



**XXII SNPTee  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GIA/26  
13 a 16 de Outubro de 2013  
Brasília - DF

**GRUPO - XI**

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

**O USO DOS PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS PARA A REABILITAÇÃO DE SOLOS/ÁREAS  
CONTAMINADAS POR ÓLEO MINERAL ISOLANTE**

**Dr. Flávio da Costa Santos\***  
**Cemig Distribuição S. A.**

Autor 1 - bay@cemig.com.br

**Dr. Luiz Nishiyama**  
**UFU – Universidade Federal de  
Uberlândia**

Autor 2 - nishi@ufu.br

**Dr. Luiz Alfredo Pavanin**  
**UFU – Universidade Federal  
de Uberlândia**

Autor 3 - pavanin@ufu.br

**Dr. Guilherme Garcia da  
Silveira**  
**UFU – Universidade Federal de  
Uberlândia**

Autor 4 - guilhermes@yahoo.com

**Nathalia Santos Andrade**  
**UFU – Universidade Federal de  
Uberlândia**

Autor 5 -  
nathisandrade01@hotmail.com

**RESUMO**

Este trabalho apresenta os experimentos realizados de mineralização dos resíduos oleosos por meio dos processos oxidativos avançados utilizando-se o peróxido de magnésio como meio oxidante. O experimento foi realizado no Laboratório de Química da Universidade Federal de Uberlândia durante seis meses. Aos resíduos oleosos, sejam de terra ou de serragem, foram adicionados diferentes percentuais do peróxido, montados em 8 colunas de vidro com a seguinte composição:

- Coluna 01 – 50 % resíduos solo com óleo + 50% de composto (húmus); + 20% solução de peróxido Mg;
- Coluna 02 – 30 % resíduos solo com óleo + 70% composto (húmus); + 20% solução de peróxido Mg;
- Coluna 03 – 50 % resíduos serragem com óleo + 50% composto (húmus); + 20% solução de peróxido Mg;
- Coluna 04 – 100 % resíduos solo com óleo; + 20% solução de peróxido Mg;
- Coluna 05 – 100 % resíduos solo com óleo; + 10% solução de peróxido Mg;
- Coluna 06 – 100 % resíduos solo com óleo; + 05% solução de peróxido Mg;
- Coluna 07 – 100 % resíduos serragem com óleo; + 05% solução de peróxido Mg;
- Coluna 08 – 70 % resíduo solo com óleo + 30% composto (húmus); + 05% solução de peróxido Mg;

Em seis meses de oxidação, sem revolvimento dos resíduos, observou-se um declínio acentuado na quantidade de óleo presente em todas as oito (8) colunas com e sem a introdução do húmus nas amostras, conforme demonstrado abaixo:

<b>COLUNAS</b>	<b>REDUÇÃO NO PERCENTUAL DE ÓLEO NAS AMOSTRAS DE SOLO</b>
Coluna 1	Redução da ordem de 99,63%
Coluna 2	Redução da ordem de 99,85%
Coluna 3	Redução da ordem de 99,59%
Coluna 4	Redução da ordem de 99,63%
Coluna 5	Redução da ordem de 99,33%
Coluna 6	Redução da ordem de 99,63%
Coluna 7	Redução da ordem de 99,73%
Coluna 8	Redução da ordem de 99,55%

\* Endereço Responsável: Av. Cel. José Teófilo Carneiro, 2.777 – Setor Industrial – Uberlândia-MG – CEP- 38401-344  
Tel. (34) 3088.4531 / Fax: (34) 3088.4665 - e-mail: [bay@cemig.com.br](mailto:bay@cemig.com.br)

**PALAVRAS-CHAVE:**

Área Contaminada; Óleo Mineral Isolante; Peróxido de magnésio, Resíduos; Solos contaminados.

**1. INTRODUÇÃO****1.1. Objetivos**

Este artigo teve por objetivo demonstrar o uso de processos oxidativos avançados para a remediação dos solos contaminados por óleo mineral isolante mediante a aplicação da solução de peróxido de magnésio em estudo de bancada.

**1.2. Uso dos Processos Oxidativos Avançados (POA) combinado à Remediação Natural sobre a Sorção e a Qualidade do Solo**

Quando acontece um vazamento de uma substância ou um produto no solo há a interação com a matéria orgânica presente no mesmo. Essa interação pode ocorrer por meio de: forças atrativas de Van der Waals; transferência de cargas que podem ser ligações "pi" ou ligações de hidrogênio (interações íon-dipolo ou dipolo-dipolo); forças eletrostáticas; forças hidrofóbicas; etc.

