não perturbadas.

Especialmente áreas degradadas, ao ponto de não mais permitirem o desencadeamento da sucessão secundária, requerem a intervenção humana através de técnicas de revegetação. Opção bastante promissora é a implantação de sistemas agroflorestais como forma de recuperação e conservação ambiental com viabilidade de geração de renda na atividade agropecuária (Macedo, 1992). Nesses sistemas, podem-se utilizar leguminosas arbóreas rústicas em plantios em faixas ao longo da área ou no enriquecimento de capoeiras, apressando a melhoria das condições edáficas e possibilitando a reincorporação das áreas às atividades agropecuárias normais em esquema rotativo. Neste contexto, a escolha de espécies de valor comercial para produção de madeira, por exemplo, é uma alternativa atraente do ponto de vista de retorno a médio ou a longo prazo.

A formação de ilhas de vegetação pode ser a opção mais viável, quando não se dispõe de condições técnicas e/ou econômicas para instalação de plantios em área total. Com o tempo, há expansão da área vegetada, permitindo o ressurgimento de uma dinâmica de sucessão vegetal que venha a cobrir totalmente o local. Neste aspecto, a *Acacia mangium* mostrou-se bastante eficiente em comparação a outras espécies (Guedes et al., 1997).

MANEJO DAS PLANTAS

Merecem menção alguns aspectos básicos relacionados com o plano de manejo de leguminosas, por ocasião do plantio no campo até a fase de pleno estabelecimento de vegetação, a partir da qual a importância dos cuidados na área tende a ser superada por mecanismos naturais de reequi-

líbrio desencadeados no novo ecossistema.

Práticas culturais

Na realidade não há ainda práticas culturais perfeitamente definidas para o plantio de leguminosas, assim como para outras espécies, utilizadas na recuperação de áreas degradadas.

Preferencialmente, o transplante deve coincidir com o período chuvoso, pois a necessidade de irrigação das mudas no campo, além de laboriosa, onera sensivelmente o programa de revegetação.

Faltam informações detalhadas sobre a adubação e correção do solo para a maioria das espécies florestais, inclusive as leguminosas. Sempre que possível deve-se dar preferência àquelas espécies que aliem crescimento vigoroso com menor exigência nutricional, sendo aptas, portanto, à revegetação de áreas de baixa fertilidade (Quadro 1).

Entretanto, é comum o plantio em solos ou substratos desprovidos de nutrientes em quantidades adequadas e com outras características químicas desfavoráveis, como aquelas relacionadas com as condições de acidez do solo. Neste caso, notadamente para espécies mais exigentes, a calagem e o fornecimento de nutrientes via fertilização mineral ou orgânica são fundamentais para o pegamento e desenvolvimento satisfatório das mudas no campo. Em geral, espécies de crescimento lento (secundárias tardias e clímax) são menos dependentes do nível de fertilidade do solo e pouco responsivas à adubação. Por outro lado, espécies de rápido crescimento (pioneiras) são altamente responsivas e a fertilização incrementa sobremaneira sua capacidade recuperadora e protetora do solo (Furtini Neto et al., 2000).

Para se obterem os benefícios da inoculação com rizóbio e fungos micorrízicos nas leguminosas, deve-se atentar para o fato de que fertilizações com N inibem a simbiose com o rizóbio e, conseqüentemente, a FBN. Da mesma forma, adubações fosfatadas pesadas não são recomendadas para espécies com capacidade micotrófica.

O espaçamento entre plantas depende principalmente do porte das espécies escolhidas e da disponibilidade de mudas. O espaçamento ótimo deve atender às exigências de luminosidade das espécies, porém de forma que elimine, o quanto antes, a necessidade de controle de plantas invasoras, que venham a competir por água, nutrientes e/ou luz. Espécies colonizadoras, agressivas, como o maricá, angico e a bractinga são plantadas em maior densidade (Santarelli, 1996). Este autor sugere que num esquema de quincênio, espécies de crescimento mais lento sejam ladeadas por espécies de rápido desenvolvimento, o que proporciona melhor recobrimento da área e tutoramento das espécies com menor taxa de crescimento.

O controle manual (coroamento, roçadas) ou químico (entrelinhas) de plantas indesejáveis precisa ser realizado com zelo na fase inicial de crescimento das mudas, haja vista que a maioria das espécies leguminosas não suporta o abafamento e sombreamento excessivo, sendo freqüente a sua morte nestas condições. Exceção pode ser feita ao comportamento da sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) e *Acacia auriculiformes*, leguminosas arbóreas de crescimento bastante intenso que, plantadas em área tomada por capim-colonião (*Panicum maximum*), chegaram a suprimir a gramínea após o primeiro ano do plantio, cobrindo completamente uma área de encosta (Santos et al., 1994).

Vale lembrar ainda que ameaças constantes às plantas são representadas pelas formigas cortadeiras e pelo risco de incêndio. O combate e o monitoramento das saúvas devem ser feitos freqüentemente nos primeiros anos após o plantio. Já o problema do fogo na vegetação ocorre especialmente durante as épocas mais secas ao longo do ano, e a construção preventiva de aceiros precisa fazer parte do cronograma de operações a serem executadas nas áreas em processo de recuperação.

Sucessão natural

Por via de regra, após certo tempo da implantação de uma vegetação de cober-

tura em áreas antes desprotegidas, há um estímulo aos processos de sucessão e, espontaneamente, espécies plantadas ou oriundas de mecanismos de dispersão natural de sementes passam a desenvolver uma dinâmica, quando plantas pioneiras, de ciclo de vida curto, ao morrerem, abrem espaço para que plantas clímax ganhem lugar e luz no dossel que se forma. Neste estágio, praticamente não existe mais a necessidade de intervenção humana no manejo das plantas propriamente dito, restando apenas os cuidados de proteção externa da área como um todo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, S.J.; MEDEIROS, G.B. Leguminosas em renovação de pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSISTEMAS DE PASTAGENS, 3., 1997, Jaboticabal. *Anais...* Jaboticabal: UNESP, 1997. p.251-272.
- BONI, N.R.; ESPINDOLA, C.R.; GUIMARÃES, E.C. Uso de leguminosa na recuperação de um solo decaptado. In: SIMPÓSIO SUL AMERICANO, 1.; SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., 1994, Foz do Iguaçu. *Anais...* Curitiba: FUPEF, 1994. p.563-568.
- CAMPELLO, E.F.C. **A influência de leguminosas arbóreas fixadoras de nitrogênio na sucessão vegetal em áreas degradadas na Amazônia.** 1999. 121f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.
- CARVALHO, P.E.R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira.** Brasília: EMBRAPA-CNPQ, 1994. 639p.
- DAVIDE, A.C. Seleção de espécies vegetais para recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO SUL AMERICANO, 1.; SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., 1994, Foz do Iguaçu. *Anais...* Curitiba: FUPEF, 1994. p.111-122.
- _____; FÁRIA, J.M.R.; BOTELHO, S.A. **Propagação de espécies florestais.** Belo Horizonte: CEMIG, 1995. 41p.
- _____; _____. PRADO, N.J.S. Recuperação de uma área ocupada por voçoroca, através de reflorestamento misto. In: SIMPÓSIO SUL AMERICANO, 1.; SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., 1994, Foz do Iguaçu. *Anais...* Curitiba: FUPEF, 1994. p.401-408.
- DIAS, L.E. O papel das leguminosas arbóreas noduladas e micorrizadas na recuperação de áreas degradadas. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 3., 1996, Curitiba. *Anais...* Curitiba: UFPR, 1996. p.9-16.
- EINLOFT, R. **Crescimento de gramíneas e leguminosas em substrato rico em manganês proveniente de área de empréstimo.** 1996. 74f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.
- FRANCO, A.A.; CAMPELLO, E.F.; SILVA, E.M.R. da; FÁRIA, S.M. de. **Revegetação de solos degradados.** Seropédica: EMBRAPA-CNPBS, 1992. 9p. (EMBRAPA-CNPBS. Comunicado Técnico, 9).
- _____; FÁRIA, S.M.; CAMPELLO, E.F.; **Recuperando áreas degradadas.** Disponível em: <<http://www.cnpab.embrapa.br/area.html>>. Acesso em: 23 fev. 2001.
- FURTINI NETO, A.E.; SIQUEIRA, J.O.; CURI, N.; MOREIRA, F.M.S. Fertilização em reflorestamento com espécies nativas. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal.** Piracicaba: IPEF, 2000. p.351-383.
- GONÇALVES, J.L.M.; SANTARELLI, E.G.; MORAES NETO, S.P.; MANARA, M.P. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal.** Piracicaba: IPEF, 2000. p.309-350.
- GUEDES, M.C.; CAMPELLO, E.F.; MELO, V.A.; GRIFFITH, J.J. Seleção de espécies para recuperação de áreas degradadas por meio da formação de ilhas de vegetação. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 3., 1997, Ouro Preto. *Anais...* Viçosa: UFV, 1997. p.276-282.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** Nova Odessa: Plantarum, 1992. 368p.
- MACEDO, R.L.G. Sistemas agroflorestais com leguminosas para recuperar áreas degradadas por atividades agropecuárias. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1., 1992, Curitiba. *Anais...* Curitiba: FUPEF, 1992. p.288-297.
- MARQUES, T.C.L.L.S.M.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S. Crescimento de mudas de espécies arbóreas em solo contaminado com metais pesados. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 3., 1997, Ouro Preto. *Anais...* Viçosa: UFV, 1997. p.429-436.
- MONEGAT, C. A pequena propriedade: degradação, revegetação e outras práticas conservacionistas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1., 1992, Curitiba. *Anais...* Curitiba: FUPEF, 1992. p.97-106.
- MOSTASSO, F.L. **Crescimento e nodulação de leguminosas em solo contaminado por metais pesados.** 1997. 50f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- NASCIMENTO, P.C. **Razão de perdas de solo sob cultivo de três leguminosas.** 1994. 59f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- SANTARELLI, E.G. Recuperação de mata ciliar: seleção de espécies e técnicas de implantação. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 3., 1996, Curitiba. *Anais...* Curitiba: UFPR, 1996. p.101-105.
- SANTOS, C.J.F.; CUNHA, C.O.; CAMPOS NETO, D.; FONTES, A.M.; FRANCO, A.A. Uso de leguminosas arbóreas no reflorestamento de encosta de risco geotécnico sobre comunidade de baixa renda. In: SIMPÓSIO SUL AMERICANO, 1.; SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., 1994, Foz do Iguaçu. *Anais...* Curitiba: FUPEF, 1994. p.361-369.
- SIQUEIRA, J.O.; CURI, N.; VALE, F.R.; FERREIRA, M.M.; MOREIRA, F.M.S. **Aspectos de solos, nutrição vegetal e microbiologia na implantação de matas ciliares.** Belo Horizonte: CEMIG, 1995. 28p.
- _____; FRANCO, A.A. **Biotechnology do solo: fundamentos e perspectivas.** Lavras: ESAL, 1988. 236p.
- _____; MOREIRA, F.M. de S.; GRISI, B.M.; HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R.S. **Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental.** Brasília: EMBRAPA-CNPQ, 1994. 142p. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 45).
- SOUZA, J.A. **Avaliação das estratégias de recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita em Poços de Caldas-MG.** 1996. 104f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

Recuperação de áreas com problemas de salinização

Francisco Sandro Rodrigues Holanda¹

Cláudio Roberto Marciano²

Alceu Pedrotti³

Jason Franca de Aguiar⁴

Valbério Paolilo dos Santos⁵

Resumo - Solos salinos são de ocorrência natural em locais onde a precipitação é consideravelmente menor que a evapotranspiração potencial na maior parte do ano. Para a sua recuperação são necessárias medidas como a incorporação de resíduos e a adição de produtos químicos. O gesso e o enxofre têm-se mostrado como alternativas químicas para reabilitação de solos salinizados, utilizados como corretivos, para remoção dos sais, embora tragam consigo questões relacionadas com o elevado custo de recuperação. Assim, o uso de plantas halófitas representa uma alternativa potencial para o aumento da produção agrícola e para o melhoramento do solo, com baixo custo. A utilização tanto de espécies herbáceas com raízes profundas, quanto de gramíneas com grande densidade de radículas, que permitem aumentar a porosidade do solo, a formação de uma cobertura morta em sua superfície e/ou a incorporação desta matéria orgânica ao solo e a adubação verde são exemplos de práticas culturais que podem ser utilizadas para a recuperação de solos salinizados. Alguns aspectos relacionados com a questão da salinização dos solos devem nortear a pesquisa no sentido de identificar os fatores predisponentes a condições adversas e buscar alternativas viáveis e adaptáveis à realidade econômica da região afetada.

Palavras-chave: Salinidade; Solos salinos; Plantas halófitas; Recuperação de solo.

INTRODUÇÃO

O aumento das terras apresentando problemas com salinização tem-se tornado motivo de grande preocupação, principalmente por se concentrar em áreas irrigadas que receberam altos investimentos em infra-estrutura para sua implantação.

Em regiões áridas e semi-áridas, o emprego da irrigação sem um manejo adequado e as condições de drenagem deficientes contribuem para que o processo de salinização seja acelerado, podendo atingir níveis prejudiciais à maioria das culturas em um espaço de tempo relativamente curto.

De acordo com Pereira & Cobbe (1990), em levantamento realizado pela Embrapa

Solos no Nordeste do Brasil, os solos afetados por excesso de sais ocupam cerca de 2,5 milhões de ha, com áreas onde o suprimento de água é limitado e as estratégias de uso dessa água precisam de cuidadosas considerações. Segundo Goes (1978) e Gheyi (2000), cerca de 28% dos perímetros irrigados no Nordeste apresentam problemas de salinidade.

Sendo a escassez de água o principal fator que limita a produção agrícola nessa região, a irrigação é, sem dúvida, uma ferramenta que pode contribuir efetivamente para a solução desse problema. Estimulada enquanto política de desenvolvimento rural a partir da década de 70, a agricultura irrigada transforma os ambientes de climas

mais áridos em vantagem competitiva. A insolação durante cerca de oito meses do ano e os climas quente e seco são aliados essenciais da produção irrigada de frutas e hortaliças de qualidade, não apenas para exigências do mercado interno mas, também, para os padrões de consumo da Europa e América do Norte – destino das frutas exportadas da região.

A salinização, devido à ação antrópica, é, de fato, a que merece maior preocupação. Em todo o mundo, o uso intensivo de água de boa qualidade tem acarretado, de forma crescente, a diminuição da sua disponibilidade para áreas irrigadas. Por outro lado, a crescente necessidade de expansão das áreas agrícolas tem gerado, cada vez mais,

¹Eng^a Agr^a, Dr., Prof. UFS - Dep^{ta} Engenharia Agrônômica, CEP 49100-000 São Cristóvão-SE. Correio eletrônico: fholanda@infonet.com.br

²Eng^a Agr^a, Dr., Bolsista CNPq, CEP 49100-000 São Cristóvão-SE. Correio eletrônico: crmarcia@bol.com.br

³Eng^a Agr^a, Dr., Prof. UFS - Dep^{ta} Engenharia Agrônômica, CEP 49100-000 São Cristóvão-SE. Correio eletrônico: alceupedrotti@uol.com.br

⁴Graduando em Agronomia, Bolsista CNPq/UFS, CEP 49100-000 São Cristóvão-SE. Correio eletrônico: jasonaguiar@bol.com.br

⁵Graduando em Agronomia, Bolsista CNPq/UFS, CEP 49100-000 São Cristóvão-SE.

a necessidade do uso de água de qualidade inferior (Ayres & Westcot, 1991). Qualquer adição de água ao solo, quer pela ascensão capilar do lençol freático (presente a pouca profundidade), quer pela irrigação, implica, necessariamente, em adição de sais ao perfil (Kamphorst & Bolt, 1976). Por isso, a água de irrigação, mesmo de excelente qualidade, pode-se tornar um fator de salinização do solo, se não for manejada corretamente (Richards, 1954).

PROCESSO DE FORMAÇÃO DOS SOLOS SALINOS

Solos salinos são de ocorrência natural em locais de clima semi-árido, onde a precipitação é consideravelmente menor que a evapotranspiração potencial na maior parte do ano. No seu processo de formação, denominado salinização, ocorre a transformação dos minerais primários, ricos em cátions como cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e sódio (Na), em minerais de argila do tipo 2:1, principalmente montmorilonita. Esta transformação, embora lenta, devido aos longos períodos sem chuvas, libera da estrutura cristalina dos minerais parte desses cátions e contribui para a manutenção de suas concentrações em níveis relativamente elevados, tanto no complexo de troca, quanto no de solução do solo.

Nos períodos secos, esses cátions afloram à superfície dos agregados do solo, principalmente na camada mais superficial, chegando a formar uma crosta de sais cristalizados, em que se denomina o processo de eflorescência. Quando na forma de sais neutros, como sulfatos e cloretos, esta mistura apresenta coloração esbranquiçada e é denominada alcali branco (Fig. 15, contracapa). Quando predominam os sais alcalinos, como os carbonatos (principalmente o de sódio), ocorre a dissolução da matéria orgânica, o que dá uma coloração escura à solução do solo e à crosta de sais, denominando-se alcali negro.

A salinização é, portanto, resultado de uma condição local em que os sais liberados pelo intemperismo dos minerais não encontram condições de balanço hídrico que favoreçam a sua remoção do perfil do

solo, especialmente nos talvegues naturais (Fig. 16, contracapa).

Diversas atividades não agrícolas também contribuem para a salinização dos solos. Atividades industriais ou de mineração freqüentemente geram resíduos sólidos, semi-sólidos ou águas residuais, cujo descarte em solos desencadeiam o processo de salinização. Exemplos de geração de áreas salinizadas não relacionadas com agricultura podem ser citados em toda a extensão nacional, desde curtumes, passando pelas águas de lavagem de cana-de-açúcar e de frutas, até áreas de poços de petróleo arrasados ou da extração de fertilizantes, como o K.

CARACTERIZAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE SOLOS SALINOS

As propriedades físicas dos solos, tais como, estrutura do solo, estabilidade dos agregados, dispersão das partículas, permeabilidade e infiltração, são muito influenciadas pelos tipos de cátions trocáveis presentes no solo (Shainberg & Oster, 1978). Enquanto a acumulação de sais solúveis torna o solo flocculado, friável e bem permeável, o aumento do sódio trocável poderá torná-lo adensado, compacto em condições secas, disperso e pegajoso em condições molhadas (Gheyi et al., 1991).

A baixa capacidade de infiltração é, geralmente, o resultado de baixa permeabilidade do solo causada pela falta de poros secundários ou macroporos e a presença suficiente de partículas finas do solo que limitam o tamanho dos poros primários (Troutt et al., 1990). A força ou estabilidade dos agregados do solo determina facilmente o quão a estrutura do solo se quebra. A estabilidade dos agregados é de grande importância para a formação e preservação das relações estruturais dos solos.

Camadas cimentadas ou encrostadas são comuns em solos de regiões semi-áridas. A baixa capacidade de infiltração pode resultar de uma larga variedade de processos. O encrostamento do solo pode reduzir a infiltração, aumentando o escoamento superficial e reduzindo a conservação da água (Jones et al., 1994). É importante notar

que a infiltração de água no solo tem considerável significado agrícola, posto que é determinante na ocorrência de processos de escoamento superficial e de erosão (Medina & Leite, 1985).

