



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

BR/GIA/25  
13 a 16 de Outubro de 2013  
Brasília - DF

## **GRUPO - XI**

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

#### **A REABILITAÇÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS POR ÓLEO ISOLANTE MINERAL ORIUNDO DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS A PARTIR DA COMPOSTAGEM DOS RESÍDUOS**

**Msc. Flávio da Costa Santos\***

**Cemig Distribuição S. A.**

bay@cemig.com.br

**Dr. Luiz Nishiyama**

**UFU – Universidade Federal de  
Uberlândia**

nishi@ufu.br

**Dr. Luiz Alfredo Pavanin**

**UFU – Universidade Federal  
de Uberlândia**

pavanin@ufu.br

**Dr. Guilherme Garcia da  
Silveira**

**UFU – Universidade Federal de  
Uberlândia**

guilhermes@yahoo.com

**Nathalia Santos Andrade**

**UFU – Universidade Federal de  
Uberlândia**

nathisandrade01@hotmail.com

## **RESUMO**

Este artigo apresenta resultados do uso da técnica de compostagem aplicada à serragem e solos contaminados com óleo mineral isolante. Observou-se que os resíduos oleosos são facilmente misturados aos resíduos de matéria orgânica (húmus), pois ambos apresentam a mesma polaridade química. O experimento foi acompanhado através de medições diárias da temperatura, demonstrados em gráficos. Analisando-se o desempenho do material compostado, obteve-se, em seis (6) meses de compostagem, uma redução de:

Baia 1 - redução de 2,38% para 1.16%, ou seja, redução da ordem de 51,2% na quantidade de óleo presente na amostra;

Baia 2 - redução de 1,62% para 0.50%, ou seja, redução da ordem de 69,1% na quantidade de óleo presente na amostra;

Baia 3 - uma redução de 2,94% para 0.55%, ou seja, redução da ordem de 81,2% na quantidade de óleo presente na amostra;

Baia 4 - não foi observada a redução da quantidade de óleo presente na amostra.

Dessa forma, observando-se os resultados obtidos nas baias: B1, B2 e B3, registra-se um processo intenso de decomposição e ação de microrganismos, o que traduz que a compostagem é uma técnica muito boa e de grande interesse para a mineralização desse contaminante.

## **PALAVRAS-CHAVE:**

Área Contaminada; Hidrocarbonetos; Óleo Mineral Isolante; Resíduos; Solos contaminados.

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1. Objetivos**

---

\* 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)

O presente artigo tem por objetivo demonstrar o estudo, avaliação e a utilização da compostagem como uma técnica para a mineralização, transformação e a descontaminação do resíduo impregnado com óleo mineral isolante. Descontaminação essa, que visa a transformação do resíduo perigoso (classe I) em um material inerte, classe II, com vistas ao seu reuso.

Resíduo este, oriundo de atividades de manutenção e sinistro em equipamentos portadores de óleo mineral isolante da rede elétrica na região do Triângulo Mineiro, no âmbito de atuação da Cemig Distribuição.

Pretende-se ainda, ampliar os conhecimentos sobre o desempenho desta tecnologia obtendo uma avaliação da mesma e verificar, num futuro a possibilidade de seu uso integrado à fitorremediação e aos processos oxidativos avançados, formulando protocolos com recomendações para otimização do tratamento de solos contaminados por óleo mineral isolante em condições edafoclimáticas brasileiras para todo o setor elétrico nacional.

## 1.2. Revisão Literária e Conceituação

A percepção de que o solo seria um receptor infinito de substâncias químicas e a ausência de uma regulação ambiental em todo o mundo, até a década de 70, foram, por longo tempo, os motivadores usados pelas corporações para a disposição inadequada de toneladas de resíduos e efluentes com diferentes potenciais de contaminação do ar, água e solo. Com a evolução da legislação ambiental, acerca dos passivos ambientais, houve o desenvolvimento de competências e limites quando do estabelecimento de valores de referência para a gestão e o gerenciamento de áreas contaminadas. A existência de sítios contaminados seja solo ou água, oriundo de atividades potencialmente contaminantes, pode ser fonte de risco ambiental para a saúde, segurança e bem estar de quem vive em seu entorno. A depender da substância química contaminante, pode haver a percolação para o aquífero subterrâneo e assim, contaminar as fontes de abastecimento de água.

Além do que, poderá haver a geração de gases tóxicos com risco de explosão e/ou incêndio. Uma vez derramado, ocorre imediatamente alterações da composição original do óleo, devido a uma combinação de processos físicos, químicos e biológicos. Esta se inicia imediatamente após o derrame e ocorre a taxas variáveis dependendo do tipo de óleo, do meio contaminado e das condições ambientais. A taxa do processo não é constante, sendo mais efetiva no período imediatamente após o derrame (ROSA, 2006, p. 6-144).

A remediação de solos a partir da utilização de organismos vivos é comumente denominada de remediação natural ou biológica, podendo ser realizada a partir de micro-organismos como fungos e bactérias e/ou de espécies vegetais. Traduz-se em mecanismo responsável pela melhoria da qualidade ambiental. Em geral, é mais difícil trabalhar com contaminantes orgânicos, em razão da diversidade molecular, da complexidade de análise e das constantes transformações a que estão sujeitos, em comparação a contaminantes inorgânicos, da natureza química ou da propriedade do poluente. (PIRES; SOUZA; SILVA; PROCÓPIO; FERREIRA; 2003, p. 336-341). No Quadro 1, citam-se os principais:

**Quadro 1-** Tecnologias utilizadas no tratamento de compostos orgânicos e inorgânicos em solo.

Fonte: Adaptado de Silva (2006).

