
Biorremediação Bioremediation

JÉISSICA DE OLIVEIRA DOS SANTOS¹
SHEILA ALEXANDRA BELINI NISHIYAMA²
PATRICIA BELINI NISHIYAMA²

RESUMO: A biorremediação surgiu como uma ciência voltada à reparação dos estragos ambientais provocados pelo crescimento industrial e concentração populacional em algumas regiões, onde seus dejetos passaram a ser lançados na natureza, muitas vezes sem qualquer tratamento. Utiliza-se para reverter à contaminação ambiental microrganismos, que degradam substâncias toxicamente perigosas, em substâncias menos ou não tóxicas, minimizando o problema, reduzindo seus efeitos sobre o ecossistema. São geralmente utilizados microrganismos como fungos, bactérias, protozoários, entre outros, que possam capacidade de metabolizar resíduos tóxicos do ambiente. Entretanto, devido à complexidade de aplicação deve ser utilizada criteriosamente, caso contrário sua eficiência pode ficar comprometida ou mesmo ocasionar danos ao mesmo ambiente que se pretende recuperar. Desta forma, o presente trabalho de revisão objetiva discutir a técnica de biorremediação e abordar suas possíveis aplicações na recuperação de áreas ambientais atingidas, diminuindo o impacto provocado pelo homem ao ambiente.

Palavras-chave: Biorremediação. Biodegradação. Impacto Ambiental.

ABSTRACT: The bioremediation appeared as a science faced to repairing the environmental damages provoked by the industrial growth and by the populational concentration in some areas, where their dejections passed to be thrown in the nature, a lot of times without any

¹Acadêmica do Curso de Ciências Biológicas da Faculdade Ingá-UNINGÁ

²Professoras da Faculdade Ingá-UNINGÁ – Av. Colombo 9727, Km 130, Cep 87070-810, Maringá-PR, e-mail: sheila_belini@yahoo.com.br

treatment. It is used to revert to the environmental contamination of microorganisms, that degrade the substances toxically dangerous, in substances less or no poisonous, minimizing the problem, reducing their effects on the ecosystem. It is usually used microorganisms as fungus, bacteria, protozoa, among other, that possess capacity to metabolize poisonous residues of the atmosphere. However, due to the complexity of application, it should be carefully used, otherwise its efficiency can be compromised or even cause damage to the same atmosphere that it intends to recover. This way, the present review aims to discuss the bioremediation technique and to mention the possible applications in the recovery of the environmental areas affected, reducing the impact provoked by the man to the atmosphere.

Key-words: Bioremediation. Biodegradation. Environmental Impact.

INTRODUÇÃO

A contaminação de meios aquáticos e do solo, principalmente por metais pesados, petróleo e seus derivados, além de agentes tóxicos como herbicidas, é cada dia mais freqüente, afetando constantemente os diferentes ecossistemas e aumentando a poluição ambiental. Trata-se de uma conseqüência do crescimento industrial e da concentração populacional em algumas regiões, onde seus dejetos passaram a ser lançados na natureza, muitas vezes sem qualquer tratamento (GUELF, 2001; BRAGATO, 2006).

A biorremediação surgiu como uma ciência voltada à reparação destes estragos ambientais, entretanto, implicou não somente na ação imediata, mas também na observação de como o ambiente reage a cada intervenção provocada pelo homem. Utiliza-se para reverter os danos provocados, organismos vivos (microrganismos), que degradam substâncias toxicamente perigosas ao ambiente, em substâncias menos ou não tóxicas, minimizando o problema, reduzindo seus efeitos sobre o ecossistema (ALVES FILHO, 2004; BRITO et al., 2004). Assim, a técnica que utiliza a capacidade dos microrganismos de biodegradação, tornando-os uma poderosa arma de defesa ambiental, passível de ser potencializada, é chamada de biorremediação (MARTINS et al., 2003).

Desta forma, o presente estudo de revisão objetiva discutir a técnica de biorremediação e abordar suas possíveis aplicações na recuperação de áreas ambientais atingidas.