Visando detectar problemas de salinidade em fase inicial, o primeiro passo a ser dado é verificar alterações químicas dos solos sob irrigação, através de análises que indiquem uma eventual elevação da porcentagem de sódio trocável (PST), bem como a relação deste cátion com outros do complexo sortivo, dada pela relação de adsorção de sódio (RAS).

O valor da PST é dado pela seguinte expressão:

$$PST = \frac{Na \cdot 100}{(Ca + Mg + K + Na + H + Al)}$$

A RAS, que é um índice que expressa a possibilidade de que a água de irrigação provoque a sodificação do solo, no que depende da proporção de Na⁺, em relação aos demais cátions, é dada pela seguinte expressão:

$$RAS = \frac{Na^+}{\frac{\sqrt{Ca^{++} + Mg^{++}}}{2}}$$

Segundo Oliveira (1997), é importante salientar que os ânions predominantes nos solos salinos são os cloretos, sulfatos, bicarbonatos e carbonatos. Por outro lado, dentre os cátions mais comuns nesses solos incluem-se o Na, o Ca e o nitrogênio (N), enquanto o K é encontrado em menores proporções. A salinidade por sua vez é definida em função da condutividade elétrica (CE), no extrato de saturação dos solos (CEes), e a alcalinidade pela representatividade do Na, no complexo de troca do solo, além do pH e PST, como apresentado no Quadro 1.

ESTRATÉGIAS PARA RECUPERAÇÃO DOS SOLOS SALINOS

A prevenção da degradação do solo, de modo geral, está relacionada com: práticas conservacionistas, menor movimen-

QUADRO 1 - Classificação de solos afetados por sais

Classificação	pH	CE (mmhos/cm)	PST (%)
Não salino	< 8,5	< 4,0	< 15
Salino	< 8,5	> 4,0	< 15
Sódico	> 8,5	< 4,0	> 15
Salino-sódico	< 8,5	> 4,0	> 15

FONTE: Oliveira (1997).

tação possível do solo, preparo do solo nas condições adequadas de umidade, uso de equipamentos leves agrícolas, sistemas de irrigação apropriado à natureza do solo, doses e frequência de irrigação, águas de baixo teor salino, pousio, uso de plantas de cobertura, como leguminosas, e rotação de culturas (Oliveira, 1999).

São necessárias estratégias para aumentar a infiltração que requer a compreensão da causa da baixa infiltração, como a natureza da camada de restrição e os processos que a originaram. A absorção de água depende do solo, do sistema de irrigação e dos sistemas de manejo. Solos que absorvem água de irrigação lentamente, requerem baixas taxas de aplicação para evitar escoamento superficial, pois, quando a taxa de irrigação excede a taxa de infiltração, a água é acumulada e redistribui-se na superfície do solo (Bucks et al., 1990).

A incorporação de resíduos fornece caminhos para o fluxo e infiltração da água, assim como a redução do preparo do solo, o aumento dos resíduos na superfície usualmente resultam no aumento da infiltração (Cruz, 1982, Siqueira et al., 1993, Jones et al., 1994 e Holanda et al., 1998). Por outro lado, o movimento da água na superfície do solo ocorre através do seu perfil e a perturbação mecânica, provocada por um sistema intensivo de preparo do solo, pode redistribuir e reorientar as partículas finas preenchendo os macro e microporos, resultando em camadas com poros muito pequenos.

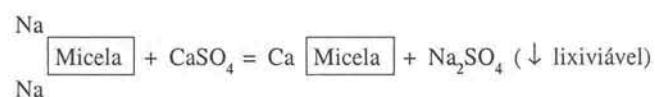
Quando os resíduos culturais e de plantas são mantidos na superfície do solo, reduzem a ascensão da água e o movimento de sais nos solos salinos e facilitam a lixiviação pelas chuvas da estação do inverno em regiões semi-áridas ou em sistemas de irrigação por aspersão (Matos, 1999). Já,

no caso de materiais incorporados, para que a prática tenha eficiência, Ayers & Westcot (1991) afirmam que são necessárias adições de grandes quantidades de resíduos nos primeiros 15cm de solo, de maneira que controlem a quantidade de água infiltrada em um determinado tempo.

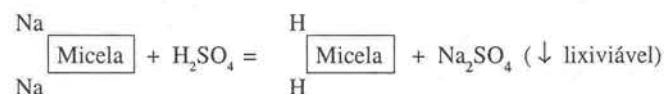
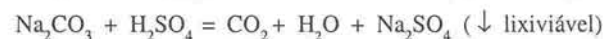
Alternativas químicas

Segundo Oliveira (1999), a recuperação de solos degradados, por qualquer uma das causas citadas, exige estudos e baseiam-se principalmente nas técnicas de irrigação, lixiviação, correção, gessagem, pousio, uso de plantas resistentes a sais, todas associadas a práticas adequadas de drenagem.

O gesso (CaSO_4), assim como o enxofre elementar (S), tem-se mostrado como alternativas químicas para reabilitação de solos salinizados, utilizados como corretivos, para remoção dos sais. Sabe-se que o CaSO_4 reage com o carbonato de sódio (Na_2CO_3) e com o Na adsorvido no complexo de troca do solo (micela), da seguinte forma:



O S, após aplicação no solo, oxida-se para ácido sulfúrico, que também reagirá com o Na_2CO_3 e com o Na adsorvido (em reações semelhantes às do CaSO_4), como expresso a seguir:



Nessas reações, o Na_2CO_3 e o Na adsorvido convertem-se em sulfato de sódio, um sal neutro suave. A vantagem do S é que, além dessa conversão, ele permite a eliminação do radical carbonato e a redução da alcalinidade do solo, o que não ocorre quando se usa o CaSO_4 .

As doses destes corretivos são determinadas, portanto, em função da análise do solo e da quantidade de Na a ser deslocada.

Produtos que possuem a característica de promover a recuperação de solos salino-sódicos, como o CaSO_4 , matéria orgânica e ácido sulfúrico, trazem consigo questões relacionadas com o elevado custo de recuperação para reabilitação dos solos salinizados. Neste sentido, é interessante estudar a melhor opção, visto que o produto mais indicado é função de sua eficiência, preço e disponibilidade (Silva, 1997).

A existência de poucos resultados de pesquisa para melhoramento e/ou recuperação dos solos afetados por um aporte muito grande de sais, como o exemplo dos Luvisolos (antigos Bruno Não-Cálcicos - onde estes apresentam os maiores índices e área de degradação pela salinidade em Sergipe - 271 mil ha e na Região Nordeste), indicando medidas específicas, que visam a sua sustentabilidade, impedem o desenvolvimento e as explorações racional e contínua de áreas expressivas e com potencial de degradação muito forte. Em estudos atualmente conduzidos no estado de Ser-

gipe, que objetivam a caracterização e recuperação de solos salinizados (Silva et al., 2001, Santos et al., 2001, Aguiar et al., 2001, Oliveira et al., 2001 e Machado et al., 2001) percebe-se em grande parte das áreas irrigadas desses solos, um crescente aumento do processo de salinização, conseqüente das condições naturais com agravamento da associação de drenagem deficiente e do manejo inadequado do solo (Quadro 2).

Plantas para recuperação das áreas salinizadas

A utilização de espécies herbáceas com raízes profundas, de gramíneas com grande densidade de radículas que permitem aumentar a porosidade do solo, bem como a formação de uma cobertura morta na superfície do solo e/ou a incorporação desta matéria orgânica ao solo e a adubação verde são exemplos de práticas culturais que podem ser utilizadas para a recuperação de solos salinizados.

A adição de matéria orgânica ao solo, entre outros benefícios, pode melhorar a capacidade de armazenamento e diminuir a perda de água do solo. Mapa et al. (1994) avaliaram a disponibilidade de água num Luvisso do Sri Lanka, pela adição 5 e 10 t/ha de matéria orgânica de palha de arroz, ou de adubo verde (*Gliricidia sepium*), obtendo um aumento significativo no conteúdo de água de saturação do solo nas diferentes épocas de amostragem e melhoria das condições estruturais do solo, atribuídas à presença e ao caráter hidrofílico da matéria orgânica adicionada.

A importância da matéria orgânica para a agregação do solo é indiscutível, todavia,

não só a quantidade, mas a qualidade também contribui para a ação agregante, uma vez que materiais mais resistentes à decomposição (maior relação C/N), são menos efetivos e requerem períodos mais longos para que a máxima agregação ocorra, além de propiciar uma maior nivelção da associação de manutenção da estabilidade da agregação com efeitos mais prolongados (Haynes et al., 1991).

Assim, a matéria seca com relações mais elevadas de C/N, e conseqüentemente com decomposição mais prolongada, pode apresentar maior eficiência por proporcionar os benefícios advindos de sua presença em um período mais elevado, embora a incorporação de nutrientes ocorra em uma taxa mais baixa (Santos & Hernandez, 1997).

A revegetação de uma área salinizada pode ser feita através da semeadura convencional ou plantio de mudas. Adotam-se o Sistema de Plantio Convencional para as espécies graminóides ou herbáceas e o Sistema de Plantio Direto para as espécies arbustivas ou arbóreas (Alvarenga & Souza, 1997).

As práticas mais comuns de recuperação estão além das condições financeiras da maioria dos agricultores. Por isso, plantas halófitas – tolerantes a sais em excesso na solução do solo, como do gênero *Atriplex* – representam uma alternativa potencial para o aumento da produção agrícola e para o melhoramento do solo, além da possibilidade de utilização como forragem de alta qualidade (pelo seu alto valor proteico), alimentação humana e produção de lenha e carvão. A sua principal característica é a diminuição dos impactos

ambientais causados pela salinização do solo, seja pela absorção dos sais do solo (entre 5 e 10 t/ha/ano) ou sua contribuição ao aumento de matéria orgânica no solo, pela incorporação da matéria seca, que, dependendo da espécie, pode atingir uma produção de 25 t/ha/ano.

Estudos realizados por Silva et al. (2001) têm demonstrado que além da *Atriplex*, também se incluem espécies tanto nativas como exóticas, que possuem capacidades recuperadoras das condições físicas e químicas, e fornecedoras de cobertura morta/matéria orgânica, que também podem ser cultivadas como a crotalária, feijão-guandu e o capim-buffel, cujas espécies estão sendo testadas em Projetos de Pesquisa do Departamento de Engenharia Agrônômica (DEA), da Universidade Federal de Sergipe (UFS). Estes experimentos visam o favorecimento da dinâmica do sistema solo-água-planta pela melhoria da estrutura física do solo às custas do incremento do teor de matéria orgânica, proporcionado pela presença ou ausência de incorporação dos resíduos destas culturas. A adição de matéria orgânica no solo, entre outros benefícios, pode melhorar a capacidade de armazenamento e diminuir a perda de água do solo. Obtém-se, com isso, um aumento significativo do conteúdo de água de saturação do solo e melhoria das suas condições estruturais, atribuídos à presença e ao caráter hidrofílico desta matéria orgânica adicionada.

Associados à carência de resultados de pesquisa para o problema da salinização, os resultados preliminares possibilitarão a indicação de tecnologias potenciais para a transformação do setor primário da economia regional em negócios sustentáveis e competitivos. Isto certamente contribuirá para a elevação da qualidade de vida das populações através do melhoramento do desempenho da economia, proporcionado pela maior produção e produtividade, além da implantação de novas culturas. Também estes princípios nortearão a pesquisa no sentido de identificar os fatores predisponentes às condições adversas, possibilitando que os conhecimentos gerados busquem alternativas viáveis e adaptáveis à realidade econômica da região.

QUADRO 2 - Umidade e condutividade elétrica da pasta saturada de amostras de solo em várias glebas de uma área de ocorrência de Luvisso Crômico, no estado de Sergipe

Local	Umidade da pasta saturada (kg kg ⁻¹)			Condutividade elétrica da pasta saturada (dS m ⁻¹)		
	0-10 cm	10-20cm	20-30cm	0-10 cm	10-20cm	20-30cm
Gleba 1	0,44	0,47	0,40	46,49	16,77	8,14
Gleba 2	0,43	0,46	0,40	1,29	3,52	4,54
Gleba 3	0,40	0,41	0,43	1,84	2,20	2,62
Gleba 4	0,53	0,50	0,50	14,63	6,99	5,00
Gleba 5	0,50	0,51	0,55	10,03	6,70	3,97
Gleba 6	0,46	0,44	0,39	20,17	20,17	9,92

CONCLUSÃO

Alguns aspectos relacionados com a questão da salinização dos solos devem nortear a pesquisa no sentido de identificar os fatores predisponentes a condições adversas e buscar alternativas viáveis e adaptáveis à realidade econômica da região afetada.

É necessário que seja aplicada lâmina de irrigação adequada, associada a um processo de drenagem, visando eliminar o excesso de sais. É fundamental o monitoramento das áreas com análises físicas e químicas que permitam detectar a salinização ainda na sua fase inicial, visto que nesta, a aparência do solo e o comportamento das culturas são semelhantes aos de um solo sem problemas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, J.F. de; HOLANDA, F.S.R.; SANTOS, V.P. dos; SILVA, A.C.J.; MARCIANO, C.R.; PEDROTTI, A. Alterações dos atributos físicos do solo em consequência do processo de salinização em um luvisolo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., 2001, Londrina. *Anais...* Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2001. p.275.
- ALVARENGA, M.I.; SOUZA, J.A. **Atributos do solo e o impacto ambiental**. Lavras: UFLA, 1997. 205p.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p. (FAO. Irrigação e Drenagem, 29).
- BUCKS, D.A.; SAMMIS, T.W.; DICKEY, G.L. Irrigation for arid areas. In: HOFFMAN, G.J.; HOWELL, T.A.; SOLOMON, K.H. **Farm irrigation systems**. St. Joseph: Pamela DeVore-Hansen, 1990. p.499-548.
- CRUZ, J.C. **Effect of crop rotation and tillage systems on some soil physical properties, root distribution and crop production**. 1982. 220f. Tese (Doutorado) – Purdue University, West Lafayette.
- GHEYI, H.R. Problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: OLIVEIRA, T.S.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. **Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido**. Fortaleza: UFC, 2000. p.329-346.
- _____; MEDEIROS, J. F. de; BATISTA M. A.F. **Prevenção, manejo e recuperação de solos salinos e sódicos**. Mossoró: ESAM, 1991. 70p.
- GOES, E.S. O problema de salinidade e drenagem em projetos de irrigação do Nordeste e ação de pesquisa com vista ao seu equacionamento. In: REUNIÃO SOBRE SALINIDADE EM ÁREAS IRRIGADAS, 1978, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: DNOCS, 1978. p.1-34.
- HAYNES, R.J.; SWIFT, R.S.; STEPHEN, R.C. Influence of mixed cropping rotations (pasture arable) on organic matter content, water stable aggregation and clood porosity in a group of soils. *Soil Tillage Research*, Amsterdam, v.19, p.77-87, 1991.
- HOLANDA, F.S.R.; MENGEL, D.B.; PAULA, M.B.; CARVALHO, J.G.; BERTONI, J.C. Influence of crop rotations and tillage systems on phosphorus and potassium stratification and root distribution in the soil profile. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.129, n.15/16, p.2383-2394, 1998.
- JONES, O.R.; HAUSER, V.L.; POPHAM, T.W. No-tillage effects on infiltration, runoff, and water conservation on dryland. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.37, n.2, p.473-479, 1994.
- KAMPHORST A.; BOLT, G.H. Saline and sodic soils. In: BOLT, G.H.; BRUGGENT, M.G.M. (Ed.). *Soil chemistry*. Amsterdam: Elsevier Scientific, 1976. v.1, cap.9, p.95-107.
- MACHADO, R.; SOARES, M.S.F.; NETTO, A.O.A.; PEDROTTI, A.; HOLANDA, F.S.R. Salinização do solo no Perímetro Irrigado Jabiberise: estudos das propriedades físico-hídricas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., 2001, Londrina. *Anais...* Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2001. p.24.
- MAPA, R.B.; SILVA, A. DE; SILVA, A. Effect of organic matter on available water in noncalcic brown soils. *Sri Lanka Journal of Agricultural Sciences*, v.31, p.82-92, 1994.
- MATOS, M.M.A.M. **Uso inadequado da água de irrigação como fator de salinização de solos do semi-árido**. São Cristóvão – SE: UFS, 1999. 29p.
- MEDINA, B.F.; LEITE, J.A. Influência de três sistemas de manejo e duas coberturas vegetais na infiltração de água em um latossolo amarelo em Manaus-AM. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.20, n.11, p.1323-1331, nov. 1985.
- OLIVEIRA, L. B. de. Degradação e recuperação de solos na região semi-árida do Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília. [*Anais...*]. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1999. CD-ROM.
- OLIVEIRA, M. Gênese, classificação e extensão de solos afetados por sais. In: GHEYI, H. G.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, 1997.
- OLIVEIRA, T.M. da S.; PEDROTTI, A.; SILVA, M. L. L. da; BRITO JÚNIOR, W. L. de; HOLANDA, F. S. R. Degradação de luvisolos no Perímetro Irrigado de Califórnia - Estado de Sergipe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., 2001, Londrina. *Anais...* Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2001. p.230.
- PEREIRA, J.; COBBE, R.V. **Fertilização, correção da acidez e da salinidade dos solos: recomendação para os perímetros irrigados do Alto e Médio São Francisco**. Brasília: FAO, 1990. 125p. (FAO. Boletim Técnico, 1).
- RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: USDA, 1954. 160p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).
- SANTOS, R.V.; HERNANDEZ, F.F.F. Recuperação de solos afetados por sais. In: GHEYI, H.G.; QUEIROZ, J.E.; MEDEIROS, J.F. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande:UFPB, 1997. p.319-61.
- SANTOS, V.P. dos; HOLANDA, F.S.R.; AGUIAR, J.F. de; SILVA, A.C.J.; MARCIANO, C.R.; PEDROTTI, A. Reabilitação de solo salinizado usando gesso e enxofre e lâminas de água na lixiviação de sais solúveis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., 2001, Londrina. *Anais...* Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2001. p.52.
- SHAINBERG, I.; OSTER, J.D. **Quality of irrigation water**. Bet Dagon, Israel: International Irrigation Center, 1978. 65p.
- SILVA, E.F.F. e. **Avaliação da eficiência de diversos produtos na recuperação de um solo salino-sódico e seus efeitos na cultura do arroz (*Oryza sativa L.*)**. 1997. 60f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.
- SILVA, M.L.L.; PEDROTTI, A.; OLIVEIRA, T.M. da S.; BRITO JÚNIOR, W.L. de; HOLANDA, F. S. R. Estratégias de recuperação dos luvisolos salinizados no semi-árido sergipano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., 2001, Londrina. *Anais...* Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2001. p.23.
- SIQUEIRA, R.; YAMAOKA, R.S.; CASÃO JÚNIOR, R.; MEDEIROS, G.B.; HAMAKAWA L.; LADEIRA, A.S. Sistemas de preparo e coberturas vegetais em um solo de baixa aptidão agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., 1993, Ilhéus. *Anais...* Ilhéus: SBEA, 1993. p.1469-1484.
- TROUTT, T.J.; SOJKA, R.E.; OKAFOR, L.I. Soil management. In: HOFFMAN, G.J.; HOWELL, T.A.; SOLOMON, K.H. **Farm irrigation systems**. St. Joseph: Pamela DeVore-Hansen, 1990. p.873-896.