TECNOLOGIAS	TIPO	PROCESSO	RESUMO	POLUENTE(S)	REFERÊNCIAS
<b>Atenuação Natural</b>	<i>In situ</i>	Biológico	Monitoramento inteligente de parâmetros indicadores de atenuação natural para validar a estabilização ou redução de plumas dissolvidas.	CHC e BTEX e HPA	Guerin, 2002
<b>Biorremediação</b>	<i>In situ</i>	Biológico	Altera as condições bioquímicas naturais do solo para acelerar a degradação por microorganismos, com ou sem estimulação (adição de nutrientes).	CHC e BTEX	Betangur – Galvis et al., 2005; Guerin, 1999
<b>Bioventilação</b>	<i>In situ</i>	Biológico	Baseia-se no estímulo da degradação <i>in situ</i> de qualquer composto degradável aerobicamente. O oxigênio fornecido através da injeção direta de ar acelera a remoção de compostos orgânicos. Observam-se as características físicas do solo e a profundidade da zona contaminada.	Solventes não clorados; hidrocarbonetos; conservantes de madeira; pesticidas.	Moreira, 2002; Costa, 2007
<b>Bombagem</b>	<i>In situ</i> <i>Ex situ</i>	Físico	Objetiva a remoção da água subterrânea contaminada para unidades de tratamento (filtração, reações químicas) conduzindo à eliminação das águas contaminadas do aquífero.	Água contaminada	Costa, 2007
<b>Dessorção Térmica</b>	<i>Ex situ</i>	Térmico	Materiais escavados são incinerados para extração de compostos orgânicos voláteis e semi-voláteis.	HPA, PCB e pesticidas	Pinã et al., 2002; Anthony & Wang, 2006
<b>Destruição por Reação Química</b>	<i>In situ</i>	Químico (oxidação, redução e dechlorinação)	Adição de reagentes químicos no meio que vão interagir com os elementos menos tóxicos, alterando a mobilidade dos elementos poluentes permitindo a sua imobilização ou extração.	HPA, PCB e pesticidas	Costa, 2007
<b>Escavação e Remoção</b>	<i>Ex situ</i>	Físico, Químico e Biológico	Escavação e remoção do solo e a sua inserção em locais apropriados, conforme o grau de contaminação, para tratamento.	Orgânicos e inorgânicos	Costa, 2007
<b>Extração do Vapor</b>	<i>In situ</i> <i>Ex situ</i>	Químico / Físico	Consiste na injeção de uma corrente de ar, através do solo de modo que os contaminantes sejam transferidos para o ar. Há a instalação de poços de extração de vapor ou tubos perfurados na zona de contaminação,	VOCs combustíveis.	Silva et al., 2005; Costa, 2007.

			com aplicação de vácuo para induzir o movimento dos gases no solo.		
<b>Fitorremediação</b>	<i>In situ</i>	Biológico	Plantas apropriadas são utilizadas para promover a extração/biodegradação de compostos orgânicos e metais do solo.	HPA, pesticidas e metais pesados.	Schwartz et al., 2006; Ouyard et al., 2006; Joner et al., 2006
<b>Imobilização (solos e água)</b>	<i>In situ</i>	Físico	Realiza-se a contenção física do contaminante a partir de membranas geossintéticas, argilas ou introdução de barreiras verticais.	Solo e água contaminado	Costa, 2007
<b>Injeção de Ar</b>	<i>In situ</i>	Físico	Remoção física de contaminantes voláteis e semi-voláteis através de processos de aeração do solo na zona saturada.	CHC, BTEX e HPA	Marley et al., 1992
<b>Landfarming</b>	<i>Ex situ</i>	Físico e Biológico	Os solos contaminados são revolvidos periodicamente para serem arejados e expostos às condições climáticas que, juntos com a atividade biológica para degradar, transformar e imobilizar contaminantes.	Hidrocarbonetos de alto peso molecular (creosotos, PAHs, resíduos de coque, pesticidas.	Costa, 2007
<b>Lavagem/ Lixiviação de solo</b>	<i>In situ/ Ex situ</i>	Físico-químico	Consiste no arrastamento ou transporte das substâncias poluentes através da injeção ou infiltração de água/agentes extrativos apropriados na matriz do solo para a extirpagem e a biodegradação do contaminante. Os contaminantes são arrastados, faz-se a sua bombagem e o tratamento.	Inorgânico, VOCs, SVOCs, CHC e BTEX	Paterson et al., 1999; Ouyang et al., 1996; Simonnot & Croze, 2007.
<b>Separação Eletrocinética</b>	<i>In situ</i>	Químico - eletroquímico e eletrocinético	Promove a desorção e remoção de metais e de compostos orgânicos polares. Aplica-se ao solo uma corrente direta de baixa intensidade mediante a introdução de eletrodos. É um método de extração de contaminantes.	Solos, sedimentos e lamas contaminados com metais pesados e compostos orgânicos polares.	Costa, 2007
<b>Solidificação /Estabilização/ Mobilização</b>	<i>In situ/ Ex situ</i>	Químico / Físico	A partir da introdução de aditivos os contaminantes são fisicamente envolvidos no seio de uma massa estabilizada, promovendo a imobilização do resíduo diminuindo a permeabilidade, toxicidade e mobilidade.	CHC, inorgânicos (metais pesados) e radionuclídeos	Moeri & Salvador, 2003; Barna et al., 2006; Costa, 2007.

