



**XXI SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

GRUPO -GIA

GRUPO DE ESTUDO DE IMPACTOS AMBIENTAIS - GIA

O USO DA FITORREMEDIAÇÃO NA DESCONTAMINAÇÃO DE SOLOS IMPREGNADOS POR ÓLEO MINERAL ISOLANTE (HIDROCARBONETOS)

Msc. Flávio da Costa Santos (*)
Cemig Distribuição S. A.

Dr. Luiz Nishiyama
UFU
Carlos Eduardo Lopes Freitas
UFU

Dr. Luiz Alfredo Pavanin
UFU

RESUMO

Apresentam-se resultados da fitorremediação aplicada a solos contaminados com óleo mineral isolante. Utilizaram-se cultivadores com as espécies vegetais: girassol; milheto; grama batatais; mamona; braquiária; feijão guandu; soja e sorgo. A água utilizada na irrigação era isenta de cloro e flúor. Foram medidas o crescimento e o teor de óleo no solo durante: plantio/semearura; 8ª, 16ª e 24ª semanas, em duas profundidades distintas: 0 a 15 cm e 15 a 25 cm. Os resultados apontam que alguns vegetais utilizados conseguiram reduzir em até 70% o teor de óleo presente no solo contaminado se mostrando de grande potencial para fitorremediação.

PALAVRAS-CHAVE

Cultivadores, Fitorremediação, Hidrocarbonetos, Solos contaminados, Óleo Mineral Isolante

1.0 - INTRODUÇÃO

1.1 Objetivos

O presente artigo tem por objetivo o estudo, avaliação e a utilização de espécies vegetais para a remediação, tratamento e a descontaminação de solos impregnados com óleo mineral isolante por meio da utilização da fitorremediação. 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 biorremediação 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

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. A Fitorremediação é um

(*) Av. Cel. José Teófilo Carneiro nº 2.777 – Setor Industrial – Uberlândia-MG – CEP- 38401-344
Tel: (34) 3088.4531 / Fax: (34) 3088.4665 - e-mail: bay@cemig.com.br

processo natural que utiliza plantas (herbáceas, arbustivas e arbóreas) para mitigar, reduzir e até eliminar poluentes no ar, na água e no solo. A biodiversidade das plantas permite um amplo espectro de ação sobre uma grande variedade de contaminantes. A palavra *phytoremediation* é empregada para denominar a tecnologia em vários países de língua inglesa e tem como sinônimos os termos: *botanical-bioremediation* e *green-remediation*, sendo denominada como o uso de plantas e seus microorganismos associados para o tratamento de solo, água ou ar contaminado. Considera-se ainda, uma tecnologia emergente com potencial para tratamento eficaz de uma larga escala de poluentes orgânicos e inorgânicos (ANDRADE, TAVARES, MAHLER, 2007, p. 14-176). Na língua portuguesa, a palavra é grafada como fitorremediação. Ela é uma alternativa aos métodos convencionais de bombeamento e tratamento da água, ou remoção física da camada contaminada de solo, sendo vantajosa principalmente por apresentar potencial para tratamento *in situ* e ser economicamente viável. Além disso, após extrair o contaminante do solo, a planta armazena-o para tratamento subsequente, quando necessário, ou mesmo metaboliza-o, podendo, em alguns casos, transformá-lo em produtos menos tóxicos ou mesmo inócuos.

A zona radicular das plantas apresenta a capacidade de biotransformar moléculas orgânicas exógenas. A rizosfera, como é denominada esta zona, tem sua importante função de utilizar moléculas poluentes como fonte de nutrientes para os diversos microrganismos que coabitam nesta região. A fitorremediação envolve o emprego de plantas, sua microbiota associada e de amenizantes (corretivos, fertilizantes, matéria orgânica etc.) do solo, além de práticas agronômicas que, se aplicadas em conjunto, removem, imobilizam ou tornam os contaminantes inofensivos ao ecossistema.

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 (PIRES; SOUZA; SILVA; PROCÓPIO; FERREIRA; 2003, p. 336-341).