Controle de poluição de atividades pecuárias

Eduardo Teixeira da Silva¹
 Claudio de Souza Magalhães²

Resumo - Tem-se por objetivo suprir informações úteis ao manejo de dejetos de forma ambientalmente recomendável e legal, e ainda oferecer informações a produtores e pessoas ligadas a atividades agropecuárias, para tomada de decisões sobre o processamento e o uso adequado de dejetos, de efluentes de confinamentos de atividades pecuárias, respeitando a legislação ambiental vigente.

Palavras-chave: Degradação; Impacto ambiental; Biofertilizantes; Pecuária; Educação; Saúde.

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 dos desastres lá ocorridos, com doenças como vaca louca e febre aftosa dizimando seus rebanhos.

O aumento necessário para a produção desejada pelo novo consumo deverá ser realizado dentro de padrões de qualidade exigidos que também considerem e obedeçam a aspectos ambientais relacionados com a manutenção, preservação e conservação dos recursos naturais envolvidos, quais sejam, o solo, o ar e a água, conforme estabelecido pela Resolução Conama 237/97 (Conama, 1997) e Deliberação Normativa 01/090, alterada pela Deliberação Normativa 040/99 (FEAM, 2001).

Assim, há de se considerar no processo produtivo o impacto ambiental gerado pela intensificação da 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, com toda certeza, que os 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.

Para exemplificar, Seganfredo (2000c) relata que uma pesquisa realizada pela associação avícola nos Estados Unidos constatou que 78% dos consumidores restringiram o consumo de determinados produtos ao se informarem que nos processos produtivos desses não foram respeitados os padrões de qualidade ambiental exigidos.

Assim, a intensificação na produção animal é marcada pela concentração das atividades em determinadas localidades, o que facilita sistemas de integração, comercialização e baixos preços de insumos e de mão-de-obra. Por outro lado, esta concentração na produção contribui para um aumento na quantidade de resíduos, que compreendem as camas, estercos, carcaças

de animais mortos, dejetos sólidos, líquidos etc.

O lançamento de dejetos animais não tratados, ou quando manejados de forma imprópria no solo, rios, lagos e açudes, constitui em riscos potenciais para o aparecimento ou recrudescimento de doenças (verminoses, alergias, hepatites, hipertensão, câncer de estômago etc.), desconforto para a população (proliferação de moscas, borrachudos, maus cheiros etc.) e 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 conservação da água, do solo e do ar. Destaca-se que os problemas tornam-se 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.

¹Eng^o Agrícola, D.Sc. Construções Rurais e Ambiente, Prof. UFPR - Dep^o de Solos e Engenharia Agrícola - Setor de Ciências Agrícolas, Rua 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 - Núcleo de Educação Ambiental, CEP 37200-000 Lavras-MG. Correio eletrônico: ibama@lavras.br

O aproveitamento dos resíduos gerados das atividades agropecuárias é parte de um processo de recuperação e reciclagem, portanto, o composto orgânico gerado poderá fornecer doses equivalentes à adubação mineral, substituindo parcialmente a adubação mineral convencional, como também, recuperando áreas desmatadas e solos exauridos, quer por erosão, quer por uso irracional. A aplicação de biofertilizantes e/ou de compostos no solo aumenta o teor de matéria orgânica, o conteúdo de micro e macronutrientes, a porosidade, a retenção e a capacidade de aeração; podendo ser utilizados em diferentes atividades agrícolas e florestais, como por exemplo: na produção de alimentos e vegetais, em vasos de plantas ornamentais e medicinais, produção de mudas, cobertura de taludes de estradas, áreas de recreação (parques, gramados, campos de futebol etc.) e até mesmo no recobrimento de aterros sanitários.

SITUAÇÃO ATUAL E TENDÊNCIA DAS ATIVIDADES PECUÁRIAS NO BRASIL

É importante salientar que a cadeia produtiva de suínos é altamente organizada e coordenada pelas agroindústrias que executam o processamento da carne e a distribuição dos produtos, a produção das rações, a transferência de tecnologia, incluindo aí, em muitos casos, a recomendação de insumos, equipamentos e instalações a serem usadas na produção.

Suinocultura

O Brasil, de acordo com Roppa (1999), é o oitavo produtor mundial de carne suína, com plantel de, aproximadamente, 37 milhões de cabeças e um total de 2,2 milhões de matrizes.

Segundo Talamini (2000/2001), a produção brasileira ocorre predominantemente nas Regiões Sul e Sudeste com tendência de expansão para algumas áreas das Regiões Sudeste e Centro-Oeste mais próximas da produção de grãos de soja e milho, o que pode ser observado no Quadro 1.

Segundo Fattini (2001) existe para 2001 a expectativa de incremento nas expor-

QUADRO 1 - Variação da participação percentual das regiões no total da produção brasileira

Região	1985	1996
Sul	60,8	67,8
Sudeste	17,8	15,1
Nordeste	11,9	8,6
Centro-Oeste	5,4	5,7
Norte	4,1	2,8

FONTE: Talamini (2000/2001).

tações em 30%, que poderão chegar a 160 mil toneladas de carne.

Bovinocultura

A bovinocultura brasileira possui dois segmentos distintos: bovinocultura de corte - com dois sistemas de criação de animais, ou seja, o sistema extensivo, no qual os animais são criados a pasto e, portanto, não se tem controle no manejo do dejetos gerado, e o sistema intensivo, no qual os animais são criados em confinamento total e o dejetos gerado é totalmente recuperado; bovinocultura leiteira - em que a geração de resíduos advém principalmente do esterco recolhido na sala de ordenha e esterco mais cama, dos estábulos, quando o gado é manejado em instalação do tipo

free stall (baías de descanso individual com livre acesso). O manejo do esterco pode ser feito nas formas líquida, semi-sólida e sólida. Se o regime de confinamento é total e a opção é por esterco líquido, todos os dejetos serão coletados.

Bovinocultura de corte

De acordo com Cezar (2001), a estimativa para o novo milênio é de crescimento dos negócios com carne bovina. Com este crescimento impõem-se mudanças na produção, na pesquisa, nas ações de política, de *marketing* e, principalmente, de comportamento do consumidor, tanto interno como externo, cada vez mais crescente e exigente.

O governo brasileiro trouxe em maio/2000 da reunião anual da Organização Internacional de Epizootias (OIE), o certificado de zona livre de aftosa com vacinação para os estados de São Paulo, Paraná, Goiás, Distrito Federal, Mato Grosso e Oeste de Minas Gerais, estando a concentração da produção brasileira localizada, principalmente, nos estados do Mato Grosso do Sul e Minas Gerais (Anualpec, 1999). O rebanho bovino brasileiro, por região, e a projeção para o ano de 1999, podem ser observados no Quadro 2.

Estas regiões deverão ter atenção e consciência redobradas quanto aos aspectos relativos ao saneamento necessário, em função dos rejeitos gerados pela atividade, a fim de não comprometerem a qualidade de vida da presente e futura gerações.

QUADRO 2 - Rebanho bovino brasileiro (efetivo por região/cabeça)

Região	1997	1998	(1)1999
Norte	17.599.011	18.120.845	18.586.972
Nordeste	23.057.920	23.067.087	23.217.337
Sudeste	34.616.573	34.610.303	34.563.538
Minas Gerais	19.262.854	19.268.885	19.167.805
Sul	25.150.091	25.167.049	25.167.172
Centro-Oeste	48.975.722	49.311.493	49.634.106
Mato Grosso do Sul	18.874.466	19.030.317	19.176.208
Brasil	149.399.317	150.276.778	151.169.266

FONTE: Dados básicos: Anualpec (1999).

(1) Projeção.

Bovinicultura leiteira

O sistema agroalimentar lácteo brasileiro, de acordo com Vargas (1996), com sua cadeia de atividades ramificadas, contribui com 60 mil empregos diretos no segmento da transformação e com 5,8 milhões de ocupações diretas e indiretas, distribuídas ao longo do sistema em todo o território nacional, existindo, aproximadamente, duas mil empresas de laticínio. Em contrapartida e, como consequência dessa produção, têm-se grandes quantidades de rejeitos, que com suas especificidades podem ou não causar danos ou impactos negativos ao meio ambiente, ou mesmo poluição/contaminação de recursos produzidos pela natureza como solo, água e ar.

A produção leiteira no Brasil concentra-se nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Goiás, Paraná e Rio Grande do Sul, que juntos respondem por 70% da produção brasileira, como pode ser observado no Quadro 3.

Avicultura

O desempenho da avicultura brasileira apresenta resultados bastante positivos (Desempenho..., 2001), não só nos volumes apresentados, mas também na recuperação dos preços praticados, embora os custos de produção tenham aumentado consideravelmente em função dos preços dos insumos, principalmente do milho e do farelo de soja. O alojamento de matrizes de corte aumentou 16,5%, em 1999, sobre o ano anterior, devendo atingir 29.132 milhões de cabeças, contra 25.933, em 1998. Se a previsão para 2000 era de um alojamento da ordem de 30.933 milhões de cabeças, houve um crescimento de 6%.

O plantel estimado de poedeiras, em 1999, teve uma média mensal de 61.016 milhões de cabeças, 8% maior que em 1998, e vem recuperando após a grande redução registrada em 1997, como pode ser observado no Quadro 4.

PRODUÇÃO DE DEJETOS DAS PRINCIPAIS CATEGORIAS ANIMAIS

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, energia para equipamentos e controle climático. Os fatores de saída são: animais, ovos, leite, lã, ar de ventilação, odores e os dejetos. Especialmente o ar de ventilação, odores e dejetos afetam de forma mais direta, adversamente o ambiente. No Brasil, são raros os estudos direcionados aos impactos causados pela produção animal, porém, na literatura internacional, principalmente de origem européia, observam-se trabalhos recentes que apontam para o grande potencial poluente das atividades agropecuárias.

Suinicultura

Durante séculos, a criação de suínos teve um caráter familiar, sendo as instalações de dimensões reduzidas e destinando-se a abrigar animais nos períodos em que o clima era mais adverso. Foi durante o século XX, que se deu grande intensificação nos sistemas de produção de suínos, o que veio revolucionar o tipo de explorações e as formas de alojamento e contenção dos animais. Este tipo de criação tem como característica fundamental, segundo Loures (1998), uma produção intensiva de suínos, ocupando pequenas áreas com elevada concentração de animais, tendo como consequência um volume significativo de dejetos. A quantidade produzida por dia, por animal adulto, corresponde, aproximadamente, à quantidade produzida por seis a oito pessoas. Portanto, uma suinicultura 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 mil e 80 mil habitantes.

A produção total de dejetos suínos é muito variável, o que depende principalmente do manejo de limpeza adotado em

QUADRO 3 - Maiores produtores de leite no Brasil

Estados	Volume milhões de litro/ano	% do total
Minas Gerais	5.700.987	28,4
Goiás	2.377.681	11,8
São Paulo	2.208.731	11,0
Rio Grande do Sul	2.194.992	10,9

FONTE: Visão... (2000/2001).

QUADRO 4 - População brasileira e produção de avicultura de corte e postura (em milhões de cabeças)

Descrição	1997	1998	1999
Produção - Avicultura de corte			
Matrizes	23.115	25.058	29.132
Pintos	2,862	2,859	3,153
Produção - Avicultura de postura			
Matrizes	59.571	70.975	64.470
Poedeiras	52.073	56.513	61.016
População brasileira	160.690	163.100	165.350

FONTE: Dados básicos: Desempenho... (2001).

cada instalação, determinando a maior ou menor quantidade de água utilizada; de qualquer forma a água sempre presente, diluindo ou fazendo parte da geração do resíduo final, o que dá aos dejetos a característica de efluente líquido.

A quantidade de dejetos líquidos produzidos varia de acordo com o desenvolvimento ponderal dos animais (Jelinek, citado por Oliveira, 1993), sendo cerca de 4,9% a 8,5% do seu peso vivo/dia, para a faixa de 15kg a 100kg.

A produção de dejetos, segundo Oliveira (1993), é dependente do porte do animal e da fase de crescimento em que se encontra, sendo diariamente ainda bastante variável, como pode ser observado nos Quadros 5 e 6.

Todo criador, segundo Perdomo (2000), deve possuir um programa racional de controle dos dejetos, visando sua correta utilização, a fim de evitar problema de poluição ambiental. O conhecimento da produção e das características dos dejetos, como pode ser observado nos Quadros 7 e 8, em função do ciclo animal, é importante para o dimensionamento dos sistemas de tratamento e utilização.

A produção de dejetos para cada fase de produção é apresentada no Quadro 7, para uma população de 38,3 milhões de animais, segundo a Associação Brasileira dos Criadores de Suínos (Suinocultura..., 2000/2001), tem-se uma produção de 70,46 milhões de toneladas de dejetos, com uma

carga poluidora orgânica de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) correspondente a 0,99 milhão de toneladas.

Bovinocultura de corte

Na bovinocultura de corte existem, de

acordo com Santos (1998), dois sistemas: o extensivo, no qual os animais são criados a pasto e, portanto, não se tem controle no manejo do dejetos gerado, também chamado sistema ecológico; e o sistema intensivo, em que os animais são criados em confi-

QUADRO 5 - Produção média diária de dejetos de suínos nas diferentes etapas de produção

Categoria	Esterco (kg/dia)	Esterco + Urina (kg/dia)	Dejetos líquidos (litros/dia)
Suínos 25-100 kg	2,30	4,90	7,00
Porcas em gestação	3,60	11,00	16,00
Porcas em lactação + leitões	6,40	18,00	27,00
Reprodutor	3,00	6,00	9,00
Produção média	2,35	5,80	8,60

FONTE: Oliveira (1993).

QUADRO 6 - Produção diária de dejetos, por categoria e necessidade de estrutura para estocagem

Categoria	Esterco (kg/dia)	Esterco + Urina (kg/dia)	Dejetos líquidos (litros/dia)	Estrutura de estocagem (m³/animal/mês)	
				Esterco + Urina	Dejetos líquidos
Suínos 25-100 kg	2,30	4,90	7,00	0,16	0,25
Porcas em gestação	3,60	11,00	16,00	0,34	0,48
Porcas em lactação + leitões	6,40	18,00	27,00	0,57	0,81
Cachaço	3,00	6,00	9,00	0,18	0,28
Leitões na creche	0,35	0,95	1,40	0,04	0,05
Média	2,35	5,80	8,60	0,17	0,27

FONTE: Santos (1998).

QUADRO 7 - Produção e características de dejetos suínos (fezes + urina), expressas por unidade animal, de acordo com a fase do ciclo de vida animal, para uma granja em ciclo completo com 100 matrizes

Parâmetro	Machos	Gestação	Lactação	Desmamados	Crescimento	Acabamento
Nº de animais	6	90	20	330	250	250
Peso médio	160	125	170	16	40	75
Dejetos (kg/dia)	5,23	4,1	102	11	2,6	4,9
Sólidos totais (kg/dia)	0,47	0,37	0,93	0,18	0,44	0,83
Sólidos voláteis (kg/dia)	0,38	0,30	0,75	0,14	0,34	0,64
DBO ₅ (kg/dia)	0,15	0,12	0,31	0,05	0,18	0,23
N total (kg/dia)	0,041	0,032	0,045	0,008	0,021	0,39
NH ₄ - N (kg/dia)	0,023	0,018	0,025	0,004	0,012	0,22

FONTE: Perdomo (2000).

QUADRO 8 - Estimativa da produção de dejetos no Brasil (ano de 2000)

Categoria	Número de animais ⁽¹⁾	Produção de resíduos/animal.dia				Produção total de resíduos/dia			Produção de DBO (total/animal.ano)	
		Peso médio	Esterco (kg)	Esterco + Urina (kg)	Dejetos líquidos (L)	Esterco (kg)	Esterco + Urina (kg)	Dejetos líquidos (L)	DBO total (kg/dia)	DBO total (kg/ano)
Matrizes	2.393.215	140	5,28	14,82	22,24	12.363.175	35.467.446	53.225.101	0,261	624.629
Cachaços	96.948	170	3,23	6,46	9,68	313.142	626.284	938.456	0,182	17.644
0-1 mês	6.456.038	5,6	0,12	0,34	0,49	774.724	2.195.053	3.163.458	0,032	206.593
1-2 meses	5.870.758	16,5	0,36	0,99	1,45	2.113.473	5.812.050	8.512.599	0,032	187.864
2-3 meses	5.870.758	33,6	0,85	1,81	2,58	4.990.144	10.626.072	15.146.555	0,032	187.864
3-4 meses	5.870.758	56,6	1,43	3,05	4,35	8.395.184	17.905.812	25.537.797	0,059	346.375
4-5 meses	5.870.758	82,7	2,09	4,46	6,36	12.269.884	26.183.580	37.338.021	0,059	346.375
5-6 meses	5.870.758	108,9	2,75	5,86	8,38	16.144.584	34.402.642	49.196.952	0,136	798.423
Total	38.300.000	-	-	-	-	57.364.310	133.218.939	193.058.939	-	2.715.767

FONTE: Dados básicos: Santos (1998).

NOTA: DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio.

(1) Estimativa da Associação Brasileira de Criadores de Suínos (Suinocultura..., 2000/2001), números parciais até novembro.

namento total e o dejetos é totalmente recuperado, através de raspagem sem utilização de água, e reutilizado na própria propriedade. Por predominar a criação a pasto no Brasil, são encontradas dificuldades relacionadas com a coleta de dados da quantificação e caracterização dos dejetos gerados pela bovinocultura de corte. A quantidade de dejetos produzida por bovinos de corte de maneira geral é inferior à quantidade produzida por bovinos de leite, principalmente quando se toma como base animais em pastejo, sistema predominante no Brasil.

O estado de Minas Gerais de acordo com Anualpec (1999) ocupa o segundo lugar no rebanho nacional, com 19.167.805 animais, de um total estimado em 151.169.226 animais. Considerando uma produção de 24kg de dejetos por animal por dia, a produção total foi da ordem de 460,0 e 3.628,0 milhões de toneladas, respectivamente para o estado de Minas Gerais e Brasil.

Bovinicultura leiteira

A quantidade e a qualidade de resíduos e de águas residuárias de um sistema de produção animal dependem de vários fa-

tores de manejo (Campos, 1998). Os tipos de instalação adotados para o confinamento do gado leiteiro e o regime de confinamento são os principais fatores. O manejo dos resíduos, desde há algum tempo (Vaqueiro, 1981), tem sido feito sob a forma líquida, proveniente da mistura de sólidos, líquidos e água de limpeza de instalações e equipamentos, o que reduz os custos da extração diária dos resíduos e permite a mecanização simplificada desta operação.

A produção diária de dejetos frescos (dejetos líquidos+sólidos) apresenta uma relação fezes/urina de 2,2 (Midwest..., 1985), por animal, da ordem de 8-11% de seu peso vivo, com teor de 10-12% de matéria seca (MS). A produção e características dos dejetos gerados, em função da carga poluidora, são variáveis entre as espécies, segundo Vaqueiro (1981) e Midwest... (1985), como pode ser observado no Quadro 9.

O principal parâmetro das cargas poluidoras de dejetos de vacas leiteiras é apresentado por Campos (1998), no Quadro 10.