### 1.3. Critérios e Valores Orientadores da Qualidade do Solo Quanto à Presença de Substâncias

No Brasil, em âmbito federal, observa-se a referência normativa: Resolução CONAMA nº 420/2009. Nela, constata-se os critérios e valores orientadores da qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrências de atividades antrópicas. Referida resolução, promove a uniformização dos procedimentos a serem adotados pelos órgãos ambientais competentes, em todos os estados e municípios, e fornece também diretrizes com vistas à prevenção e o gerenciamento de áreas contaminadas.

## 2. DESENVOLVIMENTO E METODOLOGIA APLICADA

### 2.1. Experimentos e Resultados Obtidos Sobre a Compostagem dos Resíduos de Óleo Mineral Isolante

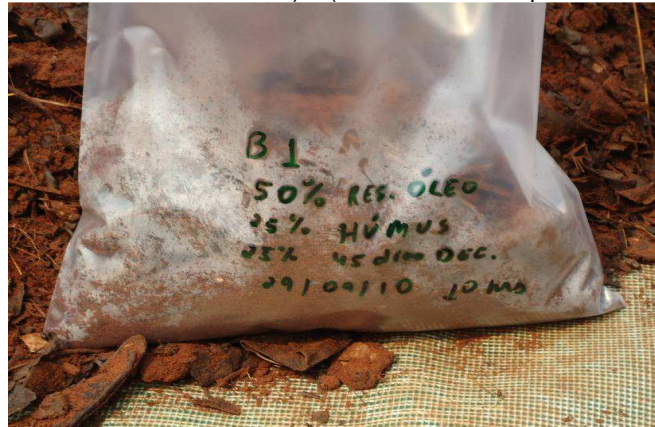
Quando se realiza a compostagem dos resíduos orgânicos putrescíveis promove-se a sua logística reversa, seguindo as regras milenares da natureza, dando um destino ecológico aos resíduos úmidos. Quando se utiliza a compostagem como técnica para mineralização do resíduo impregnado com óleo mineral isolante, propõe-se a descontaminação do mesmo e a obtenção de um material inerte, classe II, com vistas ao seu reuso. Os experimentos de compostagem, ora realizados, fazem uso de resíduos de solo e serragem impregnados de óleo mineral isolante oriundo de diferentes locais. Resíduos esses, urbanos e rurais, da região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba que tem em sua gênese, o vazamento acidental operativo, de transporte ou o de sinistro de equipamentos portadores de óleo mineral utilizados nos sistemas de distribuição de energia elétrica. Nos testes de laboratório e durante a sua mistura observam-se que os resíduos oleosos são facilmente misturados aos resíduos de matéria orgânica (húmus), pois ambos apresentam a mesma polaridade química. Nos estudos de compostagem foram preparadas quatro (4) Baías (B), identificadas com a rotulagem: B1; B2; B3 e B4 para a compostagem das amostras preparadas. Elas, as baías, foram fabricadas em alvenaria e o seu piso foi recoberto por uma lona plástica para evitar percolação de óleo mineral isolante para o solo. Para a preparação do material a ser compostado, também foi utilizada uma lona para impedir a impregnação do óleo no piso. Dessa forma, a mistura foi preparada a partir dos seguintes componentes: resíduos de serragem e terra impregnada com óleo mineral; húmus; resíduos orgânicos em putrefação de origem de área verde e restaurante, com 45 dias de efetiva decomposição (Figura 1).



**Figura 1** – Preparação do resíduo oleoso para a compostagem nos compartimentos: B1, B2, B3 e B4.

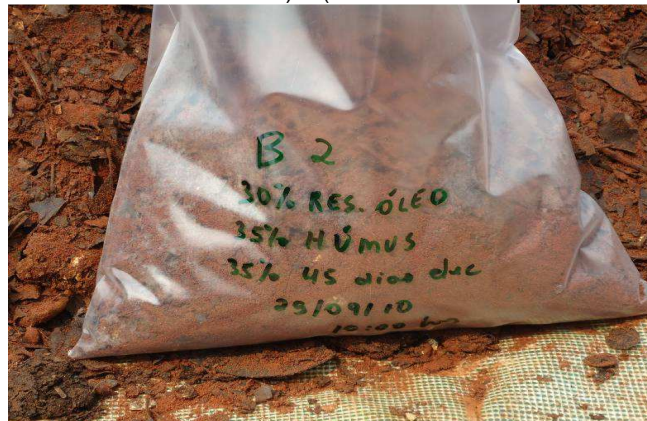
Em cada baia (B), onde foram realizados os experimentos, foram depositados os materiais, já preparados, em quantidade aproximada de duzentos (200) litros, de forma que as misturas apresentassem as seguintes proporções nas respectivas baias:

- **B1** - (50% de resíduos de óleo mineral e terra) + (50 % de resíduos putrescíveis e húmus) (Figura 2);



**Figura 2** – Amostra de resíduos para compostagem preparada com (50% de resíduos de óleo mineral e terra) + (50 % de resíduos putrescíveis e húmus).

- **B2** - (30 % de resíduos de óleo mineral e terra) + (70% de resíduos putrescíveis e húmus) (Figura 3);



**Figura 3** – Amostra de resíduos para compostagem preparada com (30 % de resíduos de óleo mineral e terra) + (70% de resíduos putrescíveis e húmus).

