

# Biorremediação no combate ao derramamento de Petróleo

Edna Andrade Fernandes\*  
Ottávio de Azevedo Oliveira Rodrigues\*\*  
Viviane Gomes Murteira\*\*\*

## Resumo

Áreas contaminadas com hidrocarbonetos têm sido um problema cada vez mais constante, uma vez que existe um grande crescimento na produção, distribuição e consumo de petróleo, principalmente nos últimos anos. Desta forma, é cada vez mais importante o conhecimento de técnicas que sejam eficientes na limpeza dessas áreas. Assim, técnicas de biorremediação têm sido desenvolvidas a fim de acelerar o processo de descontaminação com menor custo, menor tempo e menores danos ambientais. Este trabalho descreve algumas dessas técnicas para o metabolismo de hidrocarbonetos por microrganismos e os fatores que influenciam na sua descontaminação.

Palavras-chave: Biorremediação. Petróleo. Microrganismos. Descontaminação.

## Introdução

O petróleo é uma substância líquida encontrada na natureza e utilizada para inúmeras finalidades, como para a obtenção de combustíveis, medicamentos, solventes, óleos lubrificantes e outros. Há três mil anos o petróleo já era utilizado na construção de castelos e embarcações, na preparação de múmias, na cura de doenças de pele, na iluminação e em outras atividades (CABRAL, 2009).

O petróleo foi usado, por muitas décadas, para a iluminação e, em menor escala, como lubrificante. A invenção do motor de combustão interna e sua adoção rápida em todas as formas de transporte ampliaram o emprego desse recurso natural, aumentando a demanda e com isso a produção, o transporte, a estocagem e a distribuição tanto do óleo cru quanto de seus derivados. Todas essas atividades envolvem riscos de derrames acidentais, que podem ser minimizados, mas não totalmente eliminados (CRAPEZ et al., 2002).

Acidentes com derrames de petróleo constituem uma grande preocupação em todos os países do mundo, pois, quando ocorrem, representam tanto uma grande perda de óleo quanto um grande impacto negativo na flora, na fauna e na saúde humana (RIBEIRO et al., 2003).

Após o derrame, o petróleo fica sujeito a alguns processos como espalhamento, evaporação, dissolução, fotodegradação, biodegradação entre

outros. Todos esses processos influenciam na escolha da medida defensiva para a recuperação desses ambientes impactados (RIBEIRO et al., 2003).

## Revisão Bibliográfica

### Petróleo

O petróleo é uma substância oleosa, menos densa do que a água, constituída essencialmente pela mistura de milhares de compostos orgânicos formados pela combinação de moléculas de carbono e hidrogênio, constituindo longas cadeias parafínicas abertas e cicloparafínicas ou anéis aromáticos ligados por complexos orgânicos variados. Sua cor varia de acordo com a origem, oscilando do negro ao âmbar. Apresenta-se sob a forma fluida ou semissólida, de consistência semelhante à das graxas, e encontra-se no subsolo a profundidades variáveis (POPP, 1999).

O petróleo é constituído por uma mistura complexa de hidrocarbonetos (alifáticos ou aromáticos), e em menores quantidades, por compostos não hidrocarbônicos e outros componentes orgânicos, alguns constituintes organometálicos, especialmente complexos de vanádio e níquel. Sua composição varia em função da localização geográfica e das condições físicas, químicas e biológicas que o originaram (TONINI et al., 2010).

### Biodegradação Microbiana

Em 1946, o microbiólogo marinho norte-americano Claude E. ZoBell (1905-1989) identificou, pela primeira vez, microrganismos capazes de consumir petróleo, isto é, de usá-lo como fonte de carbono para a geração de biomassa. Na época, porém, os derrames de petróleo ainda não eram vistos como um problema ambiental sério. Apenas 21 anos depois, em 1967, o acidente com o superpetroleiro Torrey Canyon, na Inglaterra, e o desenvolvimento

\* Técnico em Eletromecânica pelo IF Fluminense, campus Macaé.

\*\* Técnico em Eletromecânica pelo IF Fluminense, campus Macaé.

\*\*\* Técnico em Automação Industrial pelo IF Fluminense, campus Macaé.

da exploração de petróleo no Ártico serviram de alerta para o risco de outros acidentes (CRAPEZ et al., 2002).

Durante muitos anos achava-se que qualquer composto orgânico deveria ser biodegradável. Esse conceito foi mudado somente após a descoberta dos organoclorados, pois são resistentes à degradação. Assim adotou-se o termo de substâncias recalcitrantes para aquelas mais dificilmente degradadas via microrganismos (LIMA, 2004).

A partir daí, os cientistas passaram a se preocupar em conhecer o destino do petróleo como poluente e uma atenção especial foi dada ao ambiente marinho, o maior e último receptor das marés negras. As pesquisas desenvolvidas desde então procuravam respostas para diversas perguntas sobre: 1. os componentes biodegradáveis do petróleo; 2. os fatores ambientais que influenciariam a biodegradação dessa substância; e 3. a distribuição das populações de microrganismos capazes de degradar o petróleo (CRAPEZ et al., 2002).