O valor fertilizante do esterco bovino, de acordo com Siqueira (1991) citado por Campos (1998), sem considerar o seu valor

biológico e, como condicionador da estrutura do solo, os conteúdos de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), contidos no excremento de vacas, podem ser observados no Quadro 11.

Considerando que o rebanho mineiro possui 2.717.817 vacas, de acordo com Anualpec (1999), podemos estimar a produção de esterco fresco em 49,58 milhões de toneladas produzidas apenas no Estado.

Avicultura

Segundo Kiehl (1985), a denominação esterco de galinha é empregada usualmente de maneira indiscriminada tanto para o esterco puro, colhido nas criações em confinamento, onde as aves ficam alojadas em gaiolas dejetando em piso de concreto, como para as camas de frango de corte ou galinhas poedeiras; neste último caso a composição química do esterco varia com o tipo e a quantidade de cama empregada, como pode ser observado no Quadro 12. A cama de frango é uma mistura constituída de substrato, de fezes, de pena e de restos de ração; segundo Tiesenhansen (1984), sua

QUADRO 9 - Produção e características de dejetos de aves, suínos e vacas leiteiras

Características	Aves	Suínos	Vacas
Peso vivo (kg)	2,25	60	450
Dejetos (sólidos + líquidos) (kg/dia)	0,11	5,1	45
Quantidade por peso vivo (%)	5-6	8-9	9-11
Matéria seca (%)	20-30	15-20	10-12
⁽¹⁾ DBO ₅ (g/dia)	9	180	1.350
⁽²⁾ DBO ₅ (g/L)	-	25	17
⁽³⁾ Equivalente populacional	0,12	2,35	17,6
⁽⁴⁾ DQO (g/L)	-	54	20
Sólidos em suspensão esterco líquido (g/L)	-	50	65

FONTE: Vaqueiro (1981).

(1) DBO₅ - Demanda Bioquímica de Oxigênio, expressa em gramas de O₂ utilizado por microorganismos aeróbios, para decomposição de substâncias orgânicas em água, realizada em cinco dias à temperatura de 20°C. (2) Dados obtidos dividindo-se a DBO₅ em g/L pela soma de dejetos totais (dejetos + águas de limpeza + derrames dos bebedouros etc.). (3) Dados obtidos fixando-se a DBO do homem em 75g/dia. (4) DQO - Demanda Química de Oxigênio, expressa em g/L de permanganato de potássio, necessária para oxidar a matéria orgânica contida no resíduo.

QUADRO 10 - Parâmetros de cargas poluidoras, das dejeções totais de vacas leiteiras, por unidade animal (UA) por dia

Parâmetros (mg/kg)	Fonte		
	Mwps (1974)	Asae (1983)	Van Horn (1992)
⁽¹⁾ DBO ₅	20.730	20.847	15.419
⁽²⁾ DQO	110.976	111.309	106.119
Sólidos totais	126.829	126.344	115.766
Sólidos voláteis	104.878	102.151	96.472

FONTE: Mwps (1974), Asae (1983) e Van Horn (1992), citados por Campos (1998).

(1) DBO₅ - Demanda Bioquímica de Oxigênio, expressa em gramas de O₂ utilizado por microorganismos aeróbios, para decomposição de substâncias orgânicas em água, realizada em cinco dias à temperatura de 20°C. (2) DQO - Demanda Química de Oxigênio, expressa em g/L de permanganato de potássio, necessária para oxidar a matéria orgânica contida no resíduo.

QUADRO 11 - Produção anual de esterco fresco e sua composição em elementos fertilizantes, por 100 vacas leiteiras

Elemento	Produção (kg)
Esterco fresco (fezes + urina)	1.825.000
Matéria seca (MS)	219.000
Nitrogênio (N)	9.986
Fósforo (P ₂ O ₅)	3.814
Potássio (K ₂ O)	8.152

FONTE: Campos (1998).

composição química varia de acordo com o tipo de cama, número de aves/m², tipo de alimentação, manejo da cama e tempo de armazenagem, com uma produção de 10-12kg/poedeira/ano. Santos (1998) estima que a ave excrete de 20% a 30% de MS em relação à sua ingestão de alimento, portanto, considerando que um frango ingere de 4,5 a 5,0kg de alimento durante sua criação (42 a 47 dias), a produção de excretas oscilará em torno de 1 a 1,5kg de MS. Porém, a geração de resíduo considerando a adição de 0,5-0,6kg de material de cama/ave e levando-se em conta outros fatores como desperdício de ração e água, durante o ciclo, queda de penas etc., a produção total de cama pode chegar a 2kg de MS/ave.

Considerando-se a população brasileira de aves em 165,35 milhões (Desempenho..., 2001), ao utilizarem-se os dados de produção de cama de 2,0kg de MS/ave, Santos (1998), corrigindo-se para 20% de umidade (como normalmente é comercializada a cama), constata-se que cada ave produz 2,4kg. Assim, estima-se para uma produção de 3,153 milhões de pintos em 1999, uma produção de cama de 7,56 milhões de toneladas.

INTERAÇÃO COMPONENTES AMBIENTAIS AFETADOS E PROJETOS

Segundo Fernandez-Vitoria (1995), citado por Lucas Júnior (1996), "o meio ambiente é o entorno vital, ou seja, o conjunto de fatores físicos-naturais, estéticos, culturais, sociais e econômicos que relacionam entre si, com o indivíduo e com a comunidade em que vive, determinando sua forma, caráter comportamento e sobrevivência" no que se relaciona ao homem, entende-se o meio ambiente como: fonte de recursos naturais (matérias-primas e energia), suporte de atividades e receptor de efluentes, observando-se as atividades apontadas na Figura 17. Os recursos naturais devem ser utilizados em níveis abaixo das taxas de renovação (recursos renováveis), com um ritmo assimilável pelo meio ambiente.

O meio ambiente, como suporte de atividades (Lucas Júnior, 1996), será maior ou

QUADRO 12 - Análise de camas com resultados na base de matéria seca

Elemento	Cama de galinha	Cama de frango
Nitrogênio (%)	1,9	2,5
Fósforo (%)	1,2	1,6
Potássio (%)	1,3	2,0
Cálcio (%)	6,5	2,2
Magnésio (%)	1,0	0,5
Sódio (%)	0,3	0,3
Zinco (ppm)	210	270
Manganês (ppm)	240	300
PH	8,0	8,4

FONTE: Kiehl (1985).

menor de acordo com a capacidade de cada sistema sociocultural, territorial etc., em suportar determinadas atividades.

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 das considerações anteriores, torna-se fundamental na avaliação de sistemas de manejo de dejetos já implantados e no planejamento de novos sistemas a observação das seguintes premissas:

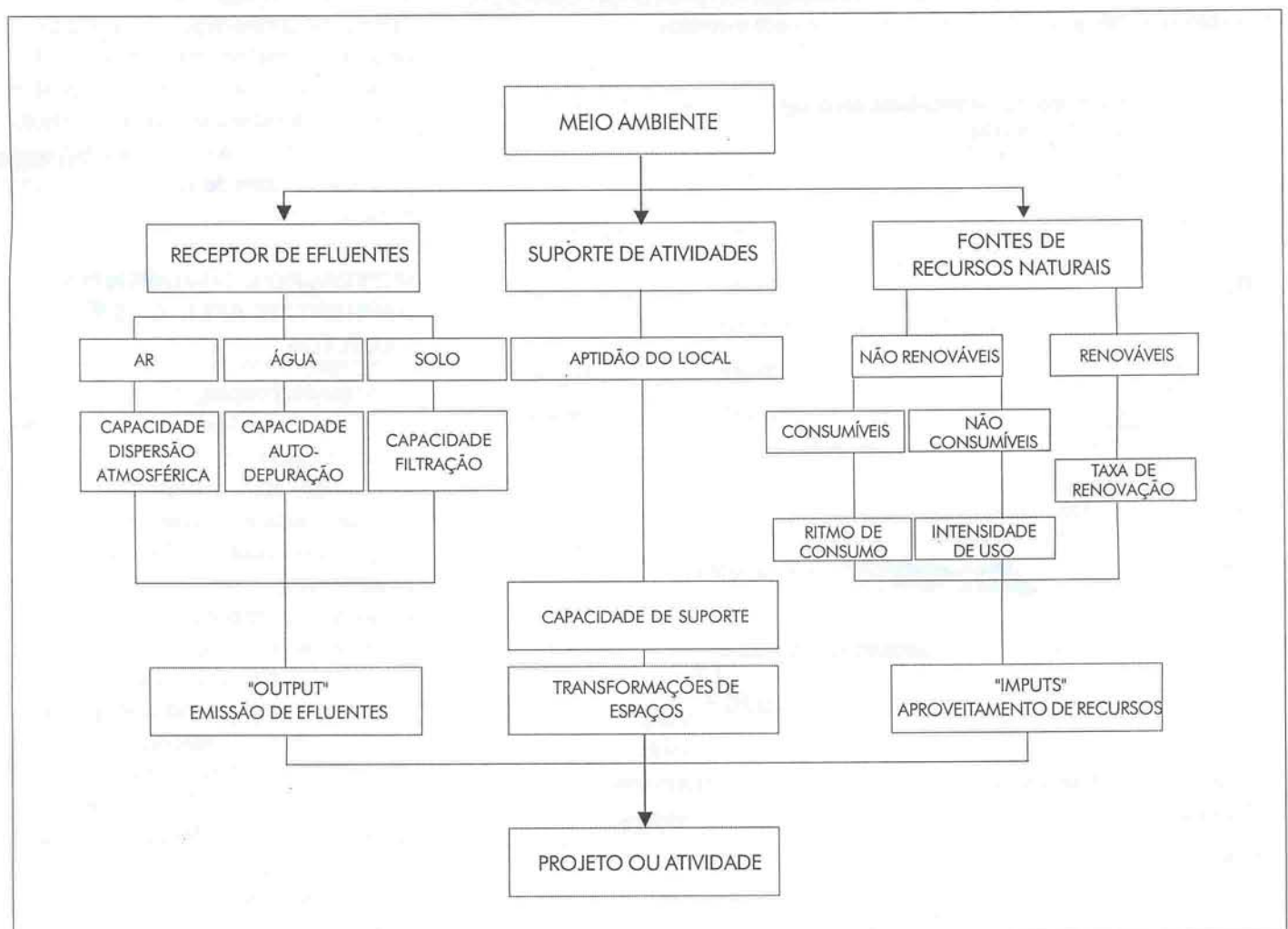


Figura 17 - Interação projeto/atividade com o meio

FONTE: Dados básicos: Lucas Júnior (1996).

- utilização de recursos, atendendo às taxas permitidas pelo meio (taxa de renovação);
- situar atividades em áreas e em ecossistemas com uma alta capacidade de suporte;
- a emissão de efluentes de determinada atividade não ultrapassará a capacidade de assimilação do meio ambiente.

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 dos 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, 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, 1996), que o Estado, através 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 COM DEJETOS EM ATIVIDADES PECUÁRIAS

Um exemplo típico de como os interesses imediatistas ou avaliações precipitadas podem trazer sérias conseqüências para a população foi relatado por Kuska, citado

por Seganfredo (2000c), segundo ele, ainda no início da década de 80, 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 colocado nas placas dos veículos daquele Estado causaria um impacto negativo ao título da região do gado leiteiro dos Estados Unidos. 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 (2000b). 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 disponíveis pelos dejetos.

A única forma de se evitarem o desequilíbrio do solo (Seganfredo, 2000b) e os danos ambientais, advindos do excesso de nutrientes provenientes dos dejetos aplicados por longos períodos ao solo, é a de limitar as quantidades desses às quantidades extraídas pelas plantas. Os nutrientes não supridos integralmente via dejetos poderão ser complementados através de fertilizantes químicos isentos, ou com uma mínima quantidade de outros elementos contidos na condição de impurezas. Isto é especialmente válido para o cádmio (Cd), cromo (Cr), arsênio (As), níquel (Ni), chumbo (Pb) e mercúrio (Hg). 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 13). Informações recentes dão conta de que a União Européia

QUADRO 13 - Limites máximos permitidos de metais no solo na União Européia, alguns países Europeus e os Estados Unidos

Países	Metal, em 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
Alemanha ⁽¹⁾	1,5	60	100	50	100	200	1
Itália	3	100	150	50	100	300	-
Espanha	1	50	100	30	50	150	1
Holanda ⁽²⁾							
Valor de referência	0,8	36	100	35	85	140	0,3
Exige recuperação	12	190	380	210	530	720	10
Inglaterra ⁽³⁾	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
Suécia ⁽⁴⁾	0,5	40	30	15	40	100	0,5
Estados Unidos	20	750	1500	210	150	1400	8

FONTE: McGrath et al. (1994), citado por 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 150mg/kg, respectivamente. (2) Para solos que não receberam lodo de esgoto. (3) Para pH entre 6,0 e 7,0. (4) Proposta preliminar.

deverá adotar limites ainda mais rígidos, o que poderá ocorrer também com os Estados Unidos.

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 (2001), 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 os nutrientes minerais, substâncias que demandam oxigênio, materiais em suspensão e patógenos.

Nitrato (NO_3)

O maior contaminante de água do lençol freático é o N que, aplicado ao solo através de adubações, pode ser convertido em nitrato, que é a forma preferentemente absorvida pelas plantas. Esta forma de N é solúvel em água e facilmente transportada pela solução do solo, da zona das raízes para o lençol freático e daí para as redes de drenagem, onde podem contaminar suprimentos de água potável. A aplicação de adubação com altos níveis de esterco de aves resulta em elevadas concentrações de nitrato na água subterrânea. Concentrações de nitrato acima de 10mg/L em água de poços são frequentemente detectadas, em áreas onde se desenvolve criação intensiva de aves (Seiffert, 2001). As concentrações mais elevadas ocorrem em locais com produção intensiva de frango e uso intensivo de esterco, e sob condições de solos arenosos e bem drenados. Estas causam, principalmente nas crianças, deficiência de hemoglobina no sangue, podendo levar à morte.

Fósforo (P)

Um problema que ocorre, onde existe freqüente aplicação de esterco como adubo, é que a concentração no solo pode

ultrapassar o nível máximo de P necessário ao desenvolvimento de plantas. A capacidade de adsorção de P pelas partículas do solo torna-se saturada e o P passa a ser lixiviado, alcançando o lençol freático. Os efeitos adversos, segundo Seiffert (2001), quando o esterco é aplicado em excesso, incluem: ocorrência de níveis excessivos de P, elevação da concentração de cobre (Cu), zinco (Zn) e outros elementos químicos potencialmente tóxicos. O esterco pode conter altas concentrações destes elementos e, sua adição contínua, pode trazer efeitos adversos a longo prazo sobre cultivos e efeitos colaterais à saúde humana. Tais problemas são mais freqüentes em áreas de solos arenosos. O excesso de P pode ser contornado através da rotação de cultivos. Níveis excessivos de P não manifestam efeito adverso em cultivo de cereais, mas com o acúmulo crescente, o P poderá imobilizar micronutrientes como o ferro (Fe) e Zn, os quais, no entanto, são abundantes na excreta de aves. O acúmulo de P no perfil do solo pode levar a problemas de qualidade de água, embora seja fortemente adsorvido às argilas e migre apenas poucos centímetros para baixo no perfil, mesmo no caso de aplicações elevadas, efetuadas durante anos seguidos. Em terrenos declivosos, deverão ser reduzidos os níveis de aplicação nos períodos chuvosos, para prevenir o transporte de P para a rede de drenagem. A adoção de cultivos tampão em faixas (pastagens, silagem, feno, frutíferas), intercalados com cultivos de cereais, é também indicada.

Pós e gases nocivos

Pelo menos 60% dos trabalhadores em instalações de confinamento de animais

apresentam sintomas respiratórios agudos ou subagudos. A qualidade do ar dentro das instalações deve ser identificada e analisada com relação ao potencial efeito prejudicial ou perigos aos animais, aos trabalhadores e à própria instalação (Sällvik, 1999). Quando se mantém o ar com boa qualidade pode-se reduzir a quantia de antibióticos necessários para manter os animais em condições saudáveis. Portanto, saúde animal, bem-estar e qualidade são parâmetros que interferem diretamente no preço e nos mercados para o produto e causam menor impacto ambiental.

Embora os maus odores por si só não possam provocar doenças, podem gerar certo desconforto em pessoas e animais (Oliveira, 1993). Por um lado, a inalação de grandes concentrações de gases nocivos, emitidos pelo esterco animal, tem provocado a morte de pessoas e animais. Os principais gases nocivos existentes em torno dos sistemas de confinamento são: amônia, sulfetos de hidrogênio, dióxido de carbono e metano. Seus efeitos biológicos e propriedades são apresentados no Quadro 14. Os odores são produzidos pela amônia, sulfeto de hidrogênio e por inúmeros compostos orgânicos intermediários, resultantes da decomposição biológica da matéria orgânica do esterco. Existem de acordo com Oliveira (1993), várias formas de controlar ou minimizar os odores, entre estas incluem-se a aeração, que produz a decomposição biológica, através do processo aeróbio, e outros métodos como a diluição, a ozonização e a compostagem.

Nas regiões de produção de suínos, algumas propriedades, que em seu início de atividades estavam isoladas, encontram-se cercadas de vizinhos. A suinocultura

QUADRO 14 - Propriedades dos gases mais encontrados em confinamentos animais

Gás	Peso em relação ao ar	Efeito fisiológico	Outras propriedades
Metano (CH_4)	1/2	Anestésico	Sem odor, explosivo
Amônia (NH_3)	2/3	Irritante	Forte odor, corrosivo
Sulfeto de hidrogênio (H_2S)	1 +	Veneno	Corrosivo
Dióxido de carbono (CO_2)	1/3	Asfixiante	Sem odor, corrosivo

FONTE: Midwest, citado por Ensminger et al. (1990).

como fonte econômica atrai moradores para a sua vizinhança, inicialmente com seus empregados, em seguida pela formação e pelo desenvolvimento dos quadros urbanos municipais que acabam atraindo conjuntos habitacionais para o entorno da propriedade. Nesses casos, segundo Bley Junior (2001), iniciam-se conflitos de vizinhança, sendo o mais comum deles as reclamações pelos odores característicos da produção de animais confinados, especialmente de suínos. A primeira razão para se considerar a necessidade de controle das emissões gasosas emanadas dos dejetos sob pisos em instalações é, que, os gases emanados dos dejetos em decomposição são facilitadores de instalação das principais doenças respiratórias. O complexo de doenças respiratórias em suínos é resultado da combinação de múltiplos agentes infecciosos, da existência de fatores ambientais estressantes (gás sulfídrico, amônia e outros) e problemas de manejo. Sendo os agentes infecciosos mais comuns, o vírus da PRRS, o vírus da influenza suína, o *Mycoplasma hyopneumoniae*, a *Salmonella choleraesuis*, o *Actinobacillus pleuropneumoniae*. Menos frequentes são os patógenos *Pasteurella multocida* e o Coronavírus, que causam ao homem alterações das funções fisiológicas, irritação, desconforto, percepção de odores, além da criação de condições adversas às atividades sociais e econômicas.