- **B3** - (50% de resíduos de óleo mineral e serragem) + (50% de resíduos putrescíveis e húmus).



- **B4** - 100% resíduos óleo mineral e terra (Figura 4).



**Figura 4** – Preparação e mistura da terra contaminada com óleo mineral isolante para a compostagem.

O material contido nas baias era revolvido duas (2) vezes por semana e também era mantido úmido, a partir da irrigação do composto, sempre que necessário (Figuras: 5 e 6).



**Figuras: 5 e 6** – Revolvimento do material que estava sendo compostado em uma das baias disponíveis para o experimento.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Acompanhamento da Temperatura e Revolvimento dos Resíduos

Diariamente, com exceção dos domingos e feriados, foram realizadas medições das temperaturas dos núcleos nas baias: B1, B2, B3 e B4 em profundidade de 15 a 30 cm da parte externa superior em sentido ao centro da pilha, com o auxílio de um termômetro. A maioria das medições foi realizada no período da manhã, em horários próximos, de uma baia para outra e antes do revolvimento dos resíduos. Nos primeiros vinte (20) dias de compostagem dos resíduos observou-se que, no dia seguinte ao revolvimento, nas Baias: B1, B2 e B3 houve um ligeiro acréscimo de temperatura (Tabela 1). Os resíduos localizados em B4, não apresentaram alteração de temperatura, significativa, após o revolvimento.

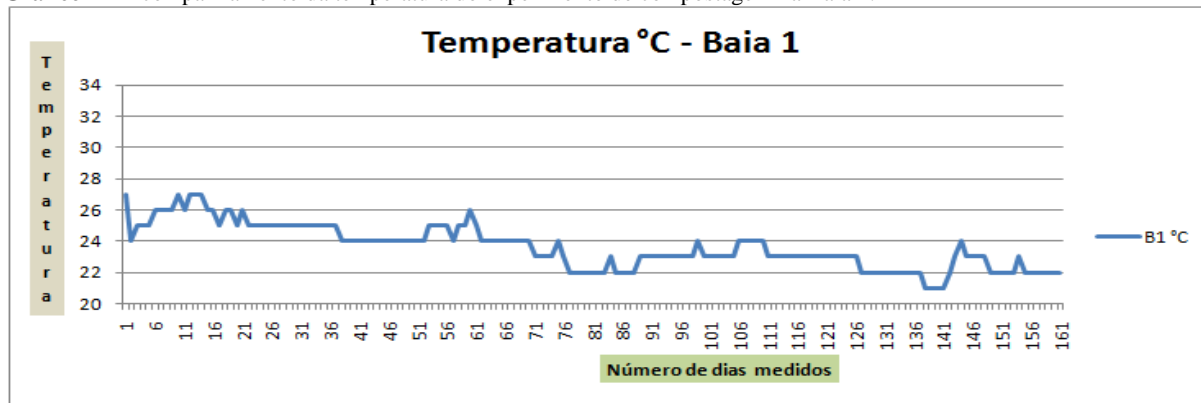
**Tabela 1** – Parte do acompanhamento diário: da temperatura, do tempo e do revolvimento dos resíduos nas baias de compostagem.

Temperat. B 1	Temperat. B 2	Temperat. B 3	Temperat. B 4	Data	Tempo	Revolvim.
27°C – 14:21h	26°C – 14:28h	30°C – 14:32h	24°C – 14:36h	01/10/2010	Sol	Sim
24°C – 07:28h	24°C – 07:32h	28°C – 07:37h	21°C – 07:43h	02/10/2010	Sol	Não
25°C – 10:17h	24°C – 10:22h	24°C – 10:27h	22°C – 10:30h	04/10/2010	Sol	Não
25°C – 07:52h	24°C – 07:58h	25°C – 08:04h	22°C – 08:09h	05/10/2010	Sol	Sim
25°C – 09:42h	26°C – 09:49h	29°C – 09:55h	22°C – 10:01h	06/10/2010	Nubl.	Não
26°C – 09:02h	25°C – 09:07h	28°C – 09:13h	22°C – 09:19h	07/10/2010	Sol	Não
26°C – 07:48h	25°C – 07:53h	27°C – 07:58h	22°C – 08:04h	08/10/2010	Sol	Sim
26°C – 06:30h	27°C – 06:36h	29°C – 06:41h	21°C – 06:46h	09/10/2010	Sol	Não
26°C – 06:51h	27°C – 06:57h	29°C – 07:03h	21°C – 07:09h	11/10/2010	Sol	Sim
27°C – 07:31h	27°C – 07:41h	30°C – 07:47h	21°C – 07:52h	13/10/2010	Sol	Não
26°C – 07:45h	26°C – 07:50h	30°C – 07:55h	22°C – 08:01h	14/10/2010	Sol	Não
27°C – 08:05h	27°C – 08:10h	31°C – 08:16h	23°C – 08:21h	15/10/2010	Nubl.	Sim
27°C – 06:32h	26°C – 06:37h	33°C – 06:42h	22°C – 06:47h	16/10/2010	Nubl.	Não
27°C – 07:44h	26°C – 07:50h	31°C – 07:55h	23°C – 08:00h	18/10/2010	Sol	Sim
26°C – 08:00h	26°C – 08:05h	30°C – 08:10h	23°C – 08:15h	19/10/2010	Nub.	Não

Em linhas gerais, observa-se que as temperaturas nas Baías: B1, B2, B3 e B4 tiveram um decréscimo durante o processo de compostagem nas Baías de compostagem (Gráficos: 1, 2, 3, 4 e 5). Esta variação de temperatura ocorrida demonstra uma intensa ação de microrganismos ocorrendo para decompor e mineralizar a massa compostada.

