



**SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

GIA 29  
14 a 17 Outubro de 2007  
Rio de Janeiro - RJ

## **GRUPO XI**

### **GRUPO DE ESTUDO DE IMPACTOS AMBIENTAIS - GIA**

#### **QUALIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE AGENTES BIOLÓGICOS COMO POTENCIAIS BIORREMEDIADORES DE SISTEMAS AQUÁTICOS E TERRESTRES CONTAMINADOS COM ÓLEO DE USINAS TERMELÉTRICAS**

**Eduardo Marques Trindade<sup>(\*)1</sup>, Pércia Aparecida Patriarca<sup>1</sup>, Helena Maria Wilhelm<sup>1</sup>, Augusto Saraiva<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC

<sup>2</sup> Centrais Elétricas do Norte do Brasil - ELETRONORTE

## **RESUMO**

As usinas termelétricas, como quaisquer outros empreendimentos do setor elétrico, estão constantemente sujeitas a problemas decorrentes de vazamentos, derramamentos e de acidentes durante o transporte, armazenagem e utilização de combustíveis fósseis. Os impactos ambientais oriundos do vazamento desses combustíveis podem ser refletidos no solo, no ar e nos recursos hídricos superficiais e subterrâneos do local impactado e de seus arredores.

Medidas biocorretivas podem ser adotadas para descontaminar o solo e a água de poluentes à base de petróleo. A biorremediação é baseada na utilização de microorganismos naturais (como bactérias, fungos e leveduras) como agentes de biodegradação, transformando os poluentes em, basicamente, dióxido de carbono e água.

Baseado na preocupação com a preservação do meio ambiente e com a qualidade de vida dos seres vivos, o LACTEC, juntamente com a ELETRONORTE, estão buscando soluções para biorremediar o meio ambiente impactado com óleo diesel. Esta iniciativa é inovadora e pioneira dentro do setor elétrico brasileiro.

Fundamentado nisto, no presente trabalho foram identificados, utilizados e avaliados agentes biológicos no processo de biorremediação de sistemas aquáticos e terrestres poluídos com óleo diesel, visando a sua descontaminação. Os resultados obtidos mostraram que os agentes biorremediadores testados são eficientes para esta finalidade.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Biorremediação, Tratamento Biológico, Biodegradação, Óleo Diesel, Descontaminação.

## **1.0 - INTRODUÇÃO**

O impacto causado no meio ambiente pelos processos industriais deram origem à ciência voltada à reparação dos estragos ambientais. Esta ciência, incipiente até a ocorrência da Segunda Guerra Mundial, passou, com o auxílio de organismos internacionalmente financiados e monitorados, a se demonstrar de vital importância na medida em que mais e mais acidentes ambientais passaram a ocorrer; dejetos decorrentes da industrialização e concentração populacional passaram a ser lançados na natureza, como consequência do crescimento de ambos os fatores; um sistema educacional voltado à preservação do meio ambiente deixou de ser adequadamente ministrado à população mundial como um todo.

O desenvolvimento desta ciência, como em toda outra, implicou não só na ação imediata, mas na observação de como o meio ambiente reagia e reage a cada intervenção — maligna ou bem intencionada — provocada pelo homem. Dentre as formas de reação, verificou-se que microorganismos, existentes em todas as situações, na

(\*) Endereço: BR-116 – KM 98 – S/Nº – Centro Politécnico da UFPR - Jardim das Américas - 81531-980 - Curitiba - PR  
Fone (41) 3361-6191 - Fax (41) 3361-6137 – e-mail: [trindade@lactec.org.br](mailto:trindade@lactec.org.br) e [helenaw@lactec.org.br](mailto:helenaw@lactec.org.br)

busca da auto preservação, acabam por enfrentar os agentes agressores em maior ou menor grau, degradando tais agentes, geralmente contaminantes, não raro, se constituindo numa poderosa arma de defesa ambiental, passível de ser potencializada. A esta capacidade microbial de degradação, denominou-se biodegradação e, à técnica de utilização desta capacidade para remediação ambiental, chamou-se biorremediação.

