



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

GIA - 20  
16 a 21 Outubro de 2005  
Curitiba - Paraná

## **GRUPO XI**

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

#### **RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DE ÁREA AFETADA POR VAZAMENTO DE ÓLEO EM ACIDENTE EM SUBESTAÇÃO DA TRANSMISSÃO PAULISTA**

**\*Jayme Leite Nunes Jr.**

**Mário José Monteiro**

**Antônio Carlos Lopes**

#### **TRANSMISSÃO PAULISTA - CTEEP**

### **RESUMO**

Na ocorrência de falha grave em transformadores, seguida de incêndio ou explosão, a possibilidade de ruptura total ou parcial do tanque do transformador faz com que o óleo mineral residual possa vaziar para o meio ambiente através da brita, solo e canaletas de passagem dos cabos de controle. Isso é especialmente grave em subestações construídas antes de 1982, onde não era usual dotá-las de sistema de caixas de contenção de óleo.

Em nossa subestação Baixada Santista em Cubatão - SP com a ocorrência do incêndio na fase vermelha do TR3, seguida de ruptura do tanque, houve a contaminação por óleo mineral do solo e da água do canal de descarga e no próprio Rio Perequê que corre ao lado da SE.

Esse plano foi aplicado à recuperação de uma área da subestação e englobou a recuperação de solo, brita e vazamentos em cursos d'água. Após o processo de bioremediação, o solo, brita e turfa foram reincorporados ao solo da SE e a água devolvida ao próprio Rio Perequê.

O diferencial do processo foi a recuperação total da área da SE afetada pelo acidente, sem que fossem necessários a geração de passivos ambientais, o que fatalmente ocorreria se fossem adotados os métodos convencionais de recuperação ambiental.

**PALAVRAS-CHAVE: SUBESTAÇÃO, MEIO AMBIENTE, BIOREMEDIAÇÃO, ÓLEO MINERAL ISOLANTE.**

### **1.0 - INTRODUÇÃO**

A questão ambiental é assunto recorrente no dia a dia de empresas, órgãos governamentais, na mídia e da população em geral obrigando as empresas a cuidados minuciosos com seus processos.

Para as empresas de energia elétrica, essa questão é especialmente complexa pela operação de equipamentos, transformadores, reatores ou disjuntores isolados por grandes volumes de óleo mineral isolante e, em menor quantidade, de equipamentos isolados com bifenilas policloradas (PCB's) ou Ascaréis. No caso da Transmissão Paulista, isto significa cerca de 3.000.000 de litros de óleo isolante operando em equipamentos instalados em 102 subestações de transmissão de energia por todo o Estado de São Paulo.

Os procedimentos usuais de remediação de área afetada por acidentes envolvendo derramamentos de hidrocarbonetos incluem a incineração ou o envio para aterros sanitários de todo o material contaminado.

Queimar foi considerado por muito tempo como o método mais eficiente para destinação final de resíduos, mas com o avanço da industrialização e a conseqüente produção em massa de produtos químicos e plásticos, a destinação por incineração tornou-se um processo complexo e com alto potencial poluidor pela possibilidade da liberação de metais pesados, organoclorados, dioxinas e furanos ou outros produtos tóxicos resultantes de combustão incompleta.

A alternativa corrente à incineração é a deposição em aterros industriais. Todos os tipos de aterros possuem um tempo de vida limitado e custos de manutenção especialmente elevados em se tratando de resíduos perigosos

devido aos riscos de contaminação do meio ambiente. Além de manter a empresa geradora dos resíduos presa indefinidamente à responsabilidade de arcar com custos financeiros e de imagem se, no futuro, qualquer problema ou acidente com este aterro vir a ocorrer.