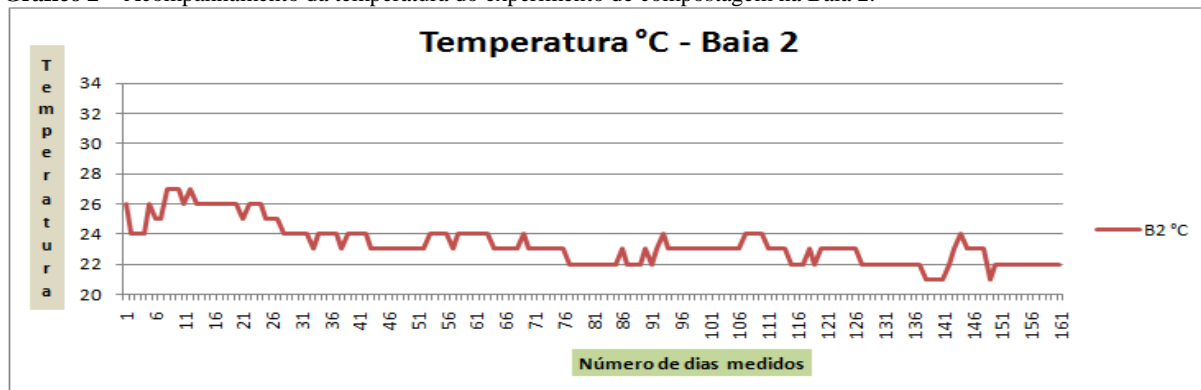
Na Baía 1, com 50% de resíduos de óleo mineral e terra mais 50 % de resíduos putrescíveis e húmus, a temperatura medida em graus Celsius que se inicia em 27°C, passa por oscilações durante o passar do tempo e declina para 21°C ao final do experimento.

**Gráfico 1** – Acompanhamento da temperatura do experimento de compostagem na Baía 1.



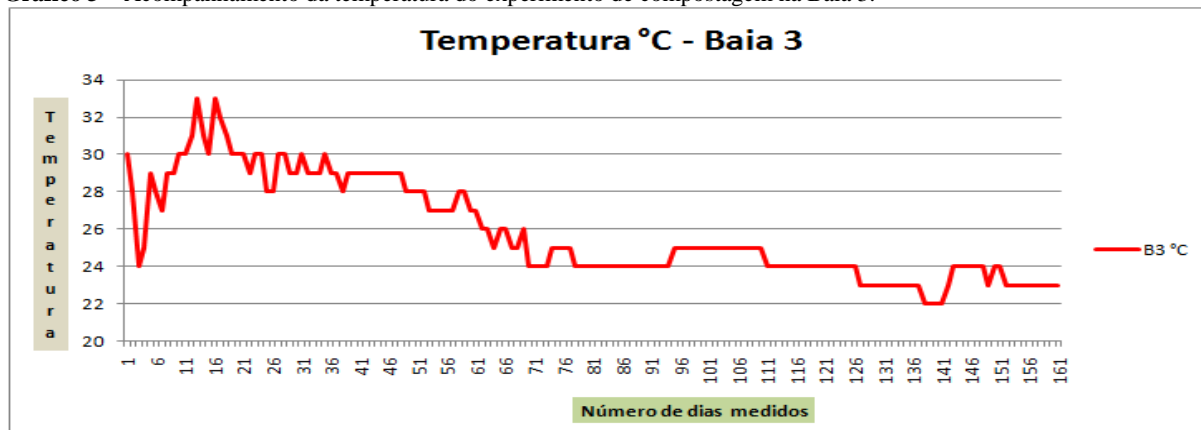
Na Baía 2, com 30 % de resíduos de óleo mineral e terra mais 70% de resíduos putrescíveis e húmus, a temperatura medida tem início com 26°C, se abaixa na primeira semana e logo em seguida se eleva dentro dos primeiros quinze (15) dias. Com o passar do tempo ela se declina para 21°C, ao final do experimento. Em comparação às variações de temperatura demonstradas no Gráfico referente à Baía 1, nota-se muita semelhança no movimento oscilatório da linha de tendência e também nos níveis máximos e mínimos de temperatura.