A descontaminação de solo e de água contaminados com poluentes à base de petróleo podem ser obtidos por técnicas de remediação e de restauração. Usualmente estas técnicas apresentam um elevado custo. Tecnologias avançadas tais como o uso de sistemas biológicos de tratamento para reduzir ou destruir esses resíduos são vistas como uma opção para a tecnologia de descontaminação. A biorremediação é baseada na utilização de microorganismos naturais (como bactérias, fungos e leveduras) como agentes de biodegradação, transformando os poluentes em, basicamente, dióxido de carbono e água.

As medidas biocorretivas são classificadas em duas grandes categorias: *in situ* e *ex situ*. No caso das medidas *in situ*, o tratamento do solo contaminado ou da água subterrânea é feito no próprio local, utilizando-se tecnologias que vão desde a introdução de oxigênio e nutrientes até a adição de organismos selecionados para cada tipo de contaminante. Na biorremediação *ex situ* o resíduo é transportado para outro local, desenvolvem-se reatores que são projetados para sítios específicos sendo necessário o escavamento do solo contaminado ou a extração da água subterrânea pelo uso de bombas. Como nas técnicas *in situ* não é necessário escavar o solo, estas são mais econômicas e liberam menos contaminantes para o ambiente do que as *ex situ*, que demandam mais tempo, são mais difíceis de manejar e mais eficazes em solos permeáveis, como os arenosos.

A medida biocorretiva a ser adotada em um determinado sistema dependerá de vários fatores, como por exemplo, das condições do local (do pH, do teor de água no solo, da quantidade de nitrogênio, de potássio e de fosfato) e da quantidade e da toxicidade dos contaminantes presentes. Alguns contaminantes são tóxicos aos microrganismos, como por exemplo, altas concentrações de metais, compostos orgânicos altamente clorados e sais inorgânicos, limitando a eficiência do processo biorremediador aos compostos orgânicos não halogenados, voláteis e semi-voláteis, do petróleo bruto, combustíveis e solventes.

No Brasil existem poucos exemplos de processos de remediação biológica de poluentes no solo dentro dos setores industriais, sendo o mais evidente os trabalhos realizados pela equipe técnica da PETROBRAS, que tem realizado experimentos com *landfarming* na Refinaria Duque de Caxias (RJ), com avaliação do efeito da borra de petróleo nas populações bacterianas do ciclo de nitrogênio. No setor elétrico, a prática da biorremediação ainda não é aplicada.

A ELETRONORTE, como outras concessionárias de energia, possui termelétricas onde o solo e a água encontram-se contaminados com óleo diesel. Preocupada com a preservação do meio ambiente e com a qualidade de vida dos seres vivos, esta concessionária está buscando soluções para biorremediar o meio ambiente impactado. Baseado nisto, o presente trabalho teve por objetivo a identificação, a utilização e a avaliação de agentes biológicos no processo de biorremediação em sistemas aquáticos e terrestres poluídos com óleo diesel, visando a sua descontaminação.

## **2.0 - OBJETIVO**

Avaliar, em escala piloto, a ação de agentes biorremediadores sobre amostras de água e de solo contaminadas com óleo diesel.

## **3.0 - PARTE EXPERIMENTAL**

### **3.1 - Testes preliminares em escala laboratorial – avaliação da biorremediação**

Inicialmente foram realizados testes de biorremediação em escala laboratorial. Para tanto, amostras de solo (coletado nos arredores do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná) e de água (água destilada em laboratório) isentas de óleo diesel foram contaminadas em laboratório com óleo diesel. Estas amostras foram denominadas de “solo padrão” e “água padrão”, respectivamente. O solo e a água padrão foram submetidos aos ensaios de determinação de Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (TPH) e de óleos e graxas, respectivamente, por gravimetria. O ensaio de TPH foi realizado de acordo com a norma ASTM D5765-95 e o de Óleos e Graxas foi baseado na norma APHA – Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater.