O petróleo, formado por processos biogeoquímicos, é uma mistura complexa de hidrocarbonetos. Sua composição varia em função de sua localização geográfica e das condições físico-químicas e biológicas que o originaram. Assim, grande parte de seus componentes (de 60% a 90%) é passível de biodegradação. Entretanto, o restante - bruto ou refinado - é recalcitrante. Mesmo tratando-se de uma fração menor (de 10% a 40%), é preciso lembrar que isso significa toneladas de material poluente impactando no ambiente e podendo ser bioacumuladas nos seres vivos. Assim, o destino dessa substância no ambiente, após um derrame, dependerá da interação de vários fatores (Tabela 1) (CRAPEZ et al., 2002).

### Fatores que afetam a degradação do Petróleo

Tabela 1 - A degradação do petróleo derramado é influenciada por inúmeros fatores químicos, físicos e biológicos

Fatores	Características
Composição química	Cerca de 60% a 90% são hidrocarbonetos alifáticos, passíveis de biodegradação. Nessa classe, o fitano e o pristano são mais resistentes à degradação e podem ser usados como marcadores químicos em monitoramento. Entre os aromáticos, deve-se monitorar benzeno, tolueno e xileno (BTX), mais tóxicos aos seres vivos; hopano pode ser usado como marcador químico, em monitoramento. Nos seres vivos, o petróleo pode ser incorporado às gorduras, causar distúrbios metabólicos ou interromper a quimiorrecepção.
Estado físico	Condiciona agregação, espalhamento, dispersão ou adsorção no ambiente.
Mudanças químicas	A composição química e o estado físico do óleo, associados à temperatura, à radiação solar e ao batimento das ondas, induzem mudanças químicas, evaporação e foto-oxidação.
Água	É essencial à vida bacteriana, mas é excluída dos agregados, porque o petróleo é hidrofóbico.
Temperatura	Determina a evaporação, constituindo um fator importante no processo de degradação.
Oxigênio	É fator decisivo para iniciar e sustentar a biodegradação.
Nutrientes	São essenciais nitrogênio (N) e fósforo (P). Teoricamente, para cada grama de óleo degradado são necessários 150 mg de N e 30 mg de P.
Salinidade	É desconhecida a biodegradação em ambientes hipersalinos.
Microrganismos	As bactérias hidrocarbonoclasticas podem estar ausentes ou em número insuficiente para desencadear a biodegradação.

Fonte: CRAPEZ et al., 2002

O termo biorremediação pode ser definido como um processo que utiliza a biotecnologia na aceleração da transformação dos poluentes em produtos menos tóxicos. Normalmente utiliza-se o metabolismo de microrganismos para eliminação rápida de poluentes, para reduzir sua concentração para níveis aceitáveis, transformá-los em compostos de baixa toxicidade, ou mesmo mineralizá-los completamente (TONINI et al., 2010).

Os processos de biorremediação baseiam-se nas atividades aeróbicas ou anaeróbicas de microrganismos denominados “petrófilos”. Assim, vários tipos de microrganismos utilizam vias bioquímicas complexas para transformar os hidrocarbonetos em intermediários comuns do seu catabolismo e, a partir daí, em fonte de carbono e energia para seu crescimento (TONINI et al., 2010).

A complexidade dos processos metabólicos necessários a essa degradação leva a formação de consórcios, com bactérias de diferentes gêneros e espécies, cada uma especializada em degradar uma ou várias frações do óleo derramado. Os principais gêneros 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*. (CRAPEZ et al., 2002).

Existem basicamente duas técnicas de biorremediação, através da bioaugmentação e bioestimulação. A bioaugmentação consiste na adição de microrganismos exógenos ao meio contaminado, já que muitas vezes a população presente não está adaptada, e nem capaz de degradar toda a gama de substratos existentes em uma mistura complexa (KING et al., 1997).

A técnica de bioestimulação (Figura 1) consiste na adição de nutrientes (compostos contendo nitrogênio e fósforo) que são substâncias essenciais aos microrganismos responsáveis pela degradação do óleo. Os nutrientes utilizados na biorremediação podem ser agrupados em três categorias: inorgânicos solúveis em água, formulações oleofílicas e aqueles chamados de slow release, com a solubilização lenta dos componentes. Os produtos solúveis são representados por uma grande variedade de fertilizantes agrícolas, com diferentes proporções de compostos contendo nitrogênio, fósforo e potássio. As vantagens de utilização desses produtos é a disponibilidade no mercado e um baixo custo (HOFF, 1992).

Degradação de hidrocarbonetos do petróleo a partir da bioestimulação



Figura 1 - Degradação (da esquerda para a direita) dos hidrocarbonetos de petróleo por consórcio bioamplificado de bactérias hidrocarbonoclásticas e bioestimulados com fertilizante NPK

Fonte: CRAPEZ et al., 2002

Por serem facilmente carregados do local contaminado devido a sua solubilidade, a necessidade de repetidas aplicações é uma desvantagem, pois pode levar a um aumento da toxicidade (PRINCE, 1993).