Amônia (NH₃)

A forma dominante de N orgânico nos esterco é o íon amônio (NH₄⁺), que é convertido em amônia (NH₃) com a elevação do pH e sob condições de umidade. Esta amônia na forma de gás difunde-se do esterco para a atmosfera pela volatilização, podendo conduzir a presença de elevados níveis do gás amônia no interior das instalações e de poluição da atmosfera adjacente. A volatilização da amônia do esterco pode causar diversos problemas (Seiffert, 2001), que incluem decréscimo no desempenho das aves, riscos à saúde de operadores, poluição atmosférica e redução do poder fertilizante do esterco pela perda de N para o ar (Sällvik, 1999). A amônia não ionizada (NH₃), dissolvida na água, pode

ser tóxica para peixes, mesmo em baixas concentrações. A agência americana de proteção ambiental estabelece um limite de 0,02 ppm de N na forma de NH₃ em águas, para proteção da vida aquática. O extravasamento de uma lagoa de contenção de um aviário de poedeiras pode ter uma concentração a mais de, aproximadamente, três mil vezes. O escoamento de água pluvial, de pastagens fertilizadas com excesso de esterco de aves, pode também conduzir à rede de drenagem concentrações elevadas de amônia. Sällvik (1999) relata ainda que há uma preocupação muito grande em toda Europa, pela emissão de amônia gerada dos suínos e armazenamento dos resíduos, pois isto pode causar chuva ácida e eutrofização dos corpos d'água.

Contaminação dos cursos d'água

Os organismos patogênicos são excretados através da urina e das fezes, e, por isso, são encontrados nos resíduos dos animais, mesmo quando estes resíduos são tratados através da remoção dos sólidos, aeração ou desidratação, os patógenos

não conseguem ser erradicados (Oliveira, 1993). Sendo assim, presume-se que, nos casos de infecção animal nos grandes sistemas de confinamento, grande número de patógenos seria eliminado nos rios. Por outro lado, devemos levar em conta que alguns animais podem eliminar patógenos sem manifestar sintomas de infecção. A *Salmonella* tem o poder de multiplicar-se até 100 mil vezes na água de rios, com cerca de 100mg de substâncias orgânicas por litro. Por isso, o despejo de efluentes animais não tratados em águas superficiais ou subterrâneas, muito comum em nosso meio rural, gera sérios riscos para as pessoas e animais que consomem estas águas ou com elas têm contato. Outros problemas provocados pelos efluentes de animais nos cursos d'água são as doenças causadas por coliformes, a leptospirose, tularemia, febre aftosa, hepatite, peste suína clássica etc. Alguns coliformes, como *Entamoeba coli*, manifestam certa patogenicidade nociva para pessoas adultas e animais, podendo ser fatal para as crianças. A Figura 18 apresenta a interação entre os dejetos animais e as doenças infecciosas nos homens

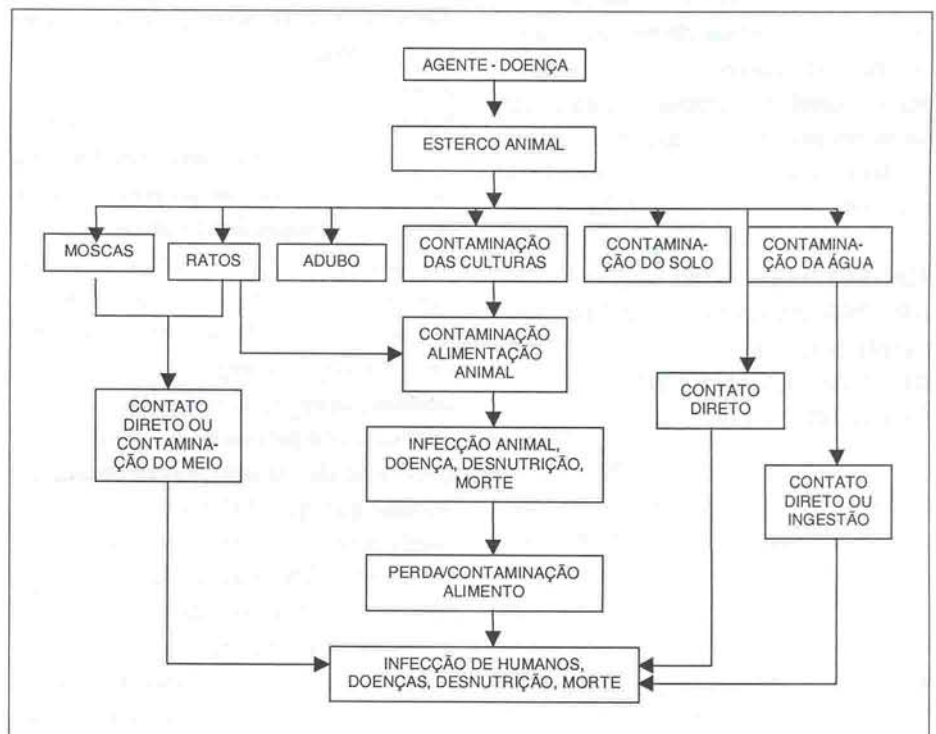


Figura 18 - Interação entre os dejetos de animais e as doenças infecciosas nos humanos e animais

FONTE: Oliveira (1983).

e nos animais.

Materiais sólidos suspensos em efluentes de esgotos de confinamentos podem levar à produção de baixos níveis de O_2 em corpos d'água superficial, pela redução da penetração da luz e conseqüente redução da geração de O_2 livre, através da fotossíntese de algas e plantas aquáticas. Materiais suspensos alteram o hábitat de reprodução de peixes e da ictiofauna, de forma geral alterando seu processo reprodutivo (Seiffert, 2001). A sedimentação destes materiais no fundo do canal dos cursos d'água interfere na vazão e reduz a capacidade de armazenagem em açudes e barragens. Além de causar prejuízos biológicos, físicos, químicos e estéticos, e mudança da cor da água, a remoção de materiais suspensos apresenta custos elevados e indesejáveis.

Sob condições de eutrofização, a atividade fotossintética das algas eleva a concentração de O_2 dissolvido na água durante o dia, mas a respiração das plantas reduz novamente o O_2 a noite e sob condições de dias nublados. A baixa concentração de O_2 dissolvido pode resultar na mortalidade de peixes e ictiofauna associada. O impacto dessa baixa concentração inclui além da mortalidade de peixes, odor e sabores indesejáveis e aspecto estético desagradável. Os corpos d'água nestas condições podem-se tornar anaeróbicos e produzir metano, aminas e sulfitos (Blake et al., 1990, citado por Seiffert, 2001).

SUGESTÕES DE TÉCNICAS APROPRIADAS DE MANEJO, CONTROLE E APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS ANIMAIS

Segundo Lucas Júnior (1996), em seguida à caracterização quanti-qualitativa serão planejados os sistemas de manejo e de controle de resíduos, considerando-se as possibilidades apresentadas na Figura 19, a qual indica que, a partir de determinado resíduo, pode-se, da maneira que melhor convir, tomar dois caminhos: o da reciclagem do resíduo e o do tratamento.

Salienta-se porém, que uma mudança de atitude desta magnitude deva ser pre-

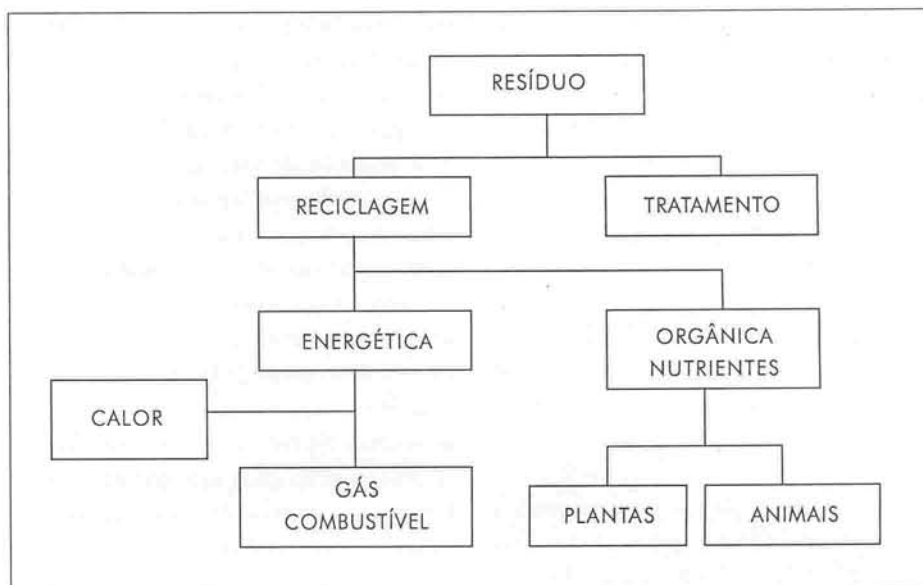


Figura 19 - Possibilidades de conversão de resíduos

FONTE: Lucas Júnior (1996).

cedida por implementação de uma política de educação ambiental, voltada para a gestão dos recursos ambientais, de forma que venha a criar uma consciência participativa, através de novos conhecimentos adquiridos, resultando numa real mudança de comportamento.

Existem vários destinos para a grande quantidade de resíduos gerada no meio rural (Santos, 1998), os quais visam não apenas controlar a poluição do meio ambiente, mas também obter retorno econômico com a disposição de resíduo, seja pelo aproveitamento no próprio setor com produção de biogás, fertilizante ou alimento alternativo seja pela comercialização. Os dejetos representam, ao mesmo tempo, um elevado potencial de poluição, bem como uma alternativa energética, fertilizante e também alimentar para outras espécies. O direcionamento para cada uma dessas situações depende exclusivamente do manejo adotado que, quando bem conduzido, permite o aproveitamento quase que integral dos dejetos dentro das condições estabelecidas em cada propriedade.

Assim, algumas técnicas têm sido amplamente divulgadas como auxiliares/complementares na gestão ambiental mais adequadas para o tratamento e disposição final dos resíduos gerados nas atividades pecuárias.

Dentre as técnicas e equipamentos destacam-se:

- biodigestores: que reduzem a emissão de patógenos, de odores, de poluição e degradação ambientais, sendo ainda fonte de bioenergia;
- esterqueiras e bioesterqueiras: que são depósitos de captação e armazenamento, por determinado tempo, até que possa haver a eliminação da fração indesejável e o material resultante do tratamento possa ser reaproveitado ou reutilizado;
- compostagem e vermicompostagem, que devem ser realizadas, quando se coletam as camas de frango, esterco bovino, esterco suíno, quando coletados como cama. A compostagem consiste na oxidação biológica, exotérmica do material orgânico, efetuada por uma sucessão rápida e dinâmica de população de microorganismos aeróbios. A vermicompostagem é o resultado da ação combinada de minhocas e da microflora que vive nos intestinos dos animais;
- reutilização: a utilização de resíduos na alimentação de animais pode reduzir o impacto ambiental e também promover redução de custos na alimentação. Pode-se considerar que

alguns resíduos já são utilizados em larga escala, como por exemplo, o uso da cama de frango na alimentação de bovinos, dejetos de suínos na alimentação de peixes e bovinos, dejetos de bovinos na alimentação de suínos e até mesmo de dejetos de determinada espécie para a mesma espécie (dejetos de suínos na alimentação de suínos, poedeiras para frangos de corte, frangos de corte para poedeiras etc.). Porém, cabe um alerta relativo ao uso indiscriminado de dejetos na alimentação de animais, pois, por via de regra, não se faz um controle das quantidades oferecidas aos animais, dos riscos sanitários e da qualidade do produto obtido;

- e) lagoas de estabilização: podem ser definidas como um corpo d'água lântico, destinado a armazenar resíduos líquidos de natureza orgânica. Seu tratamento é feito através de processos naturais; físicos, biológicos e bioquímicos, denominados de autodepuração ou estabilização, podendo ser aeróbicas, anaeróbicas ou facultativas (combinação de anaeróbicas e aeróbicas).

Técnicas apropriadas

Como inevitável consequência do manejo nos quais bovinos, ovinos, suínos e aves vêm sendo produzidos, e a alteração nos padrões de consumo, os métodos de produção para atividades mais intensificadas são vistos como os de maior potencial de impacto ambiental. A extensão dos efeitos das diferentes espécies altera-se e a velocidade na qual as mudanças podem ocorrer sugere a necessidade de estudar a magnitude e os detalhes do impacto das várias espécies particularmente importantes em cada região, o que faz com que se apliquem e adotem técnicas apropriadas e adequadas a cada caso.

Suínos

Com o objetivo de atender às exigências legais torna-se necessário desenvolver tecnologias para o tratamento dos dejetos, minimizando, desse modo, o impacto ambiental provocado pelo seu descarte. No

caso particular de suinocultura (Loures, 1998), sob o aspecto de reciclagem, podemos optar por algumas alternativas:

- a) alimentação animal:
 - peixes;
 - ruminantes - bovinos e carneiros;
 - não ruminantes - suínos e aves;
 - produção de silagem;
- b) adubação:
 - *in natura*;
 - fertirrigação - sem tratamento e pós-tratamento;
 - produção de compostos orgânicos;
 - produção de energia - biogás.

Os dejetos de suínos podem ser usados na fertirrigação das lavouras, trazendo ganhos econômicos ao produtor rural, sem comprometer a qualidade do solo e do meio ambiente. Para isso, é fundamental a elaboração de um plano técnico de manejo e adubação, considerando a composição química dos dejetos, a área a ser utilizada, a fertilidade e o tipo de solo e as exigências da cultura a ser implantada. No campo, de acordo com Miranda et al. (1999), através da determinação da densidade dos dejetos, é possível estimar a sua composição em nutrientes e calcular a dose adequada a ser aplicada para uma determinada cultura. Com o valor da densidade e de posse da tabela de conversão (Quadro 15) obtêm-se as características químicas dos dejetos analisados. A quantidade de dejetos a ser aplicada depende do valor do fertilizante, do resultado da análise de solo e das exigências da cultura a ser implantada.

Aves

A operacionalidade em condições de propriedades e as restrições de ordem técnica, econômica ou ética relativas a alternativas como a alimentação animal e a produção de energia, através da combustão ou fermentação em biodigestores, fazem com que a utilização da cama como fertilizante do solo seja a opção mais usada, quando não a única. Segundo Segnanfredo (2000a), ainda que as camas, algumas vezes, sejam aplicadas ao solo sem nenhum tipo de tratamento prévio, isso é recomendado, especialmente por questões sani-

tárias e para evitar a proliferação de insetos. As carcaças de aves mortas, antes de serem misturadas às camas, devem ser tratadas em separado, sendo a forma mais utilizada a compostagem. Para que qualquer sistema adubado com cama de aves possa ser caracterizado como auto-sustentável, ou seja, lucrativo e repetido indefinidamente, as quantidades de nutrientes adicionados devem se equivar àquelas retiradas pelas plantas num determinado tempo, de maneira que não haja tanto deficiência, quanto excesso no solo. Exemplo de balanço de nutrientes em função do solo, planta e quantidades de nutrientes nas camas de aves é apresentado no Quadro 16. Um fator importante a destacar é o de que as quantidades de nutrientes presentes nas camas de aves estão em proporções desequilibradas em relação à capacidade de extração das plantas.

Bovinos

Campos (1997), citado por Campos (1998), desenvolveu um trabalho sobre reciclagem de dejetos de bovinos com tratamento biológico nas instalações do Sistema Intensivo de Produção de Leite da Embrapa Gado de Leite, utilizando-se de dois reatores com capacidade de 300m³ cada um, construídos para compor as unidades de processo de lodo ativado por batelada, com sistemas de aeração prolongada e intermitente. O sistema de tratamento biológico proporcionou uma economia de 93% de água, 216% de energia elétrica e 36% de mão-de-obra, caracterizado pelo sistema operacional, automação e reciclagem de efluente tratado na limpeza hidráulica das instalações. Os indicadores de rentabilidade mostraram que compensa investir também no sistema de tratamento biológico aeróbio, trazendo benefícios sociais, econômicos e sanitários.

ANÁLISE PARA ACOMPANHAR O APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS

Os processos de desenvolvimento largamente realizados nos últimos séculos e principalmente nas últimas décadas foram extremamente favoráveis ao ser humano,

QUADRO 15 - Tabela de conversão para dejetos de suínos

Densidade (kg/m ³)	MS (%)	N (kg/m ³)	P ₂ O ₅ (kg/m ³)	K ₂ O (kg/m ³)	Quantidade de dejetos a aplicar para lavoura de milho (m ³ /ha)			
					De 50 a 100 sc./ha		Mais de 100 sc./ha	
					MO 2,6 a 3,5%	MO 3,6 a 4,5%	MO 2,6 a 3,5%	MO 3,6 a 4,5%
1.002	-	0,68	0,22	0,63	162	132	206	176
1.004	0,27	0,98	0,52	0,75	112	92	143	122
1.006	0,72	1,29	0,83	0,88	85	70	109	93
1.008	1,17	1,60	1,14	1,00	69	56	88	75
1.010	1,63	1,91	1,45	1,13	58	47	73	63
1.012	2,09	1,12	1,75	1,25	52	42	66	57
1.014	2,54	2,52	2,06	1,38	44	36	56	48
1.016	3,00	2,83	2,37	1,50	39	32	49	42
1.018	3,46	3,13	2,68	1,63	35	29	45	38
1.020	3,91	3,44	2,99	1,75	32	26	41	35
1.022	4,37	3,75	3,29	1,88	29	24	37	32
1.024	4,82	4,06	3,60	2,00	27	22	34	30
1.026	5,28	4,36	3,91	2,13	25	21	32	28
1.028	5,74	4,67	4,22	2,25	24	19	30	26
1030	6,19	4,98	4,53	2,38	22	18	28	24
1.032	6,65	5,28	4,84	2,50	21	17	27	23
1.034	7,10	5,59	5,14	2,63	20	16	25	21
1.036	7,56	5,90	5,45	2,75	19	15	24	20
1.038	8,02	6,21	5,76	2,88	18	14	23	19

FONTE: Miranda et al. (1999).

QUADRO 16 - Quantidade de nutrientes adicionados através de cama de aves e quantidades extraídas pelo milho (*Zea mays*) para uma produtividade de grãos de 9 t/ha, num solo argiloso contendo 3,5% de matéria orgânica

Nutrientes	Nutrientes extraídos ⁽¹⁾ para 9 t/ha	Adubação integral ⁽²⁾	Balanco extraído/ integral	Adubação de base ⁽³⁾	Balanco extraído/ base	Pelo elemento crítico ⁽⁴⁾	Balanco extraído/ crítico
Quantidade em kg/ha							
N	125	280	+2,24	94	-1,33	4,4	-28,41
P ₂ O ₅	119	319	+2,68	76	-1,56	5,0	-23,80
K ₂ O	37	324	+8,76	77	+2,08	4,2	-8,81
Ca	4	256	+64,00	61	+15,20	4,0	1,00
Mg	10	59	+5,90	14	+1,40	0,9	+11,11
Quantidade em g/ha							
Cu	24	196	+8,17	47	+1,90	3,1	-7,74
Zn	224	1924	+8,59	459	+2,05	30,2	-7,42
Mn	69	2454	+35,60	585	+8,45	38,5	-1,79

NOTA: Os sinais positivos (+) indicam excesso, e os sinais negativos (-) deficiência.