Para avaliar a eficiência da biorremediação em escala laboratorial, o agente biorremediador (Agro Remed, fornecido pela empresa SARVA BIOREMEDI, em solução), foi adicionado diretamente sobre as amostras de solo e de água padrão (Figura 1). A eficiência do processo foi monitorada periodicamente, em função do tempo de ação do agente biorremediador, a partir de ensaios de TPH (gravimetria e cromatografia em fase gasosa), para as amostras de solo, e de Óleos e Graxas (gravimetria), para as amostras de água.



**Figura 1.** Adição do agente biorremediador, Agro Remed, às amostras de água padrão – teste em escala laboratorial.

### 3.2 - Testes em escala piloto – avaliação da biorremediação

Nesta etapa do projeto foi desenvolvido um sistema para realizar o ensaio de biorremediação em escala piloto. Foram testadas as amostras de solo e de água padrão e amostras de solo e de água coletadas na Termelétrica da ELETRONORTE, em Macapá (Figura 2). As amostras de solo e de água coletadas na Termelétrica, após a entrada no laboratório do LACTEC, foram submetidas aos ensaios de determinação de TPH e óleos e graxas, respectivamente.



**Figura 2.** Coleta de amostras de água (A) e de solo (B) na Termelétrica da ELETRONORTE, em Macapá.

Para os ensaios de biorremediação das amostras de água, em escala piloto, foi adicionado o agente biorremediador, Agro Remed, em 8 litros de água padrão e em 8 litros de água coletada na Termelétrica da ELETRONORTE. O processo de biorremediação foi realizado na presença e ausência de borbulhamento de ar sintético (Figura 3).

Para os ensaios de biorremediação das amostras de solo padrão, em escala piloto, 3 kg desse solo foram aspergidos com uma solução diluída do agente biorremediador, Agro Remed (Figura 4).

A eficiência do processo foi monitorada periodicamente, em função do tempo de ação do agente biorremediador, a partir de ensaios de TPH, para as amostras de solo, e de Óleos e Graxas, para as amostras de água.



**Figura 3.** Biorremediação em escala piloto para as amostras de água padrão (8 L) e coletadas na Termelétrica da ELETRONORTE (8 L). As duas caixas à esquerda contém a amostra de água padrão: a caixa da frente com borbulhamento de ar e a dos fundos sem borbulhamento de ar. As duas caixas à direita contém a amostra de água coletada na ELETRONORTE: com borbulhamento de ar na caixa da frente e sem borbulhamento de ar na caixa dos fundos.



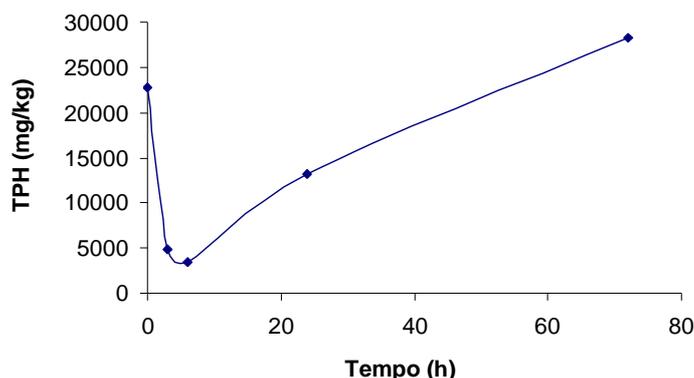
**Figura 4.** Biorremediação em escala piloto para a amostra de solo padrão (3 kg), após aspersão deste com o agente biorremediador, Agro Remed.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 - Testes preliminares em escala laboratorial – avaliação da biorremediação