Biorremediação

O processo de biorremediação pode ser dividido em: *in situ* ou *ex situ*. O processo de biorremediação que se dá no local contaminado é denominado *in situ*. Este processo pode ocorrer de forma intrínseco-natural, na qual a ciência não interfere, valendo-se somente dos microrganismos existentes no local para a biodegradação. Quando a existência destes microrganismos não se encontra em quantidade suficiente ou quando não estão em localização exata para os efeitos desejados sobre os contaminantes, ocorre a interferência da ciência, através da recolocação de microrganismos no ambiente para fortalecer a ação deles, sendo denominada intrínseco-auxiliadora (CARLOS; LEMOS; RIZZO, 2007).

Contudo, sabe-se que em muitos casos um simples auxílio não é suficiente para a remediação natural. A biorremediação é possível, porém é necessária uma série muito maior de providências, com aplicações técnicas de engenharia, que vão desde a modificação topográfica do local da implantação de novos microrganismos até, dependendo das circunstâncias da biorremediação engenhada, há remoção de parte do ambiente para se evitar maiores riscos de alastramento, ou quando a contaminação é pequena e vale a pena ser removida, sendo então denominada *ex situ* (MARTINS et al., 2003; CARLOS; LEMOS; RIZZO, 2007).

Um dos maiores sucessos da biorremediação, é o tratamento de águas (mares, subterrâneas ou superficiais) contaminadas por acidente e vazamentos de petróleo e de seus derivados durante sua exploração, transporte e armazenamento, a qual tem sido uma preocupação constante em nível mundial. Ainda, podem ser destacadas as contaminações de aquíferos, que são utilizados como fonte de abastecimento para o consumo humano por postos de combustíveis (CARBUCCI, 2007).

Os danos causados pelos derramamentos de petróleo no ambiente marinho trazem conseqüências também para os animais presentes neste ambiente, acumulando os contaminantes em seus tecidos, afetando diferentes níveis de cadeia alimentar, desde os microrganismos até os grandes peixes, além das aves e mamíferos que se alimentam do mar e dele dependem (CRAPEZ et al., 2002).

Uma grande preocupação também tem sido em relação ao caráter poluente dos processos utilizados nas indústrias, decorrentes principalmente da inevitável geração de efluentes, tornando urgente a necessidade de desenvolver métodos capazes de tratar adequadamente os

resíduos gerados, de maneira a evitar o impacto ambiental de grandes proporções. Nestes casos, a biorremediação tornou-se a melhor forma de tratamento, pois reduz significativamente a toxicidade dos poluentes que apresentam geralmente metais pesados como cromo, chumbo, níquel e zinco por meio de oxidação ou redução (VILLAR, 2003; BRITO et al., 2004).

A biorremediação também vem sendo aplicada para minimizar o impacto ambiental ocasionado pelo destino final incorreto dado aos produtos químicos utilizados na agricultura para aumento da produtividade. Os compostos químicos utilizados vêm causando sérias preocupações, pelo grande volume utilizado, pois podem trazer consequências adversas ao homem e ao ambiente (UETA; PEREIRA; SHUHAMA, 1999; FERNANDES, 2005).

Segundo Crapez et al. (2002) a utilização da biorremediação oferece inúmeros benefícios, porém, apresenta algumas limitações e complicações, mesmo ante a evidência de que os princípios básicos da degradação são relativamente fixos, o processo de empreender a biorremediação com sucesso não o é. Isto porque a multiplicidade de detalhes que envolvem o metabolismo dos microrganismos traz, intrinsecamente, aspectos que acabam por complicar extremamente o processo, como por exemplo:

- Biodisponibilidade inadequada dos contaminantes: nem sempre os contaminantes encontram-se dispostos de uma forma facilmente assimilável pelos microrganismos que os devem degradar. Em razão deste fator, os contaminantes a serem degradados podem não ser degradados ou serem de forma extremamente lenta em razão de uma baixa concentração.

- Níveis de toxicidade dos contaminantes: determinados elementos químicos são degradáveis em determinadas concentrações, em outras, mais elevadas, a toxicidade atinge níveis que impossibilitam ou retardam a degradação pelos microrganismos, não raro evitando o crescimento da biomassa necessária para a rápida remoção do contaminador.