**Gráfico 2** – Acompanhamento da temperatura do experimento de compostagem na Baía 2.



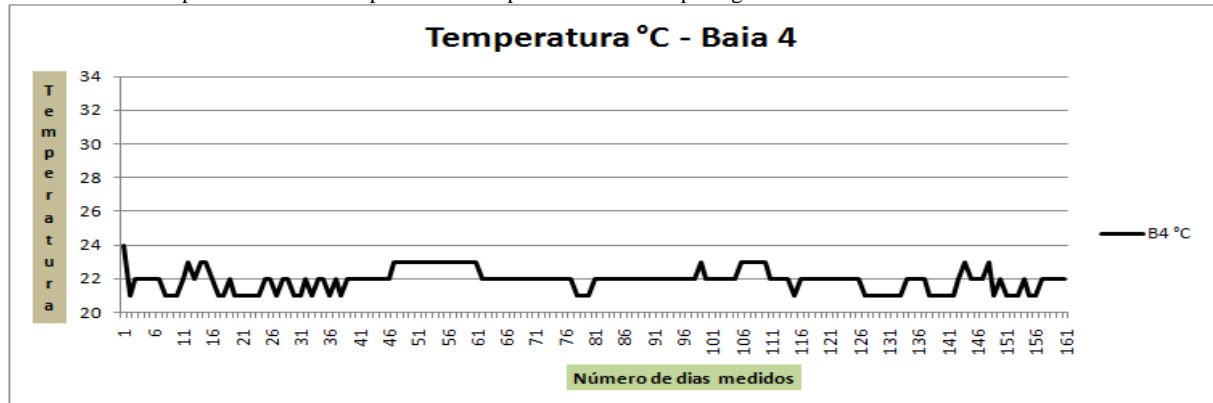
Na Baía 3, com 50% de resíduos de óleo mineral e serragem mais 50% de resíduos putrescíveis e húmus, a temperatura inicial medida tem seu valor apurado em 30°C, a maior temperatura apontada em todas as quatro (4) baías. Na primeira semana nota-se uma queda abrupta da temperatura, vindo-se a elevar nos primeiros quinze (15) dias. Com o passar do tempo há o declínio para 22°C ao final do experimento.

**Gráfico 3** – Acompanhamento da temperatura do experimento de compostagem na Baía 3.



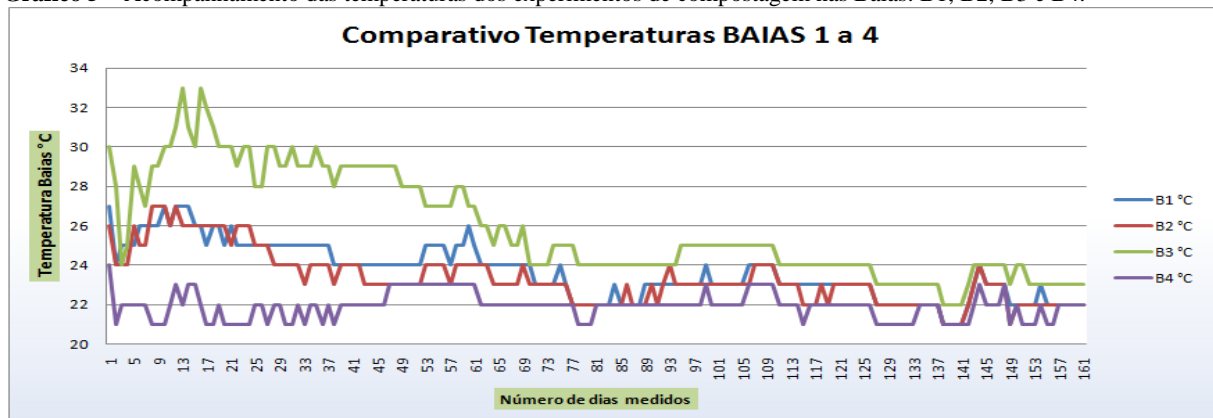
Na Baía 4, com toda a massa de resíduos composta por 100% resíduos óleo mineral e terra a temperatura não passa por variações bruscas. A temperatura inicial medida tem seu valor apurado em 24°C, sendo a menor temperatura apontada dentre todas as quatro (4) baias. Na primeira semana de compostagem observou-se uma ligeira queda da temperatura na massa do composto, o que corrobora e se alinha com os mesmos fatos que se observam nas baias: B1, B2 e B3. Entretanto, de forma oposta ao que aconteceu nas outras baias, e nos primeiros (quinze) 15 dias, a temperatura permaneceu sempre abaixo da temperatura inicial, que na Baía 4 era de 24°C. Com a compostagem em andamento, próximo do seu final, houve o declínio da temperatura para 22°C.

**Gráfico 4** – Acompanhamento da temperatura do experimento de compostagem na Baía 4.



Observou-se uma influência direta do tempo na temperatura monitorada nas baias. Estando o tempo ameno, com chuva ou nublado as temperaturas medidas eram sempre menores. O mesmo ocorria quando de muita insolação, havia um aumento nas mesmas.