Recentemente, em substituição às técnicas tradicionais, tem se tornado comum a utilização de processos de bioremediação on ou off-site que consistem na biodegradação do contaminante através de um dos seguintes métodos:

- Remoção de Fase Livre de Hidrocarbonetos Leves: Remoção de fase livre de hidrocarbonetos de petróleo por bombeamento direto e separação dos líquidos através de um separador água-óleo, Aplicável a compostos voláteis (ex.: gasolina); limitado a sites com média a alta permeabilidade.
- Bioventing: Injeção de ar (oxigênio) através da zona-não-saturada e franja capilar (fonte/solo), promove a biodegradação *in situ* dos hidrocarbonetos de petróleo. Aplicável a sites onde os contaminantes são pouco ou não voláteis (ex.: diesel); limitado a áreas com média a elevada permeabilidade.
- Air Sparging: Injeção de ar através da zona saturada para remediação das águas subterrâneas pela volatilização e biodegradação dos contaminantes. Efetivo tanto para os contaminantes voláteis como para os biodegradáveis (ex.: gasolina e diesel). Limitado a sites com média ou alta condutividade hidráulica.
- Extração Multifásica (MPE) ou Bioslurping: Extração simultânea das diversas fases de hidrocarbonetos, a partir da aplicação de alto vácuo em poços de extração, estimula a biodegradação através do aumento do fluxo de ar (oxigênio) no solo. Efetivo na remediação das fases dissolvida, vapor, residual e adsorvida da contaminação. Pode ser utilizada em sites com baixa permeabilidade / condutividade hidráulica.
- Atenuação Natural: Os microorganismos existentes em sub-superfície degradam os contaminantes com o tempo, atingindo assim os objetivos de remediação. A remediação é demonstrada através da redução da pluma de contaminação e do incremento dos produtos de degradação dos compostos originais. Áreas-fonte com elevado grau de contaminação do solo deverão ser removidas ou a pluma irá se expandir.

Este informe técnico apresenta o plano aplicado à recuperação de área da subestação BSA logo após a ocorrência do derramamento. Os procedimentos englobaram a recuperação de solo, brita e vazamentos em cursos d'água. Após o processo de bioremediação por atenuação natural, utilizando um tensoativo biodegradável, o solo, brita e turfa foram reincorporados ao solo da SE e a água devolvida ao próprio Rio Perequê. O plano foi previamente apresentado e aprovado pelo órgão de controle ambiental do Estado de São Paulo, CETESB que acompanhou todas as fases do processo.

## 2.0 - DADOS DA SUBESTAÇÃO:

Em nossa Subestação Baixada Santista, em Cubatão – SP, a ocorrência de incêndio na fase vermelha do TR3, seguida de ruptura do tanque, causou a contaminação com óleo mineral de 120 m<sup>3</sup> de solo e brita e 160 m<sup>3</sup> de água recuperada do derramamento ocorrido no canal de descarga e no próprio Rio Perequê que corre ao lado da SE.

A Subestação Baixada Santista (SE BSA) da **CTEEP** está localizada no Rod. Cônego D. Domênico Rangone, km 58,5-V Perequê, em Cubatão, operando nas tensões de 345-230-138-88 kV com data de entrada em operação de 31/12/1975. Sua capacidade de transformação é de 1600 MVA totalizando 11 transformadores de potência isolados com óleo mineral isolante.

É importante ressaltar que essa Subestação não opera equipamentos isolados com PCB's (bifenilas policloradas).

## 3.0 - HISTÓRICO DO ACIDENTE:

Em 07 de março de 2003, houve a ocorrência de falha grave na fase vermelha do transformador 3 seguida de incêndio. Isso ocasionou a queima da maior parte do óleo mineral isolante do equipamento embora, com a ruptura parcial do tanque do transformador, parte do óleo mineral residual tenha vazado para as canaletas de passagem dos cabos de controle onde estava sendo contido por barreiras de areia e absorvido por turfa pelo pessoal de manutenção da **CTEEP**.

Devido ao forte temporal ocorrido no final da tarde, houve o rompimento dos diques de areia causando o derramamento de uma parte do óleo isolante no canal de drenagem e consequentemente no Rio Perequê, adjacente a Subestação.