As formulações oleofílicas são aquelas desenvolvidas para evitar o carregamento dos nutrientes, pois elas possuem afinidade pelo óleo e aderem às manchas, liberando os nutrientes na superfície óleo-água. A desvantagem desse produto é a competição com o petróleo no fornecimento de carbono aos microrganismos, retardando o processo de biodegradação do óleo (HOFF, 1992).

Os nutrientes slow release liberam pequenas quantidades de compostos durante um longo período de tempo, mantendo sua concentração controlada a níveis não tóxicos. São produzidos sob a forma de cápsulas solúveis, ou com os grânulos que se prendem às rochas e aos sedimentos. Esses produtos são eficientes, entretanto apresentam custos elevados (HOFF, 1992).

A biorremediação é uma tecnologia complexa e sua implementação ocorre em etapas que compreendem um estudo do ambiente, do tipo de contaminante, dos riscos e da legislação pertinente. Em primeiro lugar, é necessário uma caracterização do tipo e da quantidade do poluente, bem como avaliações de natureza biológica, geológica, geofísica e hidrológica do sítio contaminado (GAYLARDE et al., 2005).

Porém, devido à complexidade dessa biotecnologia, cuja eficiência envolve vários fatores, muitos problemas de difícil equacionamento podem surgir no decorrer do processo. Segundo Gaylarde et al. (2005), entre os principais problemas encontrados na aplicação de processos de biorremediação estão:

- A poluição geralmente envolve vários compostos, de diferentes classes químicas,

requerendo a seleção e utilização de diferentes microrganismos com metabolismo específico para os diferentes poluentes;

- Quando as concentrações dos poluentes são baixas, os microrganismos podem não produzir as enzimas necessárias; quando são muito altas, os microrganismos podem ser inibidos;

- Alguns dos poluentes presentes podem ser incompatíveis com o processo de biodegradação implementado;

- Alguns compostos são rapidamente adsorvidos pelo solo, sedimento e/ou água, diluindo-se abaixo do nível exigido para a ativação da biodegradação, contudo permanecendo ainda em concentrações acima da desejável;

- A taxa de biorremediação pode ser muito baixa, resultando em um processo de longa duração.

## Considerações Finais

A contaminação causada por petróleo tem se tornado uma das principais preocupações ambientais, uma vez que, geralmente, a contaminação interfere no ambiente da área afetada, como fauna, flora, solo e vegetação.

A biorremediação é uma forma natural de degradação de compostos químicos e a forma por meio da qual se reciclam os nutrientes nos ambientes naturais. É uma prática que tem alcançando importância mundial, uma vez que o aumento da atividade industrial está degradando, cada vez mais, os ecossistemas naturais.

Com isso, a biorremediação surge como uma alternativa natural de baixo custo ao tratamento de áreas contaminadas por derramamento de petróleo. No entanto, observa-se que essa técnica não deve ser utilizada em ambientes que exijam resultados imediatos, devido à demora no processo de decomposição de derivados do petróleo pelos petrófilos.

## Referências

BRASIL Escola. Poluição por derramamento de petróleo. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/geografia/poluicao-por-derramamento-petroleo.htm>>. Acesso em: nov. 2011.

CRAPEZ, M.A.C. et al. Biorremediação: tratamento para derrames de petróleo. *Ciência hoje*, Rio de Janeiro, v. 30, n. 179, p. 32-37, jan./fev. 2002.

FERRÃO, C. M. Derramamentos de Óleo no Mar por Navios Petroleiros. 2005. Dissertação de Especialização em M.B.E. Pós-Graduação Executiva em Meio Ambiente. 2005.

GAYLARDE, C.C.; BELLINASSO, M.L. & MANFIO, G.P. Biorremediação: aspectos biológicos e técnicos da biorremediação de xenobióticos. *Biociência*, n. 34, jan/jun. 2005.

HOFF, R.Z. Bioremediation: A countermeasure for marine oil spills. *Newsletter Spill Technology*, 17 (1): 14p. 1992.

KING, R.B., LONG, G.M.; SHELDON, J.K. *Practical environmental bioremediation: the field guide*. Second edition. Boca Raton: Lewis Publishers/CRC Press, 1997. 185p.

LIMA, C.A. Quantificação do Decréscimo de Risco Associado à Biorremediação de um Solo Contaminado por Hidrocarbonetos de Petróleo. 2004. Tese M.Sc., UFRJ/EQ, Rio de Janeiro – RJ. 2004.

POPP, J.H. *Geologia Geral*. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1999. 332p.

PRINCE, R.C. Petroleum spill bioremediation in marine environments. *Critical Reviews in Microbiology*, 19 (4): 217-242, 1993.

RIBEIRO, T.H.; RUBIO, J.; SMITH, R.W. A dried hydrophobic aquaphyte as an oil filter for oil/water emulsions. *Spill Science & Technology Bulletin*, v. 8, n. 5, p.483-489, 2003.

TONINI, R.M.C.W.; REZENDE, C.E.; GRATIVOL, A.D. Degradação e Biorremediação de Compostos de Petróleo por Bactérias. *Oecologia Australis*, 14(4): 1025-1035, dez. 2010.