A eficiência do processo de biorremediação para as amostras de solo padrão foi inicialmente monitorada pelo ensaio de TPH, por gravimetria, em função do tempo de contato entre o agente biorremediador e o solo. Os resultados da Figura 5 mostram que o teor de diesel incorporado no solo padrão foi de 23.000 mg/kg e se refere ao tempo zero do gráfico. Após 3 e 6 h da ação do biorremediador sobre o solo contaminado, a concentração diminuiu para 4.909 e 3.501 mg/kg, respectivamente, notando-se a ação eficaz do agente biorremediador. Mas após 24h os resultados foram aumentando, chegando a um valor superior à concentração inicial de diesel na amostra de solo, indicando que o método gravimétrico, usado para avaliar a eficiência do processo de biorremediação, não é satisfatório.

Para investigar melhor esse aumento nos valores de TPH, reportados a partir de 24 h, foram biorremediadas amostras de solo isentas de óleo diesel e posteriormente determinado o teor de TPH pelo método gravimétrico. O resultado de TPH emitido pelo ensaio gravimétrico leva em conta a diferença entre a massa inicial da amostra e a massa final do resíduo (oriunda da extração com solvente apropriado, e posterior evaporação do mesmo), que corresponde ao valor de TPH presente na amostra. Ou seja, amostras isentas de TPH não apresentam esse resíduo final. Observou-se, no entanto, que as amostras de solo isentas de óleo diesel e que foram tratadas com o agente biorremediador, apresentaram um resíduo (Figura 6). Este resíduo, que não corresponde ao TPH, ao ser levado em conta no cálculo de determinação do valor de TPH, leva a emissão de um resultado falso-positivo. E, conseqüentemente, a uma interpretação equivocada quanto à eficiência do agente biorremediador. Ensaios investigativos estão em andamento visando elucidar a origem e a natureza do resíduo formado.



**Figura 5.** Teor de TPH (Hidrocarbonetos Totais de Petróleo), determinado por gravimetria, para as amostras de solo padrão após o processo de biorremediação.



**Figura 6.** Resíduo formado após ação do agente biorremediador sobre amostras de solo isentas de óleo diesel, utilizando o método gravimétrico de determinação de TPH.

Com o objetivo de determinar valores de TPH confiáveis para monitorar o processo de biorremediação nas amostras de solo padrão, foi desenvolvida uma metodologia cromatográfica para determinar o real teor de hidrocarbonetos totais de petróleo remanescente após o processo de biorremediação. Os resultados obtidos pela utilização desta metodologia estão representados na Tabela 1. A partir desses dados, nota-se que o método cromatográfico, em comparação ao gravimétrico, é uma metodologia analítica mais precisa para determinar o valor de TPH e consequentemente, para avaliar a eficiência do processo de biorremediação em amostras de solo.

**Tabela 1.** Teor de TPH (Hidrocarbonetos Totais de Petróleo), determinado por cromatografia em fase gasosa, para as amostras de solo padrão após o processo de biorremediação.

Tempo de contato (h)	TPH (mg/Kg)
0	8.440
3	450
6	300
24	240
72	100

Usando como referência os estudos realizados pela Agência de Proteção Ambiental Norte Americana, resumidos nas publicações USEPA EPA 542-F-00-020, Treatment Experiences at RCRA Correction Actions e NRJ 080, Abstracts of Remediation Case Studies, foi adotado como objetivo o teor máximo de contaminação de 500 mg de TPH por Kg do solo. Analisando os resultados da Tabela 1, tal objetivo foi atingido após 3 horas de contato entre o agente biorremediador e o solo, com base na experiência local e internacional, uma vez que, além da legislação local não ser específica para a situação em estudo, o uso de parâmetros internacionais irá facilitar a compreensão do processo por qualquer entidade ou especialista brasileiro ou estrangeiro.