Para conter o óleo, foram montados 3 diques no canal de drenagem e instaladas pela TRANSPETRO 5 pontos de barreira no Rio Perequê.

## 4.0 - CARACTERÍSTICAS DO ÓLEO MINERAL ISOLANTE

- Nome comercial: óleo mineral isolante naftênico
- Fabricante: PETROBRAS LUBRAX AV-58
- Nome químico: não se aplica
- Composição química: destilado naftênico leve severamente hidrotratado (alto refino)
- CAS n.º: 64742-53-6
- EINECS n.º: 265-156-6
- Número ONU: não se aplica

#### 4.1 - Informações toxicológicas:

4.1.1 - Toxicidade aguda: estudos disponíveis indicam oral e pele LD<sub>50</sub> de > 2.000 mg/kg (LD<sub>50</sub>/oral/rato = 5000 mg/kg).

Efeito local:

- Inalação: inalação prolongada e repetida de névoa de vapor produzido a temperaturas elevadas pode irritar as vias respiratórias.
- Oral: Pode causar náusea e eventualmente vômito e diarreia.
- Contato com a pele: pode causar vermelhidão e dor transitória.

4.1.2 - Sensibilidade: estudos indicam nenhuma evidência de sensibilidade

#### 4.2 - Informações ecológicas

4.2.1 - Mobilidade: baixa, devido à baixa solubilidade em água.

4.2.2 -Persistência/degradabilidade: não é facilmente biodegradável.

4.2.3 - Bio-acumulação: Log P<sub>ow</sub> > 3.9

4.2.4 - Ecotoxicidade: dados de toxicidade aquática em óleos básicos indicam valores de LC<sub>50</sub> excedendo 1.000 mg/L. As substâncias podem não atender aos critérios para pronta degradabilidade e os componentes tem valores de Log P<sub>ow</sub> variando de 3.9 para maior que 6. Contudo, estudos de toxicidade crônica mostram que essas substâncias não representam risco prolongado para o meio ambiente aquático. Nenhuma classificação é portanto necessária.

#### 5.0 - PLANO DE BIOREMEDIAÇÃO

Para impedir a expansão da pluma de contaminação foi feita a retirada de todo o solo e brita contaminados para caçambas e o bombeamento de toda a água + óleo retidos nos 3 diques montados no canal de drenagem e nos 5 pontos de barreira no Rio Perequê, através do uso de caminhões-vácuo, resultando em 120 m<sup>3</sup> de solo e brita e 160 m<sup>3</sup> de água recuperada.

Para separação do óleo livre no material coletado, foram adotados os seguintes procedimentos:

No material recuperado nos tanques (água + óleo), foi feita a separação por decantação de todo o óleo livre e da retirada do sobrenadante com turfa oleofílica até que não restassem traços de óleo visíveis na água.

No material sólido (brita e solo), foi coletado todo o óleo drenado no fundo das caçambas até que não houvesse mais sinais de óleo livre. Análises de laboratório encontraram um valor médio de 0,84 % de óleo no material, portanto abaixo dos 5% que o caracterizariam como classe I – perigoso segundo a NBR 10.004/97 vigente na data.

Esse processo resultou na recuperação de aproximadamente 10.000 L de óleo isolante que foi enviado para empresa regeneradora certificada pela CETESB para futura utilização em aplicação “não-elétrica” (óleo de corte ou anticorrosivo).

Restou então a destinação ou recuperação dos outros materiais. Os procedimentos usuais de destinação de resíduos provenientes da área afetada por derramamentos de hidrocarbonetos envolvem a incineração ou o envio para aterros sanitários de todo o material contaminado.

Pelos motivos expostos na introdução deste informe técnico, procurou-se por alternativas aos processos tradicionais através dos métodos de remediação. Dentre os vários métodos disponíveis optou-se pela atenuação natural em função das condições do local como baixa permeabilidade do solo, a pronta remoção do material afetado e ausência de contaminação do lençol freático.

