



A humanidade, na busca de maior conforto e do desenvolvimento tem avançado sobre os recursos naturais de forma predatória com conseqüências ainda pouco previsíveis. A eliminação contínua da vegetação natural desde o advento da agricultura, há aproximadamente nove mil anos, permitiu a agregação de pessoas com a formação das vilas, cidades e megacidades, mas tem deixado um passivo ambiental que não pode ser desprezado. O aquecimento global e suas conseqüências estão aí a nos lembrar que providências urgentes precisam ser tomadas. A eliminação da vegetação e o aumento da poluição têm correlação inversa e têm ocorrido de forma concomitante, mas sem receber a devida atenção. A vegetação funciona como um filtro natural e sua eliminação provoca conseqüências desastrosas, seja diretamente na capacidade de remover/imobilizar/metabolizar rejeitos ou, indiretamente, na diminuição da diversidade da biota do solo. Esta é mais ágil na evolução com as mudanças, adquirindo mais rapidamente a capacidade de metabolizar as novas moléculas que estão sendo produzidas e dispostas como rejeitos. A fitorremediação busca identificar os genes responsáveis e maximizar processos que ajudem na despoluição de novos e antigos contaminantes que comprometem a saúde e a sustentabilidade do meio ambiente.

Este livro tem o mérito de buscar preencher uma lacuna de informações em fitorremediação no Brasil. Os autores, de forma didática, fazem uma introdução ao tema com definições, conceitos, e descrevem os princípios dos mecanismos de maior destaque e a base teórica de cada um deles. Na segunda parte do livro, com os estudos de casos, expõem as principais experiências internacionais e os estudos efetuados no Brasil. Por último, são abordados os 12 pesticidas banidos internacionalmente, e também no Brasil, que ainda constituem passivos ambientais em cuja resolução a fitorremediação terá papel importante.

O livro é apresentado de forma agradável, de leitura fácil e com conteúdo, que, tenho certeza, será de grande utilidade para universitários, técnicos das áreas biológicas e de meio ambiente e todos aqueles que se interessam pela sustentabilidade ambiental e se sentem responsáveis pelo futuro deste planeta.

*Avílio Antonio Franco*

Membro da Academia Brasileira de Ciências (ABC) e da Academia de Ciências dos Países em Desenvolvimento (TWAS). Pesquisador da Embrapa Agrobiologia e Superintendente da Área de Projetos Tecnológicos e de Pesquisa da Finep.

As tecnologias baseadas em uso de vegetais para remediação de solos contaminados são cada vez mais utilizadas em países desenvolvidos. Entre esses países, destacam-se os Estados Unidos, o Canadá e a Alemanha. Já no Brasil, apesar de haver condições climáticas e ambientais favoráveis ao desenvolvimento desse processo, praticamente não é aplicado e ainda é desconhecido pela grande maioria dos envolvidos na área ambiental. Isso decorre, sobretudo, da falta de interesse político-econômico nesse assunto, o que reflete a carência de uma política direcionada à redução dos passivos ambientais existentes.

Por esse motivo, o enfrentamento do problema vem sendo postergado, apesar da existência de milhares de dezenas de áreas potencialmente contaminadas que nunca foram sequer investigadas (Sanchez, 2001). Mas, a exemplo do que já ocorreu em vários outros países, a tendência é a modificação desse cenário em futuro próximo. Alguns sinais dessa mudança já podem ser percebidos na maior conscientização da sociedade, na crescente aplicação da Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/98) e na pressão do mercado internacional, que gradativamente vem exigindo o enquadramento de empresas brasileiras nas normas internacionais de qualidade ambiental.

Assim, existe no Brasil uma perspectiva francamente favorável ao crescimento da demanda por tecnologias de remediação ambiental, entre as quais a fitorremediação, que deverá despontar em muitas situações pela viabilidade técnica e econômica de sua aplicação.

*Os autores*

Macrófitas aquáticas ou plantas aquáticas vasculares são todas as plantas cujas partes fotossinteticamente ativas estão o tempo todo, ou por alguns meses em cada ano, submersas em água ou flutuantes em sua superfície. As macrófitas aquáticas constituem-se em uma importante comunidade dos ecossistemas aquáticos, por sua abundância, alta produtividade e contribuição para a diversidade biológica. Frequentemente, esses vegetais proliferam de forma indesejada e prejudicam os múltiplos usos de lagos, represas e rios, havendo a necessidade da aplicação de técnicas de controle. Apesar dessas características, algumas espécies dessas plantas têm sido utilizadas em sistemas de tratamento de efluentes, na recuperação de ambientes degradados e também como plantas ornamentais. Além disso, contribuem para a caracterização de ambientes, pois podem ser usadas como bioindicadoras da qualidade da água na despoluição de ambientes aquáticos. Também podem ser empregadas na alimentação animal, no controle da erosão hídrica, na produção de biomassa, na obtenção de biogás, no melhoramento físico e nutricional do solo (FBN – Fixação do Nitrogênio Atmosférico), na redução da turbidez da água (efeito filtro) e na ciclagem de nutrientes (efeito de bombeamento), podendo ser aproveitadas ainda como adubo (Henry, 2003).