As plantas diferem entre si quanto à capacidade de absorção de nutrientes dos solos, que por sua vez, diferem entre si na disponibilização de nutrientes para as plantas. Na condução de análise de amostra de solo deve-se ter atenção e cautela, uma vez que a amostragem pode ocorrer em uma parte do solo e a planta estar utilizando outra parte que apresenta um teor maior em nutrientes, não representado na amostra (RESENDE, CURI, RESENDE, CORRÊA, 2005, p. 9-338).

As propriedades do solo influenciam diretamente o processo de fitorremediação determinando a disponibilidade de água, ar e nutrientes, fatores que podem inibir ou estimular o crescimento e desenvolvimento das plantas e microrganismos responsáveis pela degradação do contaminante (ROSA, 2006, p. 29-144).

O uso de plantas destina-se à redução dos teores de contaminantes a níveis seguros e compatíveis com a proteção humana, ou a impedir/dificultar a disseminação de substâncias nocivas ao meio ambiente (ANDRADE, TAVARES, MAHLER, 2007, p. 14-176). A utilização da fitorremediação é baseada na seletividade, natural ou desenvolvida, que algumas espécies exibem a determinados tipos de compostos ou mecanismos de ação. O sistema é dimensionado de acordo com as condições encontradas, tais como: área disponível; grau de contaminação; fonte de poluição; dentre outras. Seu mecanismo de ação é baseado na combinação de plantas e substratos (areia, solo ou cascalho) onde, de forma natural e sob condições ambientais adequadas, ocorre a formação de biofilme, que agregam uma população variada de microrganismos. Estes microrganismos juntamente com as plantas, com os substratos e em condições ideais de umidade e temperatura promovem a extração ou correção natural do poluente. A fitorremediação pode ser classificada dependendo do mecanismo e da técnica a ser empregada, da natureza química ou da propriedade do poluente. No Quadro 1 citam-se os principais mecanismos utilizados na Fitorremediação de acordo com o fim e tipo do contaminante específico.

Quadro 1 - Principais mecanismos utilizados na Fitorremediação

PRINCIPAIS MECANISMOS UTILIZADOS NA FITORREMEDIAÇÃO				
Mecanismo	Processo	Meio	Parte vegetal Utilizada	Contaminante
Fitoextração	Absorção e captura do contaminante sem degradá-lo.	Solo, água, ar	Raízes; partes aéreas;	Metais pesados, radionuclídeos
Rizofiltração	Absorção, concentração, contenção e/ou precipitação do contaminante	Aquoso a partir de técnicas hidropônicas	Acúmulo nas raízes e nas paredes celulares	Metais pesados, radionuclídeos (em baixa concentração)
Fitotransformação ou Fitodegradação	Degradação ou mineralização do contaminante nas células vegetais	Solo, sedimentos, pântanos, lençol d'água, aquíferos	Raízes; células dos tecidos	Compostos orgânicos, solventes clorados, fenóis, herbicidas
Fitovolatilização	Remoção do contaminante do meio e liberação no ar. Associação com microorganismos.	Lençol d'água, solo, sedimentos, pântanos	Raízes; folhas	Solventes clorados, Metais pesados (Se, Hg, As)
Fitoestimulação	Estímulo à biodegradação microbiana	Solo. Liberação de exsudatos radiculares	Raízes;	Compostos Orgânicos
Fitoestabilização	Imobilização, contenção	Solo, sedimentos,	Raízes;	Compostos

	e incorporação à parede vegetal e ao húmus do contaminante.	pântanos		Inorgânicos (As, Cd, Cr, Cu, Hs, Pb, Zn); pouco utilizados p/ orgânicos.
Rizodegradação	Transformação do contaminante; Associação com microorganismos.	Solo, sedimentos, pântanos, lençol d'água	Raízes;	Compostos orgânicos
Controle / Barreira Hidráulica	Contenção, imobilização, vaporização do contaminante	Lençol d'água, aquíferos freáticos	Raízes; folhas; tecidos vegetais	Compostos orgânicos e Inorgânicos hidrossolúveis