As interações das substâncias húmicas com compostos de hidrocarbonetos aromáticos relacionam-se com efeito de adsorção e efeitos solubilizantes, hidrólises, processos microbiológicos e fotossensibilizantes. De acordo com Toscano (1999) o material húmico promove a solubilização de compostos orgânicos, o qual pode desempenhar importante função na mobilidade, dispersão e transporte desses produtos.

Nos últimos anos os POA têm se destacado como uma tecnologia alternativa ao tratamento de várias matrizes ambientais, pois se baseiam na degradação molecular dos compostos de carbono. Nesse processo não há a remoção do material orgânico tóxico, mas a sua transformação através de reações químicas de oxidação-redução. A grande vantagem desses processos reside no fato de ser um tipo de tratamento destrutivo/transformativo das moléculas de carbono, ou seja, o contaminante não é simplesmente transferido de fase como na separação com carvão ativo, filtração, injeção de vapor e dessorção térmica, mas sim, degradados através de uma série de reações químicas (HIGARASHI, et al., 2000). Segundo Pandiyan (2002), esta série de reações químicas que podem ser resumidas na equação abaixo:

Poluentes orgânicos + O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O

Segundo Silva (2007), moléculas orgânicas altamente hidrofóbicas, a exemplo dos hidrocarbonetos de petróleo, podem ser sorvidos em ácidos húmicos e fúlvicos, polissacarídeos e uma variedade de moléculas presentes no solo. Há vários fatores que influem na sorção de substâncias orgânicas dispostas nos solos, pois os contaminantes de mesma natureza tem grande afinidade pela matéria orgânica. De modo que a sorção geralmente aumenta na medida em que aumenta o conteúdo de matéria orgânica do solo. Dois fatores que parece influir decisivamente na capacidade de sorção de compostos orgânicos pelo solo é a quantidade de fração argila que o solo contém e a idade da contaminação. Os solos contaminados por muito tempo apresentam dificuldades de serem descontaminados devido à baixa difusão por partes dos contaminantes pela matéria orgânica que proporciona a "prisão" do contaminante nos pequenos poros do mesmo (ENNEL et al., 2005). Outra vantagem deste processo é que os produtos finais da oxidação são espécies inócuas ao ambiente, tais como CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e íons de hidrogênio provenientes dos heteroátomos. Esses processos de tratamento são considerados como métodos promissores para a remediação de solos contaminados e águas residuárias contendo poluentes orgânicos não-biodegradáveis (RODRIGUEZ, 2003).

Os POA constituem-se em uma tecnologia não térmica, em base aquosa, sob pressão atmosférica, que vem sendo desenvolvida para transformar ou mineralizar contaminantes orgânicos ou misturas de contaminantes altamente perigosos. Os benefícios da descontaminação de solos através dos POA vêm sendo demonstrados em publicações científicas e periódicos. Muito embora o processo de oxidação química fosse de conhecimento sua aplicabilidade aos problemas de solos contaminados se faz recente.

**2. DESENVOLVIMENTO E METODOLOGIA APLICADA****2.1. Metodologia Utilizada na Pesquisa**

A metodologia do experimento baseou-se mineralização dos resíduos oleosos por meio dos processos oxidativos avançados utilizando-se o peróxido de magnésio como meio oxidante. O experimento foi realizado no Laboratório de Química da Universidade Federal de Uberlândia. Aos resíduos oleosos, sejam de terra ou de serragem, foram adicionados diferentes percentuais do peróxido, montados em 10 colunas de vidro com a seguinte composição na Tabela 2:

**Tabela 2** – Peso das colunas de vidro e peso total das colunas com os respectivos percentuais de amostras de solo e de solução de peróxido de magnésio.