A bioremediação por atenuação natural pode ser feita com ou sem a adição de cepas de microorganismos cultivados em laboratórios, portanto estranhos ao site. Optou-se pela não adição de microorganismos em função da relativa biodegradabilidade do contaminante em questão (óleo mineral isolante) e para se evitar os riscos desses microorganismos não-naturais se estabelecerem como parte do ecossistema, e eventualmente predominarem em relação à população microbiana originalmente ativa.

O plano de recuperação ambiental aplicado à área afetada foi baseado nos novos relatórios do "Oil Program" da EPA, a agência de proteção ambiental americana e prevê o uso de agentes surfactantes que agem na dispersão do óleo contido no material contaminado permitindo uma aceleração do processo natural de degradação pelos processos microbiológicos na sub-superfície do meio.

As moléculas de surfactante possuem duas regiões distintas: uma delas apolar (cauda hidrofóbica) e outra polar ou iônica (cabeça hidrofílica). A parte da molécula de natureza apolar é incapaz de sofrer uma orientação em um campo eletromagnético.

O termo hidro (água) + filica (amizade) indica que esta região apresenta solubilidade significativa em água e o termo hidro (água) + fóbico (medo) indica que esta região não apresenta solubilidade em água.

Uma das características comuns a todos os surfactantes é a capacidade de formar agregados em solução aquosa a partir de uma determinada concentração. Estes agregados são denominados micelas. A concentração onde se inicia o processo de formação das micelas (micelização) é chamada de concentração crítica micelar, cmc, que é uma propriedade intrínseca e característica do surfactante. Após uma certa concentração, as moléculas de surfactante, na solução, passam a se agregar sob a forma de micelas. São as micelas os "entes" da solução responsáveis pela catálise micelar e pela solubilização de gorduras.

A solução surfactante em si não causa catálise ou qualquer reação química específica, e também não contém cultura de bactérias. O princípio básico da técnica é emulsificar os hidrocarbonetos em extremamente pequenas cápsulas (microemulsões), proporcionando o contato com a solução de água e oxigênio e mantendo-o em fase aquosa onde a bio remediação tem lugar.

Durante a biodegradação dos hidrocarbonetos, somente a área superficial exposta à bactéria está sujeita a condições ideais de degradação. Com a adição do surfactante para emulsificar o óleo em gotículas microscópicas e distribuí-las juntamente à água no espaço dos poros do solo, a superfície exposta à bactéria é fortemente aumentada, tornando-se uma fonte de alimentos disponível que pode ser prontamente absorvida. Como o processo ocorre em fase aquosa, no espaço do poro, é importante manter um teor de umidade mínimo para que se obtenha a máxima eficiência.

Todos estes fatores combinados criam condições muito favoráveis para que culturas de bactérias originárias do próprio ambiente ou disponíveis comercialmente degradem o contaminante a taxas altamente aceleradas, com redução sensível do tempo e custo do processo.

O produto adotado foi o BioSolve da Westford Chemical Corp. (USA), que é uma formulação de surfactantes catiônicos, sem adição de fosfatos, nitratos ou D-Limoneno, biodegradável e de acordo com as normas da OPA (Oil Pollution Act 1990) da EPA, a agência de proteção ambiental americana.

#### 5.1 - Óleo mineral isolante

- Coleta da mistura água + óleo através de caminhões-vácuo nos seguintes pontos: 3 diques do canal de drenagem; caixas de drenagem e canaletas da SE e nos 5 pontos de barreira no Rio Perequê. O material coletado foi armazenado em tanques na SE.
- Separação da mistura água+óleo através da retirada do óleo sobrenadante na água, e transferência para caminhão tanque.