1.3 Características Desejáveis das Espécies Vegetais para Uso na Fitorremediação

De acordo com: Pires; Souza; Silva; Procópio; Ferreira (2003, p. 338-341), antes da implantação de programas de fitorremediação, as características físico-químicas do solo e do contaminante devem ser conhecidas, bem como sua distribuição geográfica. Qualquer fator que venha a interferir negativamente no desempenho das plantas fitorremediadoras deve ser controlado, mitigado ou minimizado, para favorecer sua atuação descontaminante. Faz-se mister que as espécies vegetais que apresentem potencial para fitorremediação possuam algumas características que devam ser observadas como indicativos para sua seleção. Com base nas análises de referências citadas, essas características devem se aproximar:

- Elevada taxa de exsudação radicular;
- Alta resistência a pragas e doenças;
- Fácil aquisição ou multiplicação de propágulos;
- Fácil colheita, controle ou erradicação dentro da área contaminada;
- Capacidade de desenvolver-se bem em ambientes variados;
- Ocorrência natural em áreas poluídas;
- Boa capacidade de absorção, concentração e/ou metabolização e tolerância ao contaminante;
- Retenção do contaminante nas raízes, no caso da fitoestabilização, evitando a sua transferência para a parte aérea e consequentemente, sua manipulação e disposição;
- Possuir sistema radicular profundo, extenso, fibroso, denso, com grande concentração de raízes por metro cúbico;
- Alta taxa de crescimento e produção de biomassa;
- Alta capacidade transpiratória, especialmente em árvores e plantas perenes;
- Aspectos positivos da utilização de plantas nativas positivos ao exigir pouca manutenção, melhora da estética e paisagem do local e proporcionar o aumento da diversidade ecológica.

Não obstante, a reunião de todas essas características em uma só planta, ou seja, aquela espécie que for selecionada deve reunir o maior número delas, ou que atenda os interesses específicos da proposta de fitorremediação. Outro aspecto a ser observado é que, embora a maioria dos testes avalie plantas isoladas, várias espécies podem ser usadas em um mesmo local, ou ao mesmo tempo ou subsequentemente, para remover mais de um contaminante.

1.4 Espécies Utilizadas na Fitorremediação

Com o objetivo de obter informações sobre espécies apropriadas para implementar a fitorremediação em solo impregnado com óleo mineral isolante, foi realizada uma revisão na literatura abrangendo os seguintes aspectos: caracterização do resíduo de óleo mineral; interação óleo-solo; espécies vegetais com propriedades ou potencial de uso na fitorremediação. A seleção das espécies utilizadas nos experimentos do presente estudo foi baseada na literatura científica e observações de espécies nativas. Foram utilizados critérios para seleção das espécies, levando-se em conta que o grupo fosse heterogêneo o suficiente para cobrir uma gama diversificada de atributos:

- Espécies não comestíveis *in natura* e de diferentes grupos (leguminosas, oleaginosas e gramínea);
- Velocidade de crescimento com ciclos curtos e boa produção de biomassa (remediação rápida);
- Espécies nativas, para uso próximo aos ecossistemas frágeis ou áreas de proteção ambiental;
- Adaptação às condições edafoclimáticas do Triângulo Mineiro;
- Potencial de produção de biodiesel.

Foram selecionadas oito espécies, descritas no Quadro 2 a seguir, as quais foram dispostas nos respectivos cultivadores (T):

Quadro 2 - Espécies cultivadas nos cultivadores para a fitorremediação de solo impregnado com óleo mineral.