**Gráfico 5** – Acompanhamento das temperaturas dos experimentos de compostagem nas Baias: B1, B2, B3 e B4.

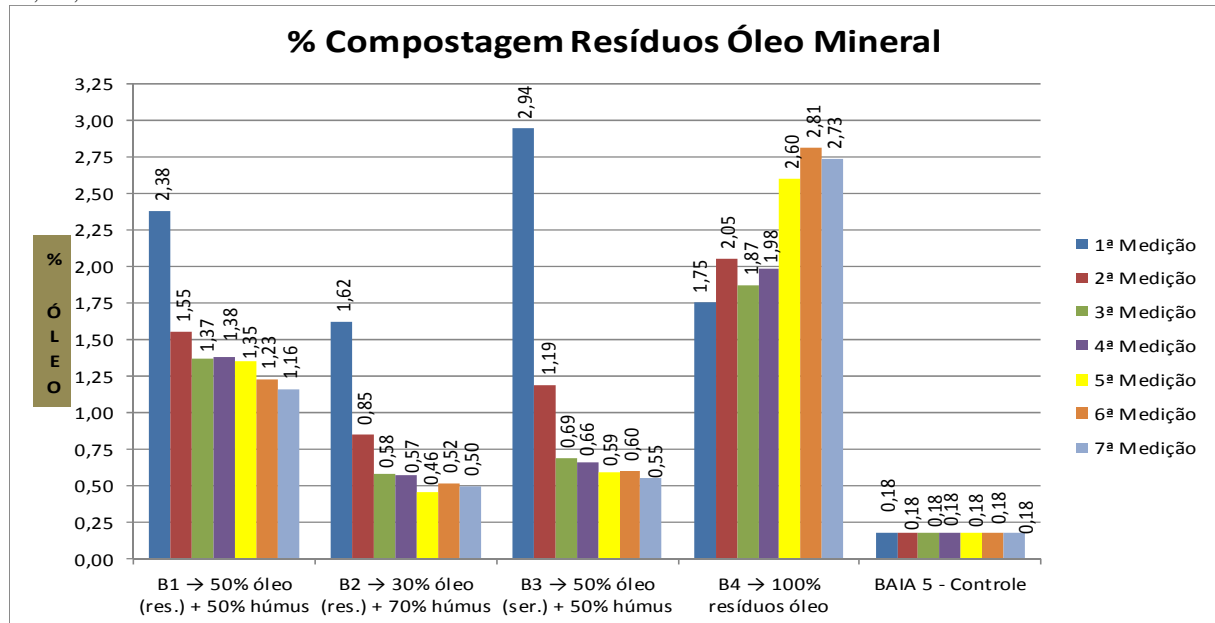


### 3.2. Acompanhamento da Degradação do Óleo Mineral dos Resíduos

Foram coletadas amostras dos resíduos para análise: da quantidade de óleo mineral isolante; das espécies de hidrocarbonetos presentes; da presença e também da respirometria dos microrganismos presentes e para a realização de experimento com processos oxidativos avançados. Foram utilizados os laboratórios da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Campus Santa Mônica e Campus Pontal (Ituiutaba-MG). A parte da qualificação dos hidrocarbonetos foi realizada através do Laboratório Solução Ambiental, na cidade de São Carlos – SP.

No dia 15/10/2010, logo após a medição da temperatura, foram acrescentados dez (10) litros de resíduos orgânicos putrescíveis (com 35 dias de maturação) nas baias: B1, B2 e B3. O acréscimo de material compostável ocorreu para que os microrganismos decompositores fossem estimulados a continuar o seu trabalho, bem como promover o suprimento de alimento para o período futuro de decomposição. Mensalmente, durante os seis meses de pesquisa da compostagem, foram retiradas as amostras das composteiras: Baias: B1, B2, B3 e B4. As amostras foram encaminhadas para o departamento de Química da UFU para análise do teor de óleo. Os resultados amostrados do percentual de óleo são descritos no Gráfico 6. Ainda de acordo com o Gráfico 6, observa-se que há um declínio muito acentuado no percentual de óleo nas baias (B) onde houve a introdução do húmus e do material semi compostado. Destaque é dado à temperatura mais amena durante todo o processo de compostagem na baía quatro (B4) onde não houve a introdução do húmus e nem do material semi compostado. Isso demonstra uma ausência efetiva em maior número de microrganismos na massa do composto e também uma lenta decomposição do óleo, o que se confirma através das análises químicas realizadas nos resíduos com óleo e demonstradas no gráfico comparativo.

**Gráfico 6** – Acompanhamento do percentual de degradação do óleo mineral e óleo vegetal presentes nas amostras das baias: B1, B2, B3 e do óleo mineral da baía B4.



**Baia 1** - analisando-se o desempenho do material compostado na Baia 1 (B1), obteve-se, em seis (6) meses de compostagem, uma redução de 2,38% para 1,16%, ou seja, da ordem de 51,2% na quantidade de óleo presente na amostra, o que demonstra ser uma técnica satisfatória e com boa aceitação para a mineralização desse contaminante.

**Baia 2** - analisando-se o desempenho do material compostado na Baia dois (B2), obteve-se, em seis (6) meses de compostagem, uma redução de 1,62% para 0,50%, ou seja, da ordem de 69,1% na quantidade de óleo presente na amostra, o que demonstra ser uma técnica muito boa e de grande interesse para a mineralização desse contaminante.

**Baia 3** - analisando-se o desempenho do material compostado na Baia três (B3), obteve-se, em seis (6) meses de compostagem, uma redução de 2,94% para 0,55%, ou seja, da ordem de 81,2% na quantidade de óleo presente na amostra, o que demonstra ser uma excelente técnica com boa aceitação e de grande interesse para a mineralização desse contaminante. Dessa forma, registra-se o melhor resultado apurado na realização da compostagem dos resíduos de óleo, dentre as 4 baias: B1, B2, B3 e B4 onde foram realizados os experimentos.

**Baia 4** - analisando-se o desempenho do material compostado na Baia quatro (B4), obteve-se, em seis (6) meses de compostagem, um aumento de 1,75% para 2,73%, ou seja, da ordem de 156% na quantidade de óleo presente na amostra, o que demonstra ser uma técnica, realizada nestes moldes, que não agrega valor e necessita de maiores estudos para a mineralização desse contaminante. Dessa forma, registra-se o pior resultado apurado na realização da compostagem dos resíduos de óleo, dentre as quatro (4) baias: B1, B2, B3 e B4. Depreende-se, que não houve a compostagem dos resíduos, mas a união das moléculas de óleo presentes na amostra. Ressalta-se que na referida baía 4 (B4) não houve a introdução do material compostado (húmus) e nem do material úmido em decomposição.