Esse processo resultou na recuperação de aproximadamente 10.000 L de óleo isolante que foi enviado para empresa coletora certificada pela CETESB para regeneração e futura utilização em aplicação "não-elétrica" (óleo de corte ou anticorrosivo).

#### 5.2 - Tratamento da água contaminada contida nos tanques.

Foi feito um teste "in vitro" da água contida nos tanques, por emulsificação com o surfactante, a fim de se obter a porcentagem adequada do produto a ser utilizado no tratamento da água. De acordo com os resultados obtidos, foi estabelecida a dosagem correta, levando-se em consideração o conteúdo total dos tanques e a agitação do conteúdo mediante bombeamento com retorno para o mesmo tanque (recirculação) para maior eficiência do processo.

O tratamento deixou a solução dentro dos padrões exigidos pela legislação para descarte no próprio Rio Perequê.

Obs: o processo foi realizado sem emissão de poluentes para a atmosfera, já que o surfactante inibe todas as emanações de hidrocarboneto.

### 5.3 - Despoluição do solo contaminado e da área envolvida:

Retirada da brita e do solo afetados e a colocação em uma área intramuros na própria Subestação. Tal material foi colocado em caçambas evitando-se a contaminação adicional de áreas adjacentes.

Coleta de amostra de 200 g do solo (em vidro esterilizado) para análises de laboratório quanto à verificação da presença de óleos, graxa e pH.

Aplicação de surfactante diluído a 3% na superfície da área de onde foi retirado o solo e a brita, até ser obtida uma boa penetração e saturação do solo.

A colocação no nível obtido, de tubos de PVC de ¾", interligados, formando uma rede de quadrados mantendo uma distância de 1,5m entre si, e com orifícios de 2mm perfurados lateralmente à distância de 0,20 m. A área sofreu um revestimento com manta Bidim, sobre os tubos de PVC, evitando-se o entupimento dos orifícios. Estes tubos de PVC foram ligados a uma bomba de ½ HP colocada junto a uma caixa de 500 L de onde será bombeada solução a 3%, a intervalos regulares (15 dias).

Tratamento da brita e solo contaminados em uma betoneira, adicionando a solução diluída a 3% e deixando emulsionar o conteúdo em rotação normal por 3 minutos.

Devolução do material tratado para o local de onde fora retirado, refazendo-se o nível original.

Onde necessário, foi efetuada limpeza de outros aparelhos e equipamentos circunvizinhos, porventura atingidos pelo acidente, utilizando-se panos embebidos na solução a 6% e depois enxaguando com água.

### 5.4 - Turfa impregnada com óleo

A turfa absorvente utilizada na coleta do óleo foi incorporada ao solo e tratada de forma conjunta com aplicação de solução a 3%.

### 5.5 - Barreiras de contenção impregnadas com óleo (mantas de polipropileno)

- incineração como resíduo classe 1 em forno certificado pela **CETESB**.

#### 5.5.1 - Nota complementar:

Testes de controle: Foram efetuados testes de laboratório, em relação à presença de hidrocarbonetos, 15 dias após a finalização da despoluição, ou seja, após a colocação da camada de brita final. Este teste constou de duas retiradas distintas de solo:

1. mediante a utilização de uma broca retirou-se solo em pontos situados a 0,30m abaixo da superfície (200 gr),
2. em seguida, após lavagem da broca, retirou-se amostra de solo em pontos situados 0,60m abaixo da superfície.

Estas amostras foram analisadas para efeito comparativo com os resultados da amostra inicial e verificação de que a bioremediação atingiu o resultado desejado. Como os testes apresentaram resultado dentro dos parâmetros legais e abaixo dos coeficientes exigidos, não estão previstos testes adicionais.

Antes do descarte ou destinação final de qualquer material, os resultados dos ensaios de controle foram previamente apresentados à **CETESB**.