Colunas	Peso Seco (gramas)	Peso Total (gramas)	Conteúdo Coluna
01	1.360,00	5.100,00	50 % resíduos solo com óleo + 50% de composto (húmus); + solução de 20% peróxido Mg.
02	1.350,00	4.250,00	30 % resíduos solo com óleo + 70% composto (húmus); + solução de

			20% peróxido Mg
03	1.310,00	3.170,00	50 % resíduos serragem com óleo + 50% composto (húmus); + solução de 20% peróxido Mg
04	1.310,00	5.750,00	100 % resíduos solo com óleo; + solução de 20% peróxido Mg
05	1.300,00	5.850,00	100 % resíduos solo com óleo; + solução de 10% peróxido Mg
06	1.310,00	5.950,00	100 % resíduos solo com óleo; + solução de 05% peróxido Mg
07	1.350,00	2.650,00	100 % resíduos serragem com óleo; + solução de 05% peróxido Mg
08	1.310,00	5.500,00	70 % resíduo solo com óleo + 30% composto (húmus); + solução de 05% peróxido Mg.
09	100,00	1.000,00	Branco da amostra – resíduo serragem
10	100,00	1.000,00	Branco da amostra – resíduo terra

## 2.2. Definição do Parâmetro Químico de Controle

O parâmetro químico quantificador do processo de degradação do óleo mineral no solo foi definido como “óleos e graxas”. A técnica é relativamente simples de ser executada e se mostrou adequada como controle de degradação dos contaminantes no solo. A extração foi feita pelo método de Soxhlet. Amostras úmidas do material foram secas a temperatura ambiente, e pesada em balança analítica marca Scientech, modelo SA210, precisão 0,0001g.

Foi utilizado o solvente n-hexano previamente purificado para a extração do material oleoso presente nas amostras. O material oleoso extraído foi mantido sobre a manta de aquecimento. O tempo de extração foi de 6 horas. O balão foi seco em estufa a uma temperatura de 105°C. Em seguida o balão foi colocado em um dessecador, sendo realizadas pesagens até se obter peso constante.

O mesmo procedimento foi feito para uma amostra de solo sem indícios de contaminação por material oleoso (branco). Ambos os procedimentos foram realizados em duplicatas, sendo os valores apresentados médias dos obtidos em cada procedimento.

## 2.3. Processo Oxidativo utilizando o Peróxido de Magnésio ( $Mg O_2$ )

O experimento realizado para a mineralização dos resíduos oleosos foi conduzido por meio dos processos oxidativos avançados utilizando-se o peróxido de magnésio como meio oxidante. Ele foi realizado no Laboratório do Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), conforme Figura 1. Aos resíduos oleosos foram acrescentados húmus e material semi compostado, em diferentes percentuais, os quais foram revolidos em caixa de madeira.



**Figura 1** – Observação e pesagem dos resíduos oleosos para o preenchimento das colunas de vidro.

O revolvimento dos resíduos teve como objetivo homogeneizar a amostra, a qual posteriormente foi introduzida nas colunas de vidro para a realização do experimento. Após a realização da homogeneização dos resíduos, as colunas foram preenchidas com os resíduos, conforme Figura 2.

Em cada uma das colunas – 01 a 08 – foram aplicadas doses únicas de peróxido de magnésio, na quantidade de 0,5 litros de solução em cada coluna, variando a concentração, consoante Figura 3.



**Figura 2** – Preenchimento das colunas com resíduo oleoso em diferentes proporções na mistura com húmus e composto orgânico.



**Figura 3** – Solução de peróxido de magnésio na concentração de 5%, sendo acrescida à massa dos resíduos na coluna 07.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Resultados Obtidos com a Oxidação dos Resíduos de Óleo Mineral Isolante pelo Uso do Peróxido de Magnésio

Como a adição de massa de peróxido de magnésio no composto foi realizada em uma única etapa, no início do experimento, e em igual quantidade nas colunas do experimento, a mesma não foi levada em consideração para o cálculo final da massa de cada coluna do experimento.

Como observado anteriormente em outros experimentos a variação da temperatura influencia e demonstra o grau de oxidação na massa dos resíduos. Quanto maior a temperatura na massa de resíduos, maior a influência na multiplicação dos microorganismos e auxílio à degradação dos resíduos de óleo, conforme medições realizadas três (3) dias após o início dos experimentos.

Como nas colunas do experimento houve a introdução do peróxido de magnésio, avistou - se uma liberação gradativa de oxigênio nas mesmas. Liberação essa, que potencializa a degradação no óleo presente nas amostras.

Avaliando o comportamento dos resíduos presentes nas colunas, pós-introdução do peróxido de magnésio, se observou vários canais que foram formados na massa do composto pela liberação de oxigênio no mesmo.