Nome Popular	Nome Científico	Cultivadores
Girassol	<i>Helianthus annuus</i>	T 01
Milheto	<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. Br.	T 02
Gramma Batatais/Boiadeira	<i>Paspalum notatum</i>	T 03
Mamona / Palma-de-cristo	<i>Ricinus communis</i> L.	T 04

Capim-braquiária	<i>Brachiaria decumbens</i>	T 05
Feijão Guandu	<i>Cajanus cajan</i>	T 06
Soja	<i>Glycine max</i>	T 07
Sorgo	<i>Sorghum bicolor L. Moench</i>	T 08

A consulta à literatura revelou que, algumas espécies estudadas possuíam dados de tolerância a concentrações de petróleo (óleo cru) no solo com limites, dependendo da espécie, em 3% e 5% (MERKL, SCHULTZE-KRAFT, INFANTE, 2004, p.182-184) e, 6% (TAVARES, 2004).

2.0 - DESENVOLVIMENTO E METODOLOGIA APLICADA

2.1 A Preparação do Material e Infra Estrutura

O experimento da fitorremediação foi conduzido nas instalações da CEMIG, na cidade de Uberlândia, sendo análises químicas e físicas do solo realizadas, respectivamente, nos laboratórios de química e geografia da UFU. De posse de terras impregnadas com óleo mineral isolante iniciou-se os experimentos de fitorremediação. O local escolhido para o manuseio da terra foi uma garagem pavimentada com lama asfáltica e coberta. O piso foi revestido com uma lona plástica a fim de evitar a impregnação de óleo no asfalto. Sobre a lona foram dispostos o conteúdo de quatro tambores de 200L com diferentes tipos de solos impregnados de óleo mineral, os quais foram misturados e homogeneizados mecanicamente com uso de enxadas e pás, obtendo-se um solo composto (Figuras: 1 e 2).



Figuras: 1 e 2 – Solos impregnados com óleo mineral, em trabalho de homogeneização.

O volume de solo composto empregado no experimento foi aproximadamente $0,8\text{m}^3$, o qual formou uma pilha com as seguintes dimensões: 2,65 m de comprimento x 1,35 m de largura x 0,26 m de altura. Da pilha de solo foram coletadas nove amostras individuais nos quartis, em sacos plásticos identificados, perfazendo um total de 17kg, para estudos e análises físicas e químicas (Figura 3).

Foram adquiridos 4 tambores plásticos com capacidade para 200L, totalmente fechados, os quais foram partidos ao meio, longitudinalmente, formando 8 metades para uso como cultivadores. Os 8 cultivadores com capacidades para 100L, foram utilizados nos experimentos de cultivo de plantas testadas na fitorremediação. Cada cultivador apresentou a tara de 5 kg em média e dimensões de 87 cm x 59,5cm x 16 cm x 25 cm x 26,5cm (Figura 4). Os cultivadores foram denominados e identificados com a numeração de T 1 a T 8. Cada um dos cultivadores foi preenchido, da base para o topo, com 5 cm de areia média; 20 cm de terra impregnada com óleo mineral e 5 cm de terra vegetal na parte superior.



Figura 3 – Amostras de solo sendo retiradas para análises físicas e químicas.

Figura 4 – Cultivadores contendo terra impregnada com óleo mineral isolante sendo preparados para receber os vegetais.

A finalidade da utilização da areia no fundo do cultivador deveu-se a necessidade de um material poroso e permeável para drenar os possíveis excessos de água na ocasião da irrigação e não permitir a passagem do solo por meio dele. A utilização da terra vegetal na parte superior teve a finalidade de prover a germinação das

sementes e a manutenção das plântulas até que os seus sistemas radiculares atingissem a área contaminada com óleo mineral isolante. Os cultivadores tipo cocho não foram perfurados em sua parte inferior a fim de não promover a contaminação do solo a partir do óleo mineral contido no solo. Todavia, foi realizado o controle da umidade nos mesmos através da Sonda Thetaprobe¹ com 4 pinos (Figuras: 5 e 6). Preparou-se, ainda, um recipiente de referência contendo a mesma sequência de materiais, porém desprovido de vegetação.



Figuras 5 e 6 – Medição da umidade do solo contido nos cultivadores.