- Preferência microbial: há multiplicidade de compostos em um determinado ambiente, os microrganismos dão preferência àqueles que são de digestão mais fácil ou fornecem mais energia. Em razão deste fator de preferência, os micróbios por vezes deixam de degradar o contaminante visado pela biorremediação.

- Degradação incompleta de contaminantes: em razão das características de certos contaminantes, inclusive sua concentração, por vezes a degradação não se dá por completo, decorrendo daí a geração de produtos denominados intermediários. Em certos casos o produto intermediário apresenta um nível de toxicidade bastante perigoso ou mais alto que o próprio contaminante original.

- Não se trata de uma solução imediata.

- Os locais a serem tratados devem estar preparados para suportar a ação dos microrganismos.

Microrganismos

Algumas espécies microbianas podem degradar muitos poluentes e são naturalmente encontradas no solo e na água. Porém, apresentam-se em baixo número, devido a competição ambiental estabelecida, sendo insuficientes para lidar com a contaminação em grande escala. Neste contexto, cientistas vêm trabalhando para melhorar a eficiência dos combates naturais da poluição e, em alguns casos, alterando organismos por engenharia genética para equipá-los com as maquinarias químicas exatas, potencializando sua capacidade de biodegradação e conseqüentemente sua efetividade (TORTORA; FUNKE; CASE, 2005).

Segundo Morais (2005) podem ser utilizados para a biorremediação fungos, bactérias, algas e protozoários, entre outros, desde que possuam capacidade em degradar diversos agentes poluentes, participando de forma significativa na sua eliminação ou redução. Esta biodegradação ocorre através do aproveitamento dos contaminantes, como fonte de carbono pelos microrganismos, permitindo que produzam novas células e gerem energia através das catalisações de reações químicas (UETA; PEREIRA; SHUHAMA, 1999; MARTINS et al., 2003).

Assim, os microrganismos podem apresentar capacidade degradadora de diferentes contaminantes, conforme a Tabela 1, participando de forma significativa na sua eliminação ou redução acentuada, nas quais alguns microrganismos têm demonstrado habilidade de degradar parcial ou totalmente estes contaminantes. A degradação parcial se dá geralmente por fungos tais como *Aspergillus fumigatus* e *Rhizopus stolonifer*, embora a maioria das espécies microbianas relatadas, recaem sobre bactérias do gênero *Rhodococcus*, *Nocardia*, *Bacillus* e principalmente *Pseudomonas*, um gênero bastante versátil (UETA; PEREIRA; SHUHAMA, 1999).

Algumas bactérias, denominadas hidrocarbonoclásticas que fazem parte da microbiota presente no solo, na água e no sedimento podem reconhecer no petróleo uma fonte de carbono, iniciando o processo de degradação. Os principais gêneros que se enquadram nesta classificação são *Acidovorans*, *Acinetobacter*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*, *Aeromonas*, *Arthrobacter*, *Beijemickia*, *Burkholderia*, *Bacillus*, *Comomonas*, *Cycloclasticus*, *Flavobacterium*, *Goordona*, *Moraxella*, *Mycobacterium*, *Micrococcus*, *Neptunomonas*, *Nocardia*, *Pasteurella*, *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Streptomyces*, *Sphingomonas*, *Stenotrophomonas* e *Vibrio*. Derrames sucessivos no mesmo ambiente aceleram cada vez mais o aumento da biomassa bacteriana hidrocarbonoclástica. Desta forma, a maior concentração dessas bactérias serve como um indicador de ambiente impactado cronicamente por petróleo (CRAPEZ et al., 2002).

Tabela 1. Gêneros microbianos utilizados para a biodegradação de diferentes contaminantes.