A partir do segundo para o terceiro mês de experimento, observou-se em quase todas as colunas, a formação e presença de efluentes de água e óleo. Para que não houvesse alteração nos resultados obtidos o efluente de água e óleo, gerado em cada coluna, foi novamente introduzido em seu respectivo local de origem, conforme Figura 43. Cada coluna apresentou uma coloração específica para os efluentes, ora mais clara, ora mais escura. Para que não houvesse alteração nos resultados obtidos o efluente de água e óleo, gerado em cada coluna, foi novamente introduzido em seu respectivo local de origem, conforme Figura 4. Cada coluna apresentou uma coloração específica para os efluentes, ora mais clara, ora mais escura.



**Figura 4** – Coloração mais clara do efluente de água e óleo gerado a partir dos resíduos da coluna 01.

Nesses mesmos canais formados pela liberação de oxigênio e introdução da solução, foram identificadas presenças de fungos filamentosos que ali estavam se estabelecendo, consoante Figura 5.



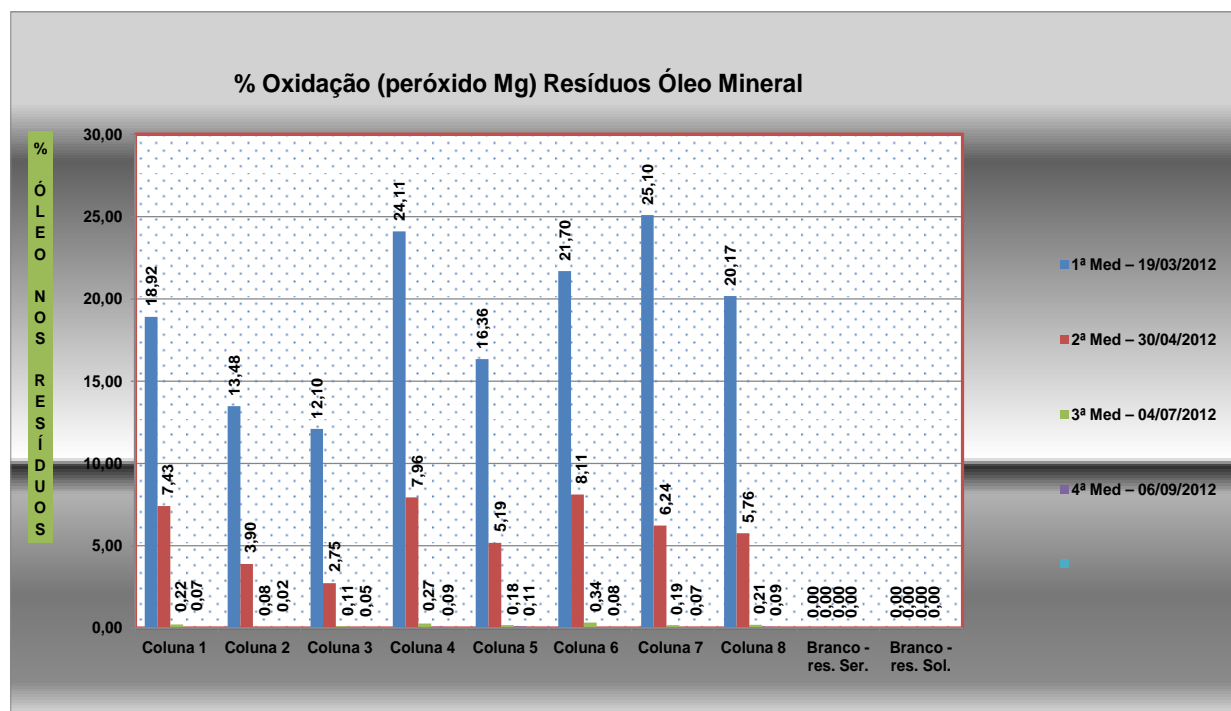
**Figura 5** – Formação de canais nas colunas de vidro, devido a liberação de oxigênio, com início de formação de fungos.

Com frequência quase que mensal, foi realizada análises do percentual de óleo presentes em cada coluna, antes e posterior à aplicação do peróxido de magnésio para saber a evolução do experimento e degradação/mineralização do óleo. Com seis (6) meses de oxidação, sem revolvimento dos resíduos, observou-se um declínio acentuado em todas as oito (8) colunas no percentual de óleo com e sem a introdução do húmus, conforme Tabela 3 e Gráfico 1.