(1) A extração de N, P₂O₅, K₂O, Cu, Zn e Mn foi calculada com base em EMBRAPA-CNPMS (1991), citada por Segnfredo (2000a) e as de Ca e Mg, com base em EMBRAPA-CNPMS (1993), citada por Segnfredo (2000a). (2) Os nutrientes adicionados foram calculados considerando-se a demanda de N do milho, fator de mineralização do N da cama de aves de 50% para o primeiro ano e a composição química de uma amostra de cama de aves contendo: 2,70-1,29-2,60-2,46-0,57% de N-P-K-Ca-Mg e 18,8-185-236mg/kg de Cu-Zn-Mn, respectivamente, em base de MS. (3) Cama de aves aplicada em dose calculada para suprir o N da adubação de base. Os nutrientes em falta seriam suplementados através de fertilizante químico. (4) Quantidade calculada tendo como base o elemento necessário na menor quantidade, que, no exemplo, foi o cálcio (Ca).

tornando suas vidas mais confortáveis. Mas por outro lado, extraíram-se recursos naturais a velocidades gigantescas, prejudicando o ecossistema, do qual depende o futuro da atual e das próximas gerações. Portanto, temos necessariamente que monitorar, analisar e acompanhar a reciclagem e o aproveitamento de resíduos. A implementação de Sistemas de Gestão Ambiental, através da série normativa International Organization for Standardization (ISO) – 14000, vem sendo atualmente, uma ferramenta utilizada pelas organizações, a fim de garantir o atendimento às demandas da sociedade com atividades, produtos e serviços, com o compromisso de contínua redução dos impactos ambientais, proporcionando à empresa certificada maior competitividade, abertura de mercado internacional entre outras vantagens.

As seguintes análises devem ser realizadas:

- a) análise nutricional do resíduo: a caracterização químico-mineral do resíduo junto à análise do solo é um importante procedimento, quando se pretende utilizá-lo como fertilizante, caso contrário, as respostas poderão surtir efeitos indesejáveis. Quanto às análises bromatológicas, da mesma forma que a análise químico-mineral, são necessárias, para se conhecer a quantidade de nutrientes presentes no resíduo, podendo determinar a utilização ou não de alguma suplementação à categoria animal alimentada. Poderão ser realizadas análises para determinação dos teores de proteína bruta, MS, extrato etéreo, matéria mineral, fibra bruta, fibra em detergentes ácido, extrativo não nitrogenado, energia bruta, fibra em detergente neutro, digestibilidade (*in vivo*, *in situ* e/ou *in vitro*) e outras;
- b) análise microbiológica do resíduo: na utilização de dejetos como alimentos e até mesmo como fertilizantes do solo, há de se levar em consideração o teor de patógenos nele existente, pois esta presença pode acarretar na perda do rebanho inteiro e,

no caso de dejetos aplicados no solo, a contaminação de lençol freático, águas subterrâneas e superficiais. Podem ser realizadas as seguintes análises: número mais provável (NMP) de coliformes totais e fecais, *Clostridium* (UFC), *Salmonella*, *Stafilococcus*, podendo ser realizadas outras análises de acordo com a Região;

- c) análise do poder poluente do resíduo: os principais parâmetros no auxílio da determinação do poder poluente do resíduo são: DBO, DQO, carbono orgânico total (COT), sólidos (totais, voláteis, suspensos e dissolvidos), pH, alcalinidade, temperatura, cor, odor, turbidez, concentração de elementos químicos diversos;
- d) análise do solo: a taxa de aplicação do resíduo no solo deve ser feita com base nas análises químico-minerais realizadas no solo. Devem ser procedidas análises para verificação dos teores de micro e macronutrientes, metais pesados e matéria orgânica;
- e) análise das necessidades nutricionais das plantas: é importante que se conheçam as necessidades nutricionais das plantas que receberão resíduos como fonte de adubação, pois, sabendo-se a quantidade de nutrientes possível de ser extraída pelas plantas, pode-se proceder à adubação sem o risco de aplicar na sobretaxa de nutrientes, principalmente no que se relaciona a N e P.

CONCLUSÃO

- a) usar dejetos como adubo do solo, apesar de parecer a maneira mais fácil de resolver o problema, não é a única, nem muito menos a final;
- b) 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;

- c) encontros anuais, regionais e locais devem ser promovidos pelo serviço de assistência técnica, para atualizar e comprometer produtores, indústrias integradoras e representantes do poder público regulador, com relação à adoção de melhores práticas de manejo de resíduos;
- d) para que a produção animal possa-se expandir de forma que atenda à demanda humana sem afetar o meio ambiente, novos sistemas de manejo de dejetos devem ser desenvolvidos e adotados pelos produtores e agroindústrias;
- e) 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 (fornecer dietas mais bem balanceadas para os animais; proceder à análise química do dejetos e 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);
- f) segundo Fernandez-Vitoria (1995), citado por Lucas Júnior (1996), o meio ambiente é o entorno vital, ou seja, o conjunto de fatores físicos-naturais, estéticos, culturais, sociais e econômicos, que se relacionam entre si, com o indivíduo e com a comunidade em que vive, determinando sua forma, caráter, comportamento e sobrevivência no que se relaciona ao homem. Entende-se o meio ambiente como: fonte de recursos naturais (matérias-primas e energia), suporte de atividades e receptor de efluentes. Os recursos natu-

rais devem ser utilizados em níveis abaixo das taxas de renovação (recursos renováveis), com um ritmo assimilável pelo meio ambiente;

- g) é importante enfatizar que o manejo de dejetos faz-se necessário não só nos grandes setores agropecuários, como 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 BIBLIOGRÁFICAS

- ANUALPEC 99. Anuário da Pecuária Brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, [1999]. 447p.
- BLEY JÚNIOR, C. **Controle de gases e odores com biofiltro**. Disponível em: <<http://www.suino.com.br>>. Acesso em: 7 fev. 2001.
- BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, 1988. 160p.
- _____. Senado Federal. **Agenda 21**: Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. Brasília, 1996. 591p.
- CAMPOS, A. T. Manejo de dejetos de bovinos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27.; ENCONTRO NACIONAL DE TÉCNICOS, PESQUISADORES E EDUCADORES DE CONSTRUÇÕES RURAIS, 3., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p.233-279.
- CEZAR, E. **Produtores de gado que não se adequaram às mudanças não sobrevivem**. Disponível em: <<http://www.cnpge.embrapa.br/~eliana/informa/dezembro99/bovinocultura.html>>. Acesso em: 13 fev. 2001.
- CONAMA. Resolução nº237, de 19 de dezembro de 1997. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, 22 dez. 1997.
- DESEMPENHO do setor avícola. **Avicultura Brasileira**. Disponível em: <<http://www.ave.com.br/avicult.html>>. Acesso em: 20 fev. 2001.
- ENSMINGER, M. E.; OLDFIELD, J. E.; HEINEMANN, W.W. **Feeds & nutrition**. 2.ed. Clovis, California: Ensminger, 1990. 1540p.
- FEAM. **Deliberação Normativa 01/90, alterada pela Deliberação Normativa 40/99**. Disponível em: <<http://www.feam.com.br>>. Acesso em: 21 ago. 2001.
- KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1985. 492p.
- LOURES, E. G. Manejo de dejetos de suínos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27.; ENCONTRO NACIONAL DE TÉCNICOS, PESQUISADORES E EDUCADORES DE CONSTRUÇÕES RURAIS, 3., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. Anexos.
- LUCAS JÚNIOR, J.L. 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.
- MIDWEST PLAN SERVICE. **Dairy housing and equipment handbook**. 14.ed. Ames, 1985. Cap.8, p.1-15.
- MIRANDA, C.R.; ZARDO, A.O.; GOSMANN, H.A. Uso de dejetos de suínos na agricultura. **Revista Batavo**, Carambei, ano 8, n.96, nov. 1999.
- OLIVEIRA, P. A. V. (Coord.). **Manual de manejo e utilização dos dejetos suínos**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1993. 188p. (EMBRAPA-CNPSA. Documentos, 27).
- PERDOMO, C. C. Manejo e tratamento de dejetos suínos. **Suínocultura Industrial**, Porto Feliz, v.22, n.145, p.14, 16-17, jun./jul. 2000.
- ROPPA, L. Situação atual e tendências da suínocultura mundial. In: SILVA, I.J. O. (Ed.). **Ambiência e qualidade na produção industrial de suínos**. Piracicaba: FEALQ, 1999. p.196-206.
- SÄLLVIK, K. Air quality for pig production. In: SILVA, I. J. O. (Ed.). **Ambiência e qualidade na produção industrial de suínos**. Piracicaba: FEALQ, 1999. p.196-206.
- SANTOS, T. M. B. dos. **Impactos da produção animal sobre o meio ambiente**. Jaboticabal: UNESP-FCAV, 1998. 43p.
- SEGANFREDO, M. A. **Análise dos riscos de poluição do ambiente, quando se usa dejetos de suínos com adubo do solo**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 2000a. 2p. (EMBRAPA-CNPSA. Comunicado Técnico).
- _____. **A questão ambiental na utilização de dejetos de suínos como fertilizante do solo**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 2000b. 35p. (EMBRAPA-CNPSA. Circular Técnica, 22).
- _____. Usando a cama certo: o impacto ambiental na utilização da cama de aves como fertilizante do solo. **Avicultura Industrial**, Porto Feliz, SP, p.24-27, ago. 2000c.
- SEIFFERT, N. F. Planejamento da atividade avícola visando qualidade ambiental. In: SIMPÓSIO SOBRE RESÍDUOS DA PRODUÇÃO AVÍCOLA, 2000. Concórdia. Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br/>>. Acesso em: 13 fev. 2001.
- SUINOCULTURA INDUSTRIAL. Anuário 2000. Porto Feliz, SP, v.22, n.149, dez./jan.2000/2001.
- TALAMINI, D. Passado, presente e futuro. **Suínocultura Industrial**, Porto Feliz, SP, n.149, p.16-18, dez./jan. 2000/2001.
- TIESENHAUSEN, I. M. E. V. Resíduos avícolas na alimentação de ruminantes. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, ano 10, n.119, p.52-55, nov. 1984.
- VAQUEIRO, E. **Projeto e construção de alojamento para animais**. 2.ed. Lisboa: Litema Portugal, 1981. 237p.
- VARGAS, O. L. Como deve ser produzido e transformado o leite para consumo humano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GADO LEITEIRO, 2., 1996, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1996. p.169-244.
- Uma VISÃO mais empresarial: bovinocultura de leite. **A Granja do Ano**, São Paulo, n.14, p.54-55, dez./jan. 2000/2001.

Compostagem como alternativa para o tratamento de lixo orgânico domiciliar e recuperação de áreas degradadas

Eduardo Teixeira da Silva¹
Clarice Farian de Lemos²
Jocely Maria Thomazoni Loyola³
Maura Regina Franco⁴
Paulo Eduardo Sobreira Moraes⁵
Paulo Roberto Chamecki⁶

Resumo - É preciso conhecer o lixo gerado em uma cidade, ou em uma comunidade, para se terem melhores soluções de gestão para seu tratamento, apesar de ser grande a variabilidade na composição desse lixo entre cidades. A compostagem, que transforma lixo em adubo orgânico, é uma modalidade de processamento de resíduos muito antiga, utilizada rusticamente já nas primeiras sociedades agrícolas. Consiste nas degradações aeróbica e termofílica da matéria orgânica contida em restos de origem animal ou vegetal, sob condições controladas por atividades biológicas de microorganismos. Estas utilizam o carbono da matéria orgânica, para se obter energia, resultando, com isso, em um produto final estabilizado, pasteurizado e rico em substâncias húmicas. Os metais pesados como o Cu, Pb, Zn, Hg, Cd e outros têm sido detectados no produto final das usinas de compostagem. Estes metais são tóxicos às plantas, animais e seres humanos e, por isso, existem várias propostas, em alguns países, para limitar os teores de metais pesados em compostos de lixo. Os benefícios sanitários e sociais associados à compostagem, por si só, são importantes. Mas resultam também em ganhos indiretos no aspecto econômico, como a redução da carga nos sistemas de saúde, entre outros. Além disso, ocorrem ganhos diretos na geração de empresas e empregos, economia de energia, produtividade agrícola, venda de reciclados e de composto orgânico.

Palavras-chave: Reciclagem; Composto orgânico; Lixo urbano; Metais pesados.

INTRODUÇÃO

Há um crescente aumento na produção de resíduos sólidos, oriundos das atividades humanas industriais, comerciais, agrícolas e mesmos das domiciliares, devido às constantes mudanças da sociedade de consumo. De fato, o crescimento econômico

deu-se no sentido de se desenvolverem mais os produtos oferecidos no mercado, do que a destinação final dos resíduos deles advindos.

Dado o desenvolvimento dos produtos industriais e de suas embalagens, a formação do lixo urbano e mesmo do rural trans-

formou-se em complexidade e dificuldade de tratamento, sem que isso implicasse em uma mudança real diante dessas novas condições na disposição final do lixo produzido. Passet (1994) aponta que, além da questão ambiental, esse passa a ser também um problema econômico.

¹Eng^a Agrícola, D.Sc. Construções Rurais e Ambiente, Prof. UFPR - Dep^{te} Solos e Engenharia Agrícola - Setor de Ciências Agrícolas, Rua dos Funcionários, 1540 - Cabral, CEP 80035-050 Curitiba-PR. Correio eletrônico: eduardo@agrarias.ufpr.br

²Eng^a Civil, Mestranda em Ciências do Solo, Prof^a CEFET-PR/UNED-PB, Caixa Postal 571, CEP 85503-390 Pato Branco-PR. Correio eletrônico: clarilemos@uol.com.br

³Eng^a Civil, Mestranda em Ciências do Solo, Prof^a UFPR/Consultora Cobrape, CEP 85531-990 Curitiba-PR. Correio eletrônico: cobrape@avalon.sul.com.br

⁴Adm. Empresas, Doutoranda em Monitoramento, Modelagem e Gestão Ambiental, Prof^a UFPR-Escola Técnica, Rua dos Funcionários, 1540 - Cabral, CEP 80035-050 Curitiba-PR. Correio eletrônico: mrfranco@ig.com.br

⁵Eng^a Químico, Doutorando em Monitoramento, Modelagem e Gestão Ambiental, Prof. Faculdade Internacional de Curitiba, Rua dos Funcionários, 1540 - Cabral, CEP 80035-050 Curitiba-PR. Correio eletrônico: pauloraes@ig.com.br

⁶Eng^a Civil, Mestrando em Ciências do Solo, Prof. UFPR/Pesq. LAME/LACTEC, CEP 85531-990 Curitiba-PR. Correio eletrônico: chamecki@lactec.org.br

No geral, estima-se, entre 400g e 600g diárias por habitante, a quantidade de lixo domiciliar produzida em cidades de pequeno e médio portes. Nos grandes centros, essa quantidade pode chegar a 1,5kg por habitante por dia, de acordo com Alves (1996).

A cidade de Curitiba chega a depositar 2.400 t/dia de lixo no Aterro Sanitário da Cachimba (ASC), que recebe resíduos de características domiciliares.⁷

Segundo Pereira Neto, citado por Leite & Povinelli (1999), dos resíduos urbanos coletados no Brasil, constata-se que apenas 0,01% é incinerado, 1% tratado em usinas de compostagem, 9% são destinados a aterros sanitários, 12% são dispostos em aterros controlados e 78% são lançados em lixões. Desse modo, pode-se concluir que, no Brasil, a questão da disposição do lixo e do tratamento de resíduos está pouco amadurecida e ainda não se encontra equacionada.

Pode-se observar que, é prática comum da maioria das administrações municipais, colocar resíduos em lixões a céu aberto ou em aterros sem nenhum controle, resultando em perdas ambientais, sociais e econômicas, ou seja, provocando problemas de saúde para a população, degradação da água, do solo e do ar e, ainda, a desvalorização imobiliária dessa região.

Uma vez que os recursos naturais do planeta são finitos, é necessário desviar, coletar, separar e processar os materiais que estão, ou se tornariam lixo, para serem usados como matéria-prima na manufatura de bens. Os investimentos em tratamento e disposição final adequada do lixo representam, por estes motivos, um ganho ambiental e social (Costa, 1999). Pois, ao se tratar adequadamente o lixo, está-se tratando, antes, da conservação da qualidade ambiental, social, econômica e sanitária, da qual se pode dispor como comunidade.

O objetivo deste estudo é discorrer sobre o processo de compostagem e as melhorias ambientais, sociais e econômicas

advindas de sua utilização. A compostagem é um meio eficaz e eficiente para o tratamento de resíduos orgânicos, sem a qual há um acarretamento na contaminação do solo e de lençóis freáticos, quando existe disposição desses materiais em lixões a céu aberto.

CARACTERÍSTICAS E CLASSIFICAÇÃO DO LIXO URBANO

É preciso conhecer o lixo gerado em uma cidade, ou em uma comunidade. Do seu conhecimento advêm as melhores soluções de gestão e tratamento. Na falta da caracterização dos resíduos de uma cidade, utilizam-se os dados disponíveis de outras, porém, a variabilidade é grande, de cidade para cidade, na composição do lixo.

Analisando o Quadro 1, verifica-se que o lixo domiciliar representa 39,7% do total. Uma grande parcela dos resíduos sólidos não é coletada, ou é disposta de maneira irregular no meio ambiente, e constitui-se hoje num dos maiores problemas enfrentados pelos municípios brasileiros, obrigados por lei a destinarem adequadamente tais resíduos.

Diversas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), são dedicadas aos resíduos sólidos, envolvendo sua amostragem e classificação, projeto, construção e operação de aterros e outras formas de disposição final. Além delas, são também utilizadas as publicações da Com-

panhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), de São Paulo, em projetos e monitoramento. A NBR 10004 (ABNT, 1987) define os resíduos sólidos e semi-sólidos, como aqueles que resultam da atividade da comunidade. Os lodos provenientes de sistemas de tratamento e os líquidos, cujas particularidades tornam inviável o seu lançamento em rede pública de esgotos ou corpos receptores, também são considerados como resíduos sólidos. A definição é estendida a todos os resíduos, quaisquer sejam sua origem: residencial, comercial, industrial, de serviço hospitalar, especial e de varrição de ruas e feiras. Na categoria especial estão os materiais produzidos esporadicamente, como os oriundos da limpeza de jardins, animais mortos etc.

A NBR 10004 (ABNT, 1987) classifica os resíduos em:

- a) classe I: perigosos, quando podem apresentar risco à saúde pública;
- b) classe II: não-inertes, quando não se enquadram nas outras classes e podem apresentar combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água;
- c) classe III: inertes, quando nenhum de seus componentes é solúvel em água, como rochas, tijolos, vidro, plásticos etc.

As características do lixo podem variar em cada cidade, ou mesmo em cada bairro de uma cidade, em função das atividades

QUADRO 1 - Produção de lixo no Brasil no ano 2000

Produção de lixo no Brasil	Tonelada/Dia	%
Residencial	96.000,00	39,7
Comercial	32.055,42	13,3
Industrial	21.745,26	9,0
Material inerte	91.813,32	38,00
Total	241.614,00	100,00

FONTE: ABGE (2000).

⁷Comunicação pessoal, obtida através de Luiz Celso Coelho da Silva, funcionário do Departamento de Limpeza Pública da Prefeitura Municipal de Curitiba, em 2001.

predominantes, dos hábitos alimentares da população, do clima e de outros fatores. Verificou-se, até mesmo, que por sorte de planos econômicos, como o Plano Real, houve uma variação na composição do lixo, dada a uma melhora nas condições econômicas de consumo da população.