Contaminante	Gêneros utilizados
Anéis aromáticos	<i>Pseudomonas</i> , <i>Achromobacter</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Arthrobacter</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Aspergillus</i> , <i>Fusarium</i> , <i>Phanerocheate</i>
Cádmio	<i>Staphylococcus</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Citrobacter</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Rhodococcus</i>
Cobre	<i>Escherichia</i> , <i>Pseudomonas</i>
Cromo	<i>Alcaligenes</i> , <i>Pseudomonas</i>
Enxofre	<i>Thiobacillus</i>
Petróleo	<i>Pseudomonas</i> , <i>Proteus</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Penicillium</i> , <i>Cunninghamella</i>

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das freqüentes ações poluentes e para se tentar solucionar e/ou minimizar os problemas causados ao ambiente, a utilização de técnicas de biorremediação vem apresentando maior eficiência e menor agressão a todo ecossistema envolvido, objetivando a transformação dos responsáveis pela poluição ambiental em formas inócuas, ou seja, não oferecendo riscos de novos impactos ambientais. A eliminação de substâncias tóxicas em substâncias inofensivas ou úteis ao ambiente, entretanto, deve ser realizada de forma adequada.

Assim, os benefícios desejados são alcançados através da biorremediação, com a recuperação de ecossistemas contaminados, auxiliam no tratamento de resíduos e efluentes, bem como, na desobstrução e limpeza de dutos e equipamentos, solos e águas contaminadas. Entretanto, a sua aplicação inadequada, não sendo observadas suas peculiaridades pode desequilibrar esse mesmo ecossistema.

Apesar da complexidade de sua aplicação, quando utilizada criteriosamente, a biorremediação tem se tornado uma ferramenta cada vez mais potente nas mãos de profissionais habilitados, diminuindo o impacto provocado pelo homem ao ambiente.

REFERÊNCIAS

- ALVES FILHO, M. Microorganismos degradam poluente industrial. **Jornal da Unicamp**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, ed. 263, 2004.
- BRAGATO, M. **Tratamento 'in-situ' de solo contaminado por derivado de petróleo e metais**. São Paulo, 2006. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo.
- BRITO, N.N. et al. Biorremediação e Controle Ambiental. **IV Fórum de Estudos Contábeis**. Rio Claro: Faculdades Integradas Claretianas, 2004.
- CARBUCCI, L.V. **Degradação de fração aromática da Gasolina em águas subterrâneas e superficiais**. Londrina, 2007. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Estadual de Londrina.
- CARLOS, M.C.; LEMOS, J.L.S.; RIZZO, A. Remediação de rejeitos industriais empregando microorganismos. **XV Jornada de Iniciação Científica - CETEM**. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2007.
- CRAPEZ, M.A.C. et al. Biorremediação: tratamento para derrames de petróleo. **Ciências Hoje**, v.30, n.179, 2002.
- FERNANDES, T.C.C. **Investigação dos efeitos tóxicos, mutagênicos e genotóxicos do herbicida Trifluralina, utilizando Allium cepa e Oreochromis niloticus como sistemas-testes**. Rio Claro, 2005. 212f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista.
- GUELFÍ, A. **Resposta das Enzimas Antioxidantes em Linhagens do Fungo Aspergillus sp. Na Presença do Metal Pesado Cadmo**. Piracicaba, 2001. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo.
- MARTINS, A. et al. Biorremediação. **III Fórum de Estudos Contábeis**. Rio Claro: Faculdades Integradas Claretianas, 2003.
- MORAIS, E.B. **Biodegradação de resíduos oleosos provenientes de refinaria de petróleo através do sistema de biopilhas**. Rio Claro, 2005. 64f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista.
- TORTORA, G.J.; FUNKE, B.R.; CASE, C.L. **Microbiologia**. 8. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005.

UETA, J.; PEREIRA, N.L.; SHUHAMA, I.K. Biodegradação de Herbicidas e Biorremediação: microorganismos degradadores do Herbicida Atrazina. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, v.2, n.10, 1999.

VILLAR, L.D. **Estudo da lixiviação bacteriana de metais presentes em lodo de esgoto sanitário**. Araraquara, 2003. 126f. Tese (Doutorado) – Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista.

Enviado em: novembro de 2007.
Revisado e Aceito: janeiro de 2008.