<b>COLUNAS</b>	<b>RESULTADOS OBTIDOS</b>
Coluna 1	Redução de 18,92% para 0,07%, ou seja, redução da ordem de 99,63% na quantidade de óleo presente na amostra.
Coluna 2	Redução de 13,48% para 0,02%, ou seja, redução da ordem de 99,85% na quantidade de óleo presente na amostra.
Coluna 3	Redução de 12,10% para 0,05%, ou seja, redução da ordem de 99,59% na quantidade de óleo

	presente na amostra.
Coluna 4	Redução de 24,11% para 0,09%, ou seja, redução da ordem de 99,63% na quantidade de óleo presente na amostra.
Coluna 5	Redução de 16,36% para 0,11%, ou seja, redução da ordem de 99,33% na quantidade de óleo presente na amostra.
Coluna 6	Redução de 21,70% para 0,08%, ou seja, redução da ordem de 99,63% na quantidade de óleo presente na amostra.
Coluna 7	Redução de 25,10% para 0,069%, ou seja, redução da ordem de 99,73% na quantidade de óleo presente na amostra.
Coluna 8	Redução de 20,17% para 0,09%, ou seja, redução da ordem de 99,55% na quantidade de óleo presente na amostra.

**Tabela 3** – Resultados obtidos com a degradação do óleo mineral isolante com a oxidação por peróxido de magnésio.



**Gráfico 1** – Resultados obtidos com a degradação do óleo mineral isolante com a oxidação por peróxido de magnésio.

#### 4. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados são animadores para a mineralização de solos contaminados com óleo mineral isolante. Referidos solos foram tratados e descontaminados a partir de adição de diferentes percentuais do peróxido. Vários experimentos em colunas de vidro foram montados.

Em seis meses de oxidação, sem revolvimento dos resíduos, observou-se um declínio acentuado na quantidade de óleo presente em todas as oito (8) colunas com e sem a introdução do húmus nas amostras, conforme demonstrado abaixo:

COLUNAS	REDUÇÃO NO PERCENTUAL DE ÓLEO NAS AMOSTRAS DE SOLO
Coluna 1	Redução da ordem de 99,63%
Coluna 2	Redução da ordem de 99,85%
Coluna 3	Redução da ordem de 99,59%
Coluna 4	Redução da ordem de 99,63%
Coluna 5	Redução da ordem de 99,33%
Coluna 6	Redução da ordem de 99,63%
Coluna 7	Redução da ordem de 99,73%
Coluna 8	Redução da ordem de 99,55%

Mesmo em percentual baixo de 5% o peróxido de magnésio se mostrou bastante eficiente na liberação de oxigênio e auxílio na quebra dos compostos orgânicos. A partir do terceiro mês de experimentos o material já havia se transformado em solos sem periculosidade.

Dessa forma, abre-se a possibilidade de que se possa ampliar os estudos para níveis operacionais para dar maiores subsídios ao setor elétrico na redução dos impactos ambientais oriundos do óleo mineral isolante.

## 5. REFERÊNCIAS

1. ENELL, A.; REICHENBERG, F.; EWALD, G.; WARFVINGE, P.. Desorption Kinetics studies on PAH-contaminated soil under varying temperatures. *Chemosphere*, 2005. 61(10), 1529-1538.
2. HIGARASHI, M. M.; MOREIRA, J. C.; OLIVEIRA, A. S.; FERREIRA, L. F. V. A utilização de processos oxidativos avançados na descontaminação do meio ambiente. *Química*, v.79, n.16, 2000.
3. PANDIYAN, T.; RIVAS, O. M; MARTINEZ. J. O. ; AMEZCUA, G. G; MARTINEZ-CARRILHO, M. A. (2002). Comparison of Methods for the Photochemical Degradation of Chlorophenols. *Journal of Photochemistry and Photobiology. A: Chemistry*, 146 (3), 149-155.
4. RODRIGUEZ, M. Fenton and UV-vis based advanced oxidation processes in wastewater treatment: Degradation, mineralization and biodegradability enhancement., 2003 Tesis (Doctorado) – Universitat de Barcelona, Facultat de Química, Barcelona.
5. SILVA, Paula Tereza de Souza e. Estudo dos processos oxidativos avançados para o tratamento dos solos contaminados por hidrocarbonetos policíclicos aromáticos. Tese de Doutorado em Química Fundamental. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife-PE, 2007.