Observando-se as baias: B1, B2 e B3, onde houveram os melhores resultados obtidos com a compostagem, e comparando-o com a temperatura média alcançada durante o experimento, registra-se um processo muito mais intenso de decomposição e ação de microorganismos dentre as baias participantes do experimento. Em relação à baía B3, um dos fatores que contribuíram para o excelente resultado obtido de 81% de redução do percentual de óleo no resíduo pode ser atribuído à serragem. A serragem, o húmus e o material orgânico putrescível semi compostado, por serem porosos, apresentam partículas com pequenos espaços entre eles, denominados “poros” ou espaços intermoleculares. Referidos espaços conseguem armazenar ar e também o gás oxigênio, o qual é utilizado pelas bactérias aeróbias na digestão e oxidação da matéria orgânica – óleo mineral, óleo vegetal e resíduo orgânico putrescível (Figura 7).



**Figura 7** – Material formado por húmus, resíduos orgânicos putrescíveis semi compostados e terra contaminada com óleo mineral isolante e óleo vegetal.



Pela análise do material compostado, a partir com o uso do microscópio estereoscópico com câmera acoplada, observam-se imagens dos referidos macroporos, que se fazem presentes no húmus e no material semi compostado, localizados nas Baías: B1, B2 e B3 (Figura 8).



**Figura 8** – Macroporos intersticiais observados no material compostado, presentes nas baías: B1, B2 e B3.

Como a compostagem na Baía B4 fez uso somente de terra impregnada com óleo mineral e os espaços intermoleculares nesse material são reduzidos, observa-se a grande ineficiência do processo utilizando somente o referido material na realização da compostagem dos resíduos impregnados com óleo.

#### 4. CONCLUSÃO

A biorremediação, através da compostagem e da fitorremediação, apresentou excelente resultado para o tratamento de solo contaminado por óleo mineral isolante por reduzir a níveis baixos o teor de óleo impregnado no solo e também por apresentar vantagens ambientais e operacionais em relação a outras formas de tratamento ou de disposição.

O uso de 800 kg de resíduos e a separação dos mesmos em quatro (4) Baías (B), identificadas: B1; B2; B3 e B4, entre serragem, solos contaminados e húmus vegetal, em diferentes percentuais foram suficientes para a obtenção de dados robustos durante a realização do experimento. Nos testes de laboratório observou-se que os resíduos oleosos são facilmente misturados aos resíduos de matéria orgânica (húmus), pois ambos apresentam a mesma polaridade química. O experimento foi acompanhado através de medições diárias da temperatura, demonstrados em gráficos. Os resíduos eram mantidos úmidos e foram revolidos duas vezes por semana. Mensalmente e durante seis meses, foram realizadas análises químicas: da quantidade de óleo presente nas amostras de cada Baía; Foram coletadas amostras dos resíduos para análise: da quantidade de óleo mineral isolante; das espécies de hidrocarbonetos presentes e dos microrganismos e também da respirometria presentes nos compostos. As amostras foram analisadas em laboratório.

Nos primeiros vinte (20) dias de compostagem dos resíduos observou-se que, no dia seguinte ao revolvimento, nas Baías: B1, B2 e B3 houve um ligeiro acréscimo de temperatura. Os resíduos localizados em B4, não apresentaram alteração de temperatura, significativa, após o revolvimento.

Os maiores valores de temperatura monitorados foram observados na Baía 3. Já os menores valores, foram observados na Baía 4. Observou-se também que quanto maior a temperatura observada no núcleo do composto maior era atividade microbiana associada.

Os resultados obtidos permitem afirmar que houve um declínio muito acentuado no percentual de óleo nas baías onde houve a introdução do húmus e do material semi compostado. Analisando-se o desempenho do material compostado, obteve-se, em seis (6) meses de compostagem, uma redução de:

- **Baía 1** - redução de 2,38% para 1.16%, ou seja, redução da ordem de 51,2% na quantidade de óleo presente na amostra;
- **Baía 2** - redução de 1,62% para 0.50%, ou seja, redução da ordem de 69,1% na quantidade de óleo presente na amostra ;
- **Baía 3** - uma redução de 2,94% para 0.55%, ou seja, redução da ordem de 81,2% na quantidade de óleo presente na amostra;

Na **Baía 4** não foi observada a redução da quantidade de óleo presente na amostra.

Dessa forma, observando-se os resultados obtidos nas baías: B1, B2 e B3, registra-se um processo intenso de decomposição e ação de microorganismos, o que traduz que a compostagem é uma técnica muito boa e de grande interesse para a mineralização desse contaminante.

#### 5. REFERÊNCIAS

1. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA 2009. Resolução Conama nº. 420. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Disponível em:< [www.mma.conama.gov.br/conama](http://www.mma.conama.gov.br/conama)>. Acesso em 30/10/2011.
2. PIRES, F. R.; SOUZA, C.M.; SILVA, A. A.; PROCÓPIO, S. O. e FERREIRA, L. R. Fitorremediação de Solos Contaminados com Herbicidas. Revista Planta Daninha, Viçosa-MG, v.21, n.2, p.335-341, 2003.
3. ROSA, Giselle Smocking. Avaliação do potencial de espécies vegetais na fitorremediação de solos contaminados por Petróleo. 2006. 144 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, Rio de Janeiro, 2006.