No Brasil, os resíduos sólidos urbanos são constituídos basicamente por líquido, matéria orgânica putrescível, plástico, papel e papelão. O percentual de umidade gira em torno de 50% (em peso), dependendo da época do ano e dos hábitos e costumes da população, enquanto os 50% restantes que correspondem à fração sólida, estão presentes nos demais constituintes físicos e químicos.

Em Curitiba, para determinar a composição dos resíduos que aportam no Aterro Sanitário da Cachimba, situado na região Sul da cidade, foram realizados, pelo Centro Tecnológico de Saneamento do Serviço Nacional da Indústria, ensaios de triagem, nos dias 16 e 17 de outubro de 1996, envolvendo resíduos sólidos de três classes sociais distintas, estrategicamente escolhidas. As cargas de resíduos foram selecionadas, homogêneas, colocadas em pilhas e recolhidas cinco amostras de, aproximadamente, 1kg cada, acondicionadas em sacos plásticos e, logo após, analisadas (Camp..., 2000). Os resultados obtidos estão apresentados no Quadro 2.

Observa-se que a maior percentagem

na composição dos resíduos sólidos da cidade de Curitiba é a matéria orgânica, insueto do processo de compostagem.

Normalmente, a compostagem implica, também, num processo de triagem e recuperação de inertes, isto é, da parte não putrescível do lixo, que pode ser feita paralelamente a qualquer outro processo de tratamento ou disposição final. Mesmo porque, inertes como plásticos, vidros e materiais metálicos podem e devem ser reciclados.

FORMAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS DOMICILIARES

Existem três formas de tratamento de resíduos domiciliares: o aterramento, a incineração e a reciclagem.

O aterramento é mais uma forma de disposição do que de tratamento do lixo. Há duas principais formas de aterramento: o aterro sanitário e o aterro controlado.

O aterro sanitário é o mais utilizado em todo o mundo, por ser considerado um método economicamente viável, por não precisar de grandes investimentos. Segundo Alves (1996), ele consiste em proceder ao aterro diário de lixo em área previamente estudada e aprovada para tal utilização, onde são feitos drenos coletores de chorume e drenos para gases gerados na decomposição da matéria orgânica. O lixo é compactado e recoberto por uma camada de material inerte, geralmente terra. Já o ater-

ro controlado é uma derivação do aterro sanitário e consiste em dispor o lixo em valas com recobrimento de terra, porém, sem todos os cuidados necessários para considerá-lo como aterro sanitário. De fato, no Brasil, a maioria dos aterros são dessa ordem.

A incineração é a transformação térmica dos resíduos a temperaturas de 800°C a 1.000°C, que ficam reduzidos a cerca de 10% de seu volume inicial. O material inerte resultante, constituído por cinza e escória, deve ser encaminhado a um aterro sanitário. Esse método, atualmente, está sendo muito utilizado para resíduos hospitalares, em que as altas temperaturas eliminam os riscos de contaminação biológica.

A reciclagem é o conjunto de atividades e processos que objetivam promover o reaproveitamento de componentes como o plástico, o papel, os metais ferrosos, o alumínio, o vidro, entre outros. A compostagem da matéria orgânica do lixo, que transforma resíduos potencialmente poluidores em adubo orgânico, pode ser utilizada na lavoura, hortas, jardins, melhorando as condições gerais do solo, que é, também, uma forma de reciclagem.

FUNDAMENTOS DA COMPOSTAGEM

A origem do emprego da matéria orgânica como fator de fertilização dos solos, é bastante remota. Na antiguidade, os chineses, os gregos e os romanos aplicavam matéria orgânica em seus solos, devolvendo à terra restos de plantas e dejetos animais. Quando o homem branco chegou à América, os índios já praticavam adubação orgânica, colocando um peixe no fundo da cova de milho (IBAM, 1978).

A compostagem, que transforma lixo em adubo orgânico, é uma modalidade de processamento de resíduos muito antiga; utilizada rusticamente já nas primeiras sociedades agrícolas. Ela consiste nas degradações aeróbica e termofílica da matéria orgânica, contidas em restos de origem animal ou vegetal, sob condições controladas, através das atividades biológicas de microorganismos que utilizam o carbono (C) da

QUADRO 2 - Composição dos resíduos sólidos dispostos no aterro sanitário da Cachimba - Curitiba-PR

Tipos ou componentes	Média entre as classes
Matéria orgânica (%)	61,60
Plásticos (%)	14,03
Papel ou papelão (%)	14,07
Outros (metais, vidro etc.) (%)	10,30
Umidade (%)	50,87
Matéria sólida seca (%)	49,13
Poder calorífico superior (kcal/kg)	2.201
Poder calorífico inferior (kcal/kg)	1.672

FONTE: Camp Dresser & McKee International (2000).

matéria orgânica para se obter energia, resultando, com isso, em um produto final estabilizado, pasteurizado e rico em substâncias húmicas, chamado de composto (Fig. 20).

No processo de compostagem ocorrem duas fases distintas: a estabilização (degradação ativa) e a maturação (cura).

O processo inicia-se pelo desenvolvimento de microorganismos mesófilos, com a elevação da temperatura. No intervalo de temperatura entre 40°C e 45°C diminui a população mesófila, instalando-se a termófila, muito ativa, que eleva a temperatura entre o intervalo de 60°C e 70°C, provocando intensa degradação da matéria orgânica e eliminando patógenos. Quando baixa a temperatura progressivamente até atingir a temperatura ambiente, está concluída a etapa de estabilização, na qual os componentes orgânicos mais frágeis foram biodegradados. Na segunda fase da maturação, muito mais lenta, ocorre a humificação, com predominância de transformações químicas (Costa, 1999).

A duração das fases depende das condições de compostagem e dos resíduos utilizados. Em reator biológico, os fatores físico-químicos são controlados e as diferenças de temperatura permitem separar bem as fases. A fase de estabilização pode variar de sete a quinze dias, em função da biodegradabilidade dos resíduos, e a maturação pode levar alguns meses. Em condições menos controladas, como nas leiras, a fase de estabilização é mais lenta, podendo durar meses e confundir-se com a maturação. Se as condições de compostagem não forem boas, a maturação pode durar de três a cinco meses. Mas o procedimento correto é realizar testes, como o de nitrogênio (N) solúvel e o de germinação, para comprovar a boa qualidade do composto. Do contrário, o mesmo pode conter componentes fitotóxicos, como metais pesados, e/ou fitopatógenos, microorganismos que causam danos ou doenças em plantas de cultivo, e ocasionar danos às culturas que o utilizarem como adubo orgânico.

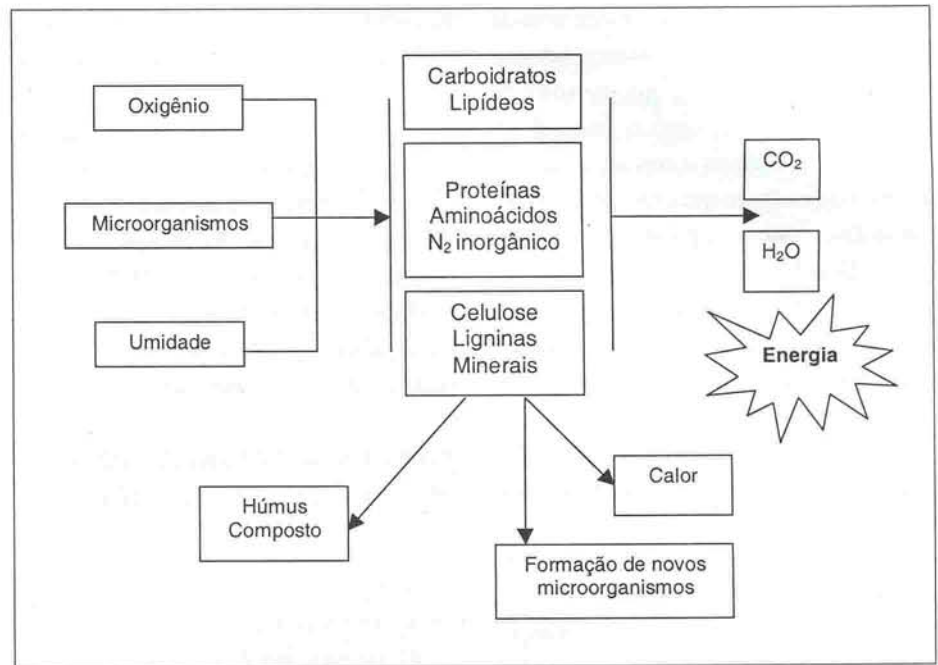


Figura 20 - Representação esquemática do processo de compostagem e seus componentes
 FONTE: Dados básicos: Alves (1996).

Os metais pesados devem ser considerados fitotóxicos na dependência da forma química com que se apresentarem no composto, do tipo e das características físico-químicas, do solo em que o composto servirá como adubo, do grau de humificação, do composto e do tipo de planta. Há, por exemplo, plantas que absorvem maior ou menor quantidade de metais pesados, como pode ser observado no Quadro 3, e, portanto, podem ser utilizadas como indicadores da contaminação por metais pesados.

Além disso, há um número exageradamente grande de fitopatógenos que não sobrevive no composto, se a etapa termofílica for bem realizada, tornando-o, assim, pasteurizado. Caso contrário tais microorganismos podem contaminar a área onde o composto for utilizado.

PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA COMPOSTAGEM

A compostagem é um processo bio-

QUADRO 3 - Absorção relativa de metais pesados em tecidos de plantas

Alta absorção	Absorção moderada	Baixa absorção	Absorção muito baixa
Alface	Couve	Repolho	Feijão
Espinafre	Beterraba	Brócolis	Ervilha
Acelga	Nabo (raiz)	Couve-flor	Tomate
Escarola	Mostarda	Couve-de-bruxelas	Pimenta
Abobrinha	Batata	Aipo	-
Nabo (parte aérea)	Cebola	-	-
Beterraba (parte aérea)	Rabanete	-	-
Cenoura	-	-	-

FONTE: Pereira Neto (1997).

lógico e, portanto, pode ser influenciada por fatores que afetam a atividade microbológica como: teores de C e N, umidade, temperatura, pH da matéria orgânica, aeração, concentração de nutrientes e a granulometria das partículas.

A relação C/N caracteriza o equilíbrio dos substratos, isto é, os compostos orgânicos advindos do lixo. O C é fonte de energia e constituição dos microorganismos que necessitam do N para a síntese das proteínas. A falta destes elementos limita a atividade microbológica. Ao final da compostagem, a relação C/N deve situar-se entre 10 e 20. Se for superior a 20 os microorganismos do composto podem reter o N da terra, necessário às plantas. Já para a relação C/N inferior a 12, o composto está curado. Para análise química de C e N devem ser retiradas periodicamente amostras do substrato. Os seus resultados podem indicar a necessidade de correções.

A umidade ótima depende da estrutura e da capacidade de retenção de água do substrato. Se a umidade da mistura é inferior a 40%, a atividade biológica diminui. Se for superior a 60%, obstrui os espaços entre as partículas da mistura, dificultando a aeração. As variações de umidade podem ser provocadas tanto pela fermentação e pelo sistema adotado, como pelas condições climáticas. Devem ser feitos o monitoramento da umidade e a adoção de medidas corretivas, sempre que necessário.

A temperatura também deve ser controlada e corrigida, quando necessária. Se, até o quarto dia após o início do processo, a temperatura não se encontrar no intervalo de 40°C a 60°C, um ou mais parâmetros físico-químicos não devem estar adequados, exigindo, portanto, a correção. Com o início da fase termófila, que ocorre em torno de 45°C, deve-se controlar a temperatura mantendo-a no intervalo entre 55°C e 65°C. Do contrário, a atividade microbológica cai e o ciclo de compostagem fica mais longo.

No início da compostagem ocorre uma queda sensível do pH, que chega a 5 ou 6. Quando passa da fase mesófila inicial para a termófila, o pH eleva-se para 7,5 a 9.

Se a relação C/N estiver bem controlada, o pH deixa de ser um fator crítico.

A aeração deve garantir a elevada demanda por oxigênio da compostagem, com o risco de limitar a atividade microbiana e prolongar o ciclo. Como se trata de um processo aeróbico, esta é particularmente importante na fase inicial de estabilização e menos necessária na maturação, devido à redução da atividade microbiana. A circulação de ar na massa do composto é fundamental para a rapidez e a eficiência do processo; dependendo da estrutura e umidade da massa e da tecnologia de compostagem utilizada. O sistema de aeração passiva por difusão do ar na massa é eficiente apenas em substratos de degradação lenta e granulometria grosseira, como restos de vegetais e leiras de até 2,0m de altura. No sistema ativo por revolvimento manual ou mecânico, a operação deve ser realizada no mínimo a cada quinze dias, especialmente na fase de estabilização. No sistema ativo por ventilação forçada, o ar pode ser injetado sob pressão ou aspirado através da massa de composto.

Outros nutrientes como os macronutrientes fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), cálcio (Ca) e manganês (Mg), e os micronutrientes como ferro (Fe), zinco (Zn), magnésio (Mn), sódio (Na), cobalto (Co), cobre (Cu), cloro (Cl) etc., necessários para a atividade microbiana, normalmente estão presentes nos resíduos orgânicos em quantidade suficiente.

No que se refere à estrutura, sabe-se que os microporos da massa de granulometria fina significam grande área exposta ao ataque microbiano. Porém, deixam pouco espaço intersticial, dificultando a circulação de ar. Admite-se a porosidade entre 30% e 36%, como condição ótima de compostagem, e partículas com tamanho entre 20mm e 50mm.

SISTEMAS DE COMPOSTAGEM

As usinas de compostagem normalmente são constituídas pelas seguintes unidades: fosso de recepção, equipamento de triagem, triturador, estabilização em

digestor interno ou leiras ao ar livre, pátio de cura, separador balístico e peneiras. O separador balístico separa o composto mais denso do menos denso. O esquema da Figura 21 representa o fluxograma do processo completo de compostagem.

As variações possíveis nos procedimentos para realizar as operações descritas conduziram ao desenvolvimento de diversos sistemas patenteados de compostagem. São exemplos os sistemas: Indore, Beccari, Fermascreen, Dano, Triga, entre outros.

Qualquer processo biológico da compostagem deve obedecer aos mesmos parâmetros físico-químicos e o tratamento deve ter respaldo científico, caso contrário podem resultar compostos de discutível confiabilidade.

Os processos mais utilizados no Brasil são com bioestabilizadores ou diretamente em pilhas ou leiras. O bioestabilizador ou catalisador acelera a estabilização da matéria orgânica, que depois de três a sete dias deve prosseguir em pilhas e reviramento. Os processos desenvolvidos diretamente em leiras, com reviramento manual ou mecânico, são os mais difundidos; porém, freqüentemente realizados sem controle e de forma inadequada. Poucas usinas do país têm sistemas dimensionados para a fase de maturação, sem a qual não ocorrem as reações enzimáticas de humificação indispensáveis para a produção do composto (Costa, 1999). Pesquisadores alertam quanto ao perigo do uso agrícola da massa não maturada, pois a produção de toxinas característica desta fase poderá ocorrer no solo, interferindo em sua ecologia e prejudicando o plantio.

Qualquer que seja o sistema de compostagem, seu sucesso operacional depende da manutenção de temperaturas termofílicas, controladas pelo maior período possível da primeira fase do processo (Costa, 1999). Pode-se desenvolver o controle da temperatura até nos sistemas em leira, através da alteração em sua configuração geométrica. Mas a temperatura tem sido pouco considerada na eficiência do

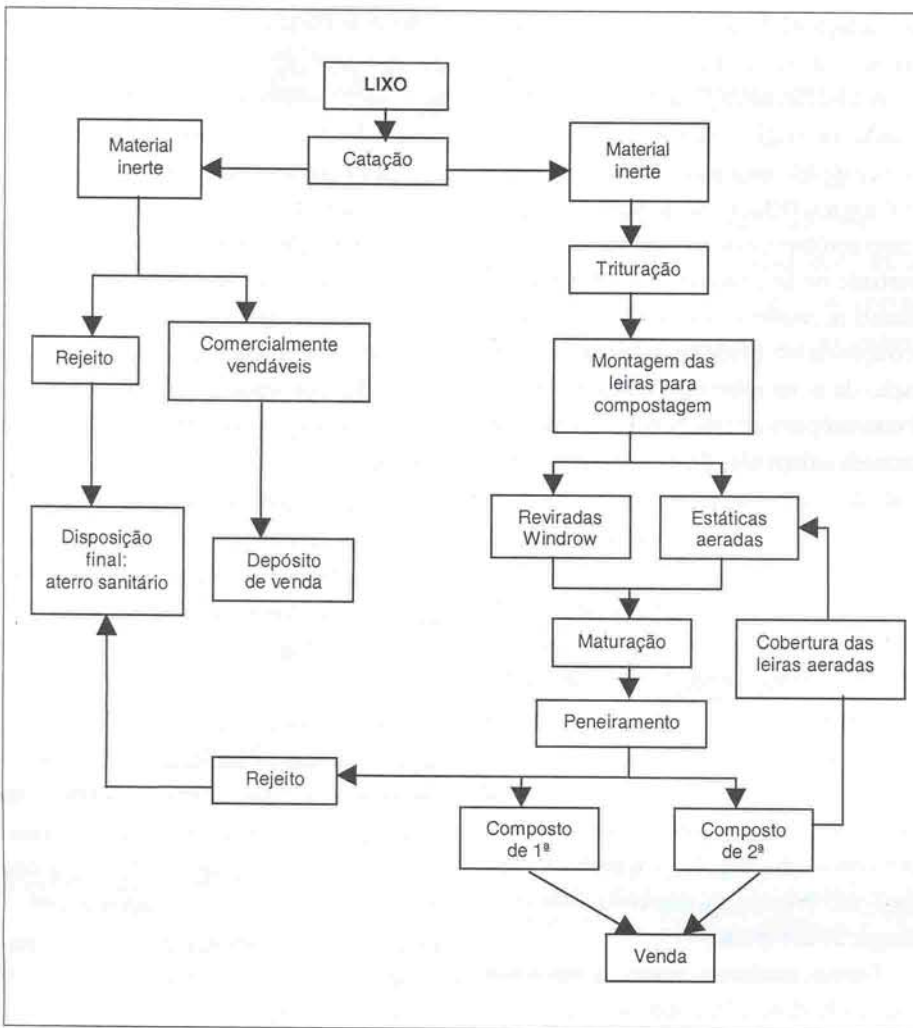


Figura 21 - Fluxograma do processo completo de compostagem
 FONTE: Alves (1996).

processo no Brasil. Costa (1999) indica que a temperatura na faixa de 55°C favorece tanto a atividade microbológica, quanto a eliminação de microorganismos patogênicos. Este autor relata ainda que pesquisas sobre a compostagem em leira mostram que a temperatura máxima de controle deve situar entre 60°C e 65°C. Tais sistemas devem dispor de mecanismos que mantenham a temperatura sob controle.

ASPECTOS EPIDEMIOLÓGICOS DA COMPOSTAGEM

Na população microbológica presente na compostagem, microorganismos patogênicos oriundos de resíduos de origem animal e humana geralmente estão presentes. Recomenda-se o monitoramento rotineiro,

especialmente no produto final da compostagem em leiras, antes de sua expedição. O monitoramento é feito através de análises microbiológicas, que indicam os riscos de contaminação e fornecem informações da eficiência e do estado de degradação alcançado no processo (Costa, 1999).