Dinardi *et al.* (2003) descrevem vários tipos de sistemas de tratamento em lagoas de despoluição utilizando macrófitas. Esses sistemas podem ser construídos de acordo com as características de cada planta ou do sistema de lagoa que se deseja empreender:

#### **SISTEMAS BASEADOS EM MACRÓFITAS AQUÁTICAS FLUTUANTES (ENRAIZADAS OU LIVRES)**

Esse tipo de macrófitas são plantas com tecidos fotossintéticos flutuantes e com raízes longas, livres ou enraizadas, conforme a profundidade do meio a ser tratado (Fig. 1.2).



**Fig. 1.2** Sistema baseado em macrófitas aquáticas flutuantes (enraizadas ou livres)

#### **SISTEMAS BASEADOS EM MACRÓFITAS SUBMERSAS**

Trata-se de plantas com os seus tecidos fotossintéticos completamente imersos. As principais espécies que integram esse tipo são: *Elodea canadensis*, *Elodia nuttali*, *Egeria densa*, *Ceratophyllum demersum*, *Hydrilla verticillata*, *Cabomba caroliniana*, *Miriophyllum heterophyllum* e *Patomoge* spp (Fig. 1.3).



**Fig. 1.3** Sistema baseado em macrófitas aquáticas submersas

#### **SISTEMAS BASEADOS EM MACRÓFITAS AQUÁTICAS EMERGENTES**

Ao organizar um sistema de tratamento é possível optar por um desses tipos, isoladamente, ou combiná-los, seja entre

### Quadro 1.1 Vantagens e desvantagens da fitorremediação

Vantagens	Desvantagens
O investimento em capital e o custo de operação são baixos	Os resultados são mais lentos do que aqueles observados com outras tecnologias
É aplicável <i>in situ</i> e o solo pode ser posteriormente reutilizado	O crescimento de algumas plantas é dependente da estação, do clima e do solo, envolvendo o adequado fornecimento de água e nutrientes, além de textura do solo, pH e salinidade
Aplica-se a grande variedade de poluentes, incluindo alguns recalcitrantes	A concentração das substâncias contaminantes pode ser tóxica, impedindo o estabelecimento/desenvolvimento dos vegetais e, conseqüentemente, o uso da tecnologia
É técnica esteticamente bem-aceita pela sociedade e pode ser adotada com mínimo distúrbio ambiental, evitando escavações e tráfego pesado	Aplica-se apenas à superfície do solo ou a águas existentes em pouca profundidade
As plantas podem ser mais facilmente monitoradas do que, por exemplo, os microrganismos	Existe necessidade de disposição da biomassa vegetal, quando ocorre a fitoextração de poluentes não metabolizáveis ou metabolizados a compostos também tóxicos
Aplica-se a áreas extensas onde outras tecnologias são proibitivas	É incapaz de reduzir em 100% a concentração do poluente
Em alguns casos, representa uma solução permanente, pois poluentes como os orgânicos podem ser mineralizados.	Em alguns casos, podem ser produzidos metabólitos mais tóxicos do que os compostos originais. É também possível haver imobilização apenas temporária dos poluentes
O material vegetal produzido pode ser convertido em matéria-prima destinada a atividades como confecção de móveis, geração de energia e produção de fibras	Caso não sejam tomados os devidos cuidados, pode favorecer o transporte do poluente ou a inserção e o bioacúmulo na cadeia trófica, aumentando os riscos relativos à contaminação e indução de efeitos deletérios em seres vivos

Fonte: Baseado em Cunningham et al., 1995 e Pletsch et al., 2000.

quando possível, entrevistas com pessoas que trabalham, ou que tenham trabalhado, na atividade que causou a contaminação do solo.

Após a caracterização do sítio, podem ser estabelecidos os objetivos da recuperação, que dependerão do uso pretendido para a área, da disponibilidade da tecnologia de descontaminação e do custo dos trabalhos. A decisão *status quo*, ou seja, deixar o terreno tal como se encontra, pode ser justificada se não significar um risco inaceitável para as pessoas e os ecossistemas. Essa decisão é normalmente baseada em uma análise de risco, que, por sua vez, implica a coleta de grande quantidade de informações na fase de investigação, visando calcular a exposição, ou possibilidade de exposição, aos agentes contaminantes (Sanchez, 2001).

Para a utilização da fitorremediação, a concentração do contaminante não pode ser fitotóxica ou causar prejuízos inaceitáveis à saúde da planta. Altas concentrações de contaminantes podem inibir o crescimento vegetal e, desse modo, limitar sua aplicação. A geoquímica da água subterrânea também deve ser favorável ao crescimento das plantas. Por exemplo, águas salinas são prejudiciais às plantas, a menos que as halófitas (plantas tolerantes ao sal) sejam utilizadas.

No entanto, altas concentrações de orgânicos e nutrientes podem ser mais bem toleradas pelas plantas do que pelos microrganismos do solo. As plantas são também menos sensíveis aos metais do que as bactérias. Por isso, é possível que a fitorremediação possa ser mais efetiva também em casos em que a biorremediação falha por causa da alta presença de contaminantes ou metais.

É importante destacar a relativa tolerância das plantas e microrganismos a altas concentrações de contaminantes e o fato de que a heterogeneidade das condições de campo determina o risco da não-obtenção dos resultados desejados. Os relatos da possibilidade de uso obtidos a partir de experimentos em casa-de-vegetação e laboratório devem ser avaliados com foco nas