Os resultados obtidos para a biorremediação das amostras de água padrão estão apresentados na Tabela 2. Numa primeira análise, os resultados obtidos indicam que o agente biorremediador atua de forma mais rápida e eficiente nas amostras de solo padrão (Tabela 1) em comparação com as de água (Tabela 2). No entanto, a quantidade de agente biorremediador adicionada às amostras de água padrão foi inferior a adicionada ao solo padrão. Testes com quantidades maiores de agente biorremediador estão sendo conduzidos.

**Tabela 2.** Óleos e graxas para as amostras de água padrão após o processo de biorremediação.

Tempo de contato	Óleos e graxas (mg/L)
0 h	4.300
3 h	3.700
48 h	3.500
6 dias	3.400
10 dias	3.400
15 dias	2.200

#### 4.2 - Testes em escala piloto – avaliação da biorremediação

Nas Tabelas 3 e 4 estão representados os valores de óleos e graxas obtidos durante a realização do processo de biorremediação das amostras de água padrão e das amostras de água coletadas na Termelétrica da ELETRONORTE, realizado na presença e ausência de ar sintético. Observa-se que o borbulhamento de ar sintético não afeta de forma significativa o processo de biorremediação das amostras de água padrão e que a cinética de degradação para ambos os sistemas (com e sem borbulhamento de ar sintético) é semelhante. Comparando-se os resultados obtidos para as amostras de água padrão com as coletadas na Termelétrica, pode-se concluir que o desempenho do agente biorremediador foi semelhante, apesar das concentrações iniciais de óleo diesel em ambas as amostras ser diferente, 100 e 25 mg/L, respectivamente.

**Tabela 3.** Teor de Óleos e Graxas, determinado por gravimetria para as amostras de água padrão obtido durante o processo de biorremediação.

Tempo de contato com o agente biorremediador	Óleos e Graxas (mg/L) para as amostras biorremediadas	
	Na presença de ar sintético	Na ausência de ar sintético
0h	100,0	100,0
4h	22,6	18,6
11h	3,4	5,6
19 dias	2,0	4,6
25 dias	2,4	0,8

**Tabela 4.** Teor de Óleos e Graxas, determinado por gravimetria, para as amostras de água coletadas na Termelétrica da ELETRONORTE, obtido durante o processo de biorremediação.

Tempo de contato com o agente biorremediador	Óleos e Graxas (mg/L) para as amostras biorremediadas	
	Na presença de ar sintético	Na ausência de ar sintético
0h	25,0	25,0
4h	19,2	14,2
11h	1,6	1,2
19 dias	1,0	2,4
25 dias	1,0	2,0

Na legislação brasileira não existe limite estabelecido para o parâmetro de Óleos e Graxas, a recomendação é de que estes estejam virtualmente ausentes. Observou-se que após 4h de contato com o agente, o óleo encontrava-se virtualmente visível em todas as amostras. Com 11 dias de contato, o óleo sobrenadante também se encontrava virtualmente visível em todas as amostras, porém, em menor proporção que em 4h de contato. Com 19 dias de contato, o óleo se apresentou virtualmente ausente em todas as amostras com exceção da amostra de água padrão biorremediada sem borbulhamento de oxigênio, onde o óleo que se mostrou virtualmente ausente somente após 22 dias de biotratamento.

## **5.0 CONCLUSÃO**

É possível descontaminar água e solo impactados com óleo diesel a partir da utilização do agente biorremediador Agro Remed.

A eficiência do processo de biorremediação é dependente da quantidade de agente biorremediador adicionado e da concentração do contaminante no sistema impactado.

Cromatografia em fase gasosa é a técnica analítica mais adequada para realizar o monitoramento da eficiência do processo de biorremediação de solo impactado com óleo diesel.

## **6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. APHA – Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater. 20 th ed. Washington, 1998.
2. ASTM D5765 – Solvent Extraction of Total Petroleum Hydrocarbons from Soils and Sediments Using Closed Vessel Microwave Heating.
3. EPA – 821-R-98-002. February, 1999.