Vários estudos relacionados com aspectos epidemiológicos da compostagem, segundo Costa (1999), concluem que a compostagem é um eficiente sistema na eliminação desses microorganismos patogênicos, desde que as etapas desse processo sejam bem operadas e monitoradas. Acredita-se que durante a compostagem, as temperaturas termofílicas devam permanecer por um período superior a dez dias, para que haja a eliminação dos patógenos.

Caso contrário, o composto que deveria servir como adubo para o solo passa a ser um vetor de infecção deste por fitopatógenos e microorganismos nocivos à saúde.

METAIS PESADOS NA COMPOSTAGEM

A compostagem de resíduos agrícolas não é tão associada à presença de metais pesados quanto à do lixo urbano e, principalmente, de lodos de esgotos; ainda que estes estejam em sua composição (Pereira Neto, 1997).

Os metais pesados como o Cu, chumbo (Pb), Zn, mercúrio (Hg), cádmio (Cd) e outros têm sido detectados no produto final das usinas de compostagem. Sabe-se que estes metais são tóxicos às plantas, aos animais e aos seres humanos e, por isso, existem várias propostas, em alguns países, para limitar os teores de metais pesados em compostos de lixo (Quadro 4).

Segundo Pereira Neto (1997), alguns trabalhos desenvolvidos provaram que a quantidade total de metais pesados no composto não é suficiente para se avaliar a disponibilidade destes para as plantas e, conseqüentemente, o potencial de contaminação através do composto.

ASPECTOS ECONÔMICOS, SOCIAIS E SANITÁRIOS DA COMPOSTAGEM

Não tem sentido analisar os aspectos econômicos da compostagem sem envolver as questões sanitárias e sociais associadas.

Entre os aspectos sanitários, destaca-se no Brasil a enorme quantidade de lixo que diariamente é disposta de maneira inadequada. Como conseqüência, as doenças associadas ao lixo são responsáveis, entre outros graves problemas, pelos elevados índices de mortalidade infantil (Costa, 1999). As usinas de reciclagem e compostagem, se operadas adequadamente, destinam sanitariamente o lixo urbano, promovem seu tratamento e contribuem para a melhoria do estado de saúde da população. Além disso,

QUADRO 4 - Limites dos teores de metais pesados em compostos de lixo urbano em alguns países europeus

País	mg/kg de matéria seca					
	Pb	Cd	Cu	Zn	Hg	Ni
França	800	8	—	—	8	200
Áustria	900	6	100	1.500	4	200
Itália	500	10	600	2.500	10	200
Suíça	150	3	150	500	3	50
Bélgica	600	5	100	100	5	50
Alemanha ⁽¹⁾	150	2,5	150	375	3,2	25
Holanda (curto prazo)	500	3	400	1.300	3	60
Holanda (longo prazo)	150	1,5	50	250	1,5	50

FONTE: Pereira Neto (1997).

(1) Para uma aplicação de 40 t/ha/ano.

geram o composto que resulta, nos processos adequados, seguro do ponto de vista bacteriológico e de uso e aplicação irrestrita na agricultura.

A relação da compostagem com os aspectos sociais está na interferência com a catação, denominação dada à coleta dos materiais do lixo que têm aproveitamento econômico. As usinas de reciclagem e compostagem absorvem o lixo, causando a perda do meio de subsistência dos catadores. Portanto, é importante que no projeto das usinas esteja prevista a contratação desta sofrida e explorada comunidade, para atuar nos serviços de triagem, limpeza, serviços gerais e expedição final do composto. Por sua vez, os benefícios sociais da utilização do composto estão na implantação de uma agricultura mais natural e de alimentos a custo inferior (Costa, 1999).

Os benefícios sanitários e sociais associados à compostagem são importantes por si só. Mas resultam também em ganhos indiretos no aspecto econômico, como a redução da carga nos sistemas de saúde, entre outros. Além disso, ocorrem ganhos diretos na geração de empresas e empregos, economia de energia, produtividade agrícola, venda de reciclados e do composto orgânico.

Ainda assim, na era das normas de qualidade ambiental são todos convocados a

assumir a responsabilidade pelo lixo produzido em comunidade (Sachs, 1994). De tal modo que a compostagem passa a ter uma dimensão social maior, norteando a recuperação de áreas degradadas pela erosão ou pela redução da fertilidade por uso irracional do solo. Mesmo porque, ainda não está plenamente contabilizada a perda econômica que a disposição inadequada de lixo orgânico acarreta, o que pode exceder em muito o investimento e a manutenção de usinas de compostagem.

RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

A compostagem é parte de um processo de recuperação e reciclagem, cujo composto orgânico do lixo pode ser utilizado tanto como fertilizante orgânico, quanto como condicionador de solo ou substrato para produção de mudas, como também, na recuperação de áreas desmatadas e de solos exauridos, quer por erosão, quer por uso irracional.

A aplicação do composto no solo aumenta a matéria orgânica nele contida e pode melhorar sua textura, o conteúdo de nutrientes, a retenção de água e a capacidade de aeração. Dependendo do tipo de resíduos utilizados no processo, o composto resultante pode ser utilizado em diferentes atividades agrícolas e florestais, como

por exemplo:

- agricultura e horticultura: nas plantações de alimentos e vegetais;
- viveiros e floriculturas: em vasos de plantas, produção de mudas de espécies arbóreas etc.;
- lugares públicos: taludes de estradas, áreas de recreação, gramados e demais propriedades públicas;
- residências: jardins e taludes residenciais;
- outros: recobrimento de aterros sanitários.

CONCLUSÃO

A compostagem é a opção que, com poucas exceções, melhor se enquadra dentro dos limitados recursos disponíveis em países em desenvolvimento, porque não requer *a priori* investimentos de alto vulto.

A opção do composto apresenta muitas vantagens para a utilização do sistema biológico de degradação do lixo: equipamentos e operação de baixo custo, não há formação de gases de odor desagradável (por ser um processo aeróbio), vários microorganismos patogênicos são inabitados (devido a temperatura permanecer por longo período acima de 50°C) e, também, a redução de volume e teor de umidade em relação ao resíduo inicial; o que facilita o armazenamento, o transporte e a disposição final.

Por outro lado, a compostagem atribui-se corriqueiramente a desvantagens associadas com o sistema biológico - a saber, reação lenta e, algumas vezes, imprevisível. A reação lenta pode ser justificada, já que os tempos de retenção são de semanas e meses. No entanto, a imprevisão não é justificada. Se todas as condições são conhecidas, aplicadas e mantidas, o curso do processo será previsível (Diaz, 1996 e Smith & Ness, 1985).

Dentro dos principais pré-requisitos para uma compostagem de sucesso estão a compreensão satisfatória e a aplicação dos princípios básicos do processo. É fun-

damental a compreensão da Biologia para fundamentar a aplicação desses princípios básicos. Esse conhecimento permite uma avaliação racional de tecnologias de compostagem individuais e a utilização destas. Um benefício óbvio do conhecimento é a habilidade para selecionar o sistema adequado para o empreendimento pretendido (Sveiby, 1999).

O baixo percentual de compostagem no Brasil, especificamente, deve-se a questões econômicas, em que a venda de recicláveis e compostos não cobre sequer as despesas operacionais correspondentes e, muito menos, os custos financeiros e de investimentos (Jardim, 1995). No entanto, como o lixo municipal é composto por mais de 50% de matéria orgânica, a compostagem tem grande importância ambiental. Cabe à comunidade que gera o lixo, o seu devido tratamento, independente de sua operosidade.

Ainda que a compostagem possa ser aparentemente onerosa, nem por isso deixa de ser uma proposta viável, já que, para a comunidade, o custo maior pode ser o de não se aplicar tal tecnologia, a qual possibilita a reciclagem eficaz de resíduos orgânicos. Mesmo porque, conforme Passet (1994) e Sachs (1994), o equilíbrio da biota é um assunto econômico, político e social, tanto quanto ecológico.

A compostagem é a forma de processamento de resíduos orgânicos mais consistente e que melhor se adapta à dinâmica cíclica do planeta, com relação aos elementos naturais que retornam ao meio ambiente após seu uso, pois permite a produção e reprodução ambientalmente equilibradas de bens e insumos necessários à vida humana. A compostagem é uma tecnologia que atende à qualificação ambiental (Moraes, 2000), pois se orienta por princípios científicos, incorpora a dimensão socioambiental em seu fazer-se e estabelece relações com a história e a cultura daqueles que dela se servem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABGE. **A problemática dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo: ABGE, 2000. p.14-15.
- ABNT. **NBR-10004: resíduos sólidos - classificação**. Rio de Janeiro, 1987.
- ALVES, W. L. **Compostagem e vermicompostagem no tratamento de lixo urbano**. Jaboticabal: FUNEP, 1996. 47p.
- CAMP DRESSER & MCKEE INTERNATIONAL. **Análise comparativa da solução aterro sanitário em relação à incineração no SRT**. Curitiba, 2000. 51 p. Projeto do Sistema Regional de Transferência de resíduos sólidos urbanos para destinação final - PROSAN/COMEC.
- COSTA, M. **Resíduos sólidos urbanos e industriais**. Curitiba: UFPR-IEP, 1999. Apostila do Curso de Especialização em Engenharia e Gestão Ambiental.
- DIAZ, L. F. et al. **Solid waste management for economically developing countries**. Denmark: ISWA, 1996. p.416.
- IBAM. **Manual de tratamento e disposição de lixo**. Rio de Janeiro, 1978.
- JARDIM, N. S. et al. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. São Paulo: IPT, 1995. 278 p.
- LEITE, V. D.; POVINELLI, J. Comportamento dos sólidos totais no processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos e industriais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.2, p.229-232, 1999.
- MORAES, P. E. S. **Um espaço comunicativo entre a tecnologia ambiental, a engenharia química e a educação ambiental**. 2000. 100f. Dissertação (Mestrado) - Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba.
- PASSET, R. Le copilotage du développement économique et de la biosphère. **Cadernos de Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, n.1, p. 31-46, 1994.
- PEREIRA NETO, J. T. **Reciclagem de resíduos orgânicos (compostagem)**. In: ENCONTRO NACIONAL DE RECICLAGEM, AGRICULTURA E MEIO AMBIENTE, 1., 1997, São Paulo. **Anais...** Campinas: CATI, 1997.
- SACHS, I. Stratégies de transition pour le XXIème siècle. **Cadernos de Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, n.1, p. 63-80, 1994.
- SMITH, J. M.; NESS, H. C. van. **Introdução à termodinâmica da engenharia química**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1985.
- SVEIBY, K.E. **A nova riqueza das organizações: gerenciando e avaliando patrimônios de conhecimento**. São Paulo: Atlas, 1999.

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

Governador: Itamar Franco

SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO

Secretário: Raul Décio de Belém Miguel



EPAMIG

Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG

Presidência
Márcio Amaral

Diretoria de Operações Técnicas
Marcos Reis Araújo

Diretoria de Administração e Finanças
Marcelo Franco

Gabinete da Presidência
Wagner Sant'Anna

Assessoria de Marketing
Luthero Rios Alvarenga

Assessoria de Planejamento e Coordenação
Sebastião Gonçalves de Oliveira

Assessoria Jurídica
Marcelo José Alves

Assessoria de Informática
Mauro Lima Bairo

Auditoria Interna
Ronald Botelho de Oliveira

Departamento de Pesquisa
Antônio Monteiro de Salles Andrade

Departamento de Produção
José Braz Façanha

Departamento de Ações e Desenvolvimento
Francisco Lopes Cançado Júnior

Departamento de Recursos Humanos
Dalci de Castro

Departamento de Patrimônio e Administração Geral
Argemiro Pantuso

Departamento de Contabilidade e Finanças
Geraldo Dirceu de Resende

Centro Tecnológico-Instituto de Laticínios
Cândido Tostes
Geraldo Alvim Dusi

Centro Tecnológico-Instituto Técnico de Agropecuária e Cooperativismo
Marco Antonio Lima Saldanha

Centro Tecnológico do Sul de Minas
Adauro Ferreira Barcelos

Centro Tecnológico do Norte de Minas
Cláudio Egon Facion

Centro Tecnológico da Zona da Mata
Domingos Sávio Queiróz

Centro Tecnológico do Centro-Oeste
Waldir Botelho (Interino)

Centro Tecnológico do Triângulo e Alto-Paranaíba
João-Oswaldo Veiga Rafael

A EPAMIG integra o Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária, coordenado pela EMBRAPA



Figura 1 - Uso de leguminosas arbóreas noduladas e micorrizadas na revegetação de tanque de depósito de rejeito de lavagem de bauxita, aos 24 meses após plantio, em Porto Trombetas, PA



Figura 2 - Uso de leguminosas arbóreas noduladas e micorrizadas na revegetação de substrato remanescente de mineração de ouro, aos 31 meses após o plantio, em Paracatu, MG



Figura 6 - Ação erosiva das chuvas que ampliam a área contaminada por metais pesados no pátio de estocagem de rejeitos industriais



Figura 7 - Aspecto desértico de área contaminada por altas concentrações de Zn, Cu, Pb e Cd em pátio de indústria metalúrgica

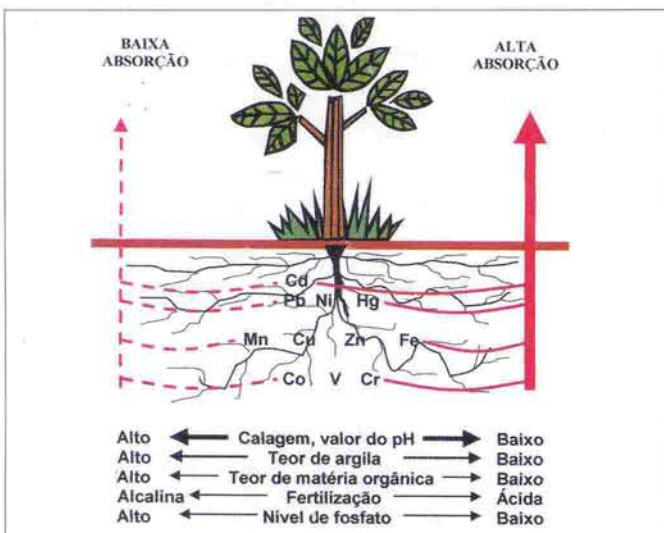


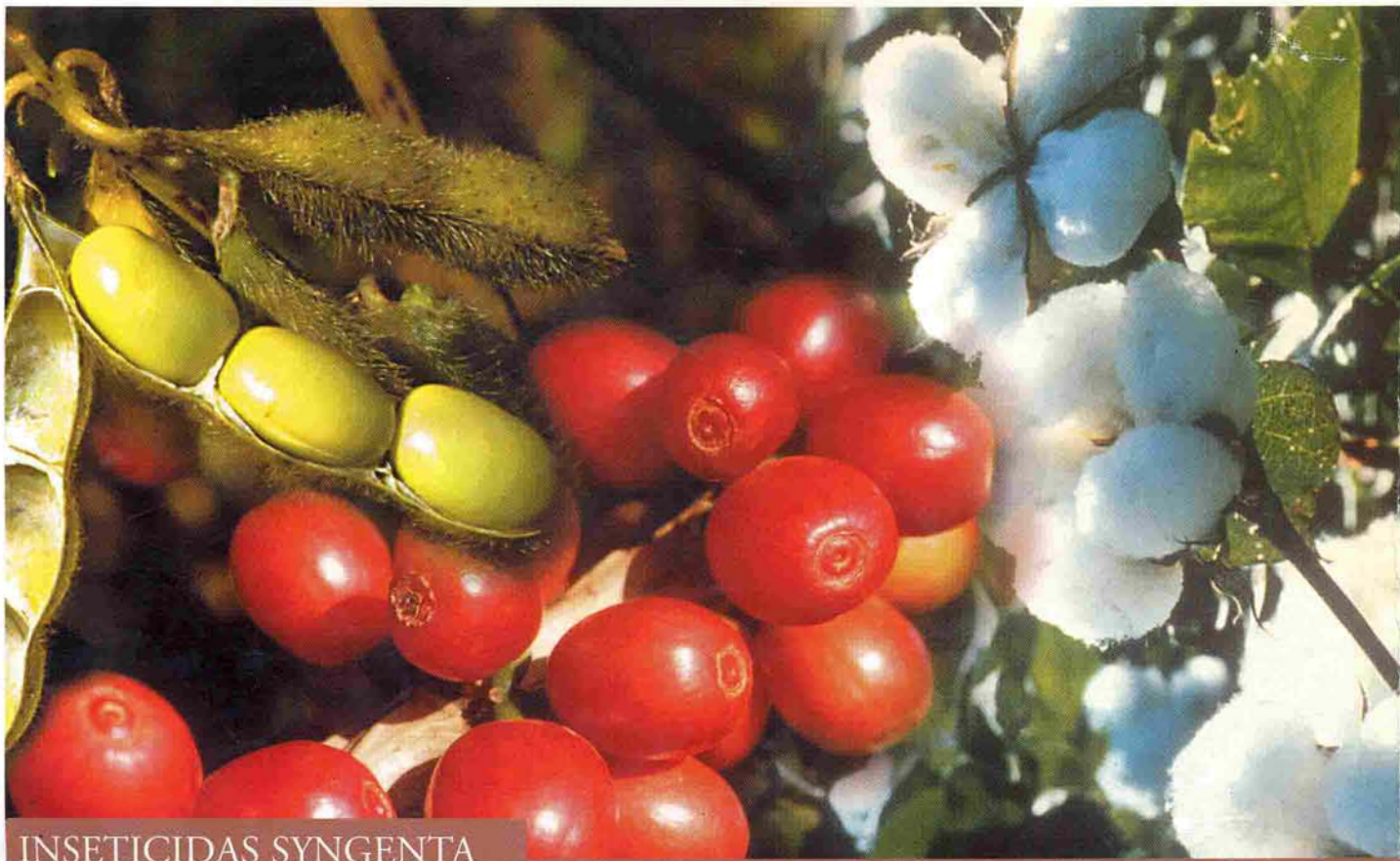
Figura 9 - Características do solo e sua influência na absorção de metais pesados pelas plantas

FONTE: Dados básicos: Bergmann (1992).



Figura 10 - Aspectos da redução da massa de raízes de sabiá (sansão-do-campo)

NOTA: A - Solo com elevada contaminação por Zn, Cu, Pb e Cd; B - Contaminação intermediária desses elementos; C - Sem contaminação.



INSETICIDAS SYNGENTA



NÃO É DE HOJE QUE VOCÊ CONHECE NOSSOS PRODUTOS.

O nome é novo, mas a linha de produtos, a qualidade, a tecnologia e a confiança vocês já conhecem. Essa é a Syngenta. O resultado da união entre Zeneca Agrícola, Novartis Agribusiness e Novartis Seeds. Syngenta. Vivendo da terra e para a terra.

ATENÇÃO

Este produto é perigoso à saúde humana, animal e ao meio ambiente. Leia atentamente e siga rigorosamente as instruções contidas no rótulo, na bula e na receita. Utilize sempre os equipamentos de proteção individual. Nunca permita a utilização do produto por menores de idade.

Consulte sempre um Engenheiro Agrônomo



Venda sob receituário agrônomo

syngenta

www.syngenta.com.br