## 6. CONCLUSÃO

O diferencial do processo adotado foi a recuperação da área afetada pelo acidente sem que fossem necessários a geração de passivos ambientais tanto na subestação quanto no envio de material contaminado para aterros industriais ou incineração, o que fatalmente ocorreria se fossem adotados os métodos convencionais de recuperação ambiental. Ensaio de controle posteriores comprovaram a eficiência do processo pela ausência de resíduos de óleo isolante no solo da subestação.

Esta abordagem revelou-se também vantajosa do ponto de vista econômico já que o custo da bioremediação revelou significativamente menor que a solução convencional de se remeter os resíduos gerados para incineração ou deposição em aterro.

Posteriormente, o mesmo processo de bioremediação foi adotado na recuperação de outra área afetada por vazamento de óleo mineral na SE INT e tornou-se procedimento padrão para recuperação ambiental em SE's da CTEEP com certificação em SGA ISO 14001.

### BIBLIOGRAFIA:

- ABNT NBR 10004/87, “Resíduos Sólidos – Classificação”.
- Governo Estado de São Paulo, Decreto Lei 8468/76 art. 18 e 19.
- Cons. Nac. Meio Ambiente, CONAMA, Resolução nº 20/86.
- U.S. Environmental Protection Agency's, “Oil Program”.
- Vazoller R.F., “Microbiologia e Saneamento Ambiental”, Base de Dados Tropical, Universidade de São Paulo.
- Don. L. “Technology Practices Manual for Surfactants and Cosolvents” – *Advanced Applied Technology Demonstration Facility for Environmental Technology Program (AATDF) of Rice University - 1997*
- U.S. Environmental Protection, “Agency Abstracts of Remediation Case Studies”, Agencies of the Federal Remediation Technologies Roundtable - - 1995
- Hatfield, K.; Burris, D.; Stauffer. T. B.; Ziegler, J. “Theory and experiments on subsurface contaminant sorption systems,” *Journal of Environmental Engineering*, 118:322-337, 1992.
- Downey, D. C.; Elliott, M.G., “Performance of selected in situ soil decontamination technologies: an Air Force perspective,” *Environmental Progress*, 9:169-173, 1990.
- Chad T. Jafvert, “Surfactants/Cosolvents” ,Ground-Water Remediation Technologies Analysis Center, Purdue University – 1996

**Em anexo:** fotos do processo de bioremediação



FIGURA 1 – Acidente na SE BSA



FIGURA 2 – Ruptura do Tanque



FIGURA 3 – Detalhe do derramamento de óleo no solo



FIGURA 4 – Rescaldo



FIGURA 5 – Tratamento do resíduo sólido

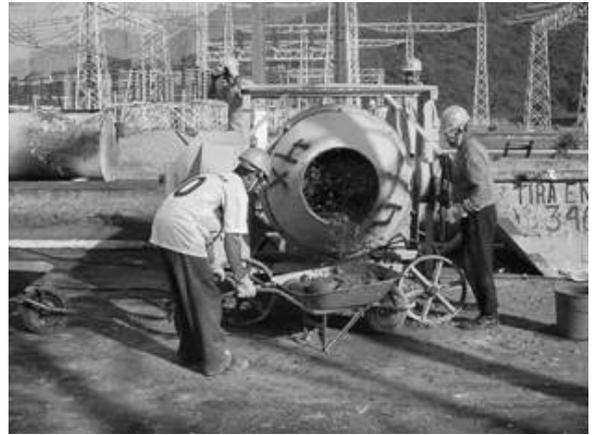


FIGURA 6 – Homogeneização do Resíduo



FIGURA 7 – Tratamento do solo



FIGURA 8 – Tratamento dos efluentes líquidos



FIGURA 9 – Descascamento da parede corta-fogo



FIGURA 10 – Reincorporação do material tratado



FIGURA 11 – Reincorporação do material - detalhe



FIGURA 12 – Instalação da rede de injeção



FIGURAS 13 e 14 – Aspecto da brita recém incorporada



FIGURA 15 – Aspecto final da área recuperada