2.2 Condições Experimentais do Cultivo

Com a função de abrigar os cultivadores contendo resíduo sólido foi construído um abrigo com cobertura em plástico de estufa denominado Casa de Vegetação (Figura 7). A razão da construção do abrigo da Casa de Vegetação deveu-se a necessidade de proteger os cultivadores da incidência direta da água da chuva, o que poderia causar um excesso de água nos cultivadores e, assim, levar a planta a morte por saturação hídrica. Uma vez instalada a cobertura impermeável à água pluvial, mas permeável à luz solar, os cultivadores foram instalados em suporte de madeira a fim de nivelá-los, evitando o acúmulo de óleo e água em um único local.

Para a irrigação diária dos vegetais foi utilizada água sem cloro e flúor captada de um poço tubular, com rega uma vez ao dia e controle de umidade. O controle da umidade nos cultivadores foi realizado durante todo o período do experimento (Figura 8), sendo amostrado em locais distintos, a fim de se ter um número médio da umidade em cada cultivador, medido a partir do volume de água por volume de solo.

A determinação da temperatura interna nos cultivadores foi realizada semanalmente, em profundidade de 5 a 15 cm, com a utilização de termômetro (Figura 9), na mesma parte do dia, anotando-se o horário e as condições do clima naquele momento. A temperatura se apresentou entre 21°C e 22°C. Também semanalmente, foi avaliada e mensurada a taxa de crescimento dos vegetais. O local onde os cultivadores foram dispostos recebe radiação solar durante 5 horas/dia e os mesmos estão afastados da parede em 50 cm.



Figura 7 – Casa de vegetação construída para abrigar os vegetais utilizados na fitorremediação.

Figura 8 – Vista lateral dos cultivadores com resíduo oleoso (azul) e tambores brancos com terra sem óleo.

Os dados coletados do monitoramento foram tabulados para melhor entendimento e acompanhamento da taxa de crescimento dos cultivares. Neles estão contidos os dados dos cultivares em cada cultivador, sendo: a temperatura interna dos solos nos cultivadores; a altura do vegetal mais desenvolvido em cada cultivador; a situação do tempo ambiente no momento da medição (chuva, sol, nublado).

¹ Sonda Thetaprobe (Delta-T Devices, Cambridge, UK) - é um instrumento de fabricação inglesa que mensura diretamente a umidade do solo, correspondendo ao conteúdo de umidade volumétrica, qv, por meio do princípio de geração de ondas que liberam um pulso eletromagnético para um conjunto de hastes sendo a reflexão medida no domínio do tempo (TDR). Ela realiza a medição de umidade de campo e possibilita a determinação imediata da umidade do solo, após a penetração de uma sonda com 4 pinos de aço inox. Possui display digital com datalogger que permite transferência de dados para o computador e o tratamento destes por meio de seu software. A escala deste medidor é de 5 à 55% de volume de água por volume de solo, tem precisão de 5% quando usado com calibração padrão ou 2% quando calibrado especificamente para o solo a ser estudado. (Disponível em: <<http://www.solotest.com.br/catalogos/A5.PDF>>. Acesso em 03 de fev. 2010).

Conjuntamente ao monitoramento do crescimento dos espécimes vegetais foi avaliado o percentual de óleo presente em cada cultivador como parâmetro de acompanhamento da evolução do processo de fitorremediação. Foram realizadas 4 medições, com relação ao parâmetro de graxa e óleo, para os solos contidos nos cultivadores, sendo no plantio e nas: 8ª; 16ª e 24ª semanas. Para a retirada da amostra da terra foi utilizada o Trado tipo Sonda 100 cm, fabricado pela SONDATERRA®, os quais são confeccionados em aço inoxidável, sendo a ponteira em aço carbono (Figura 10).



Figura 9 – Medição da temperatura no solo nos tambores da fitorremediação.

Figura 10 – Uso do Trado par a retirada de solo dos tambores para realização de análise físico-química quanto ao teor de graxa de óleo.

Foi realizada a assepsia a cada medição. De cada cultivador foram retiradas duas amostras, nas seguintes profundidades: 1ª amostra = 5 a 15 cm; 2ª amostra = 15 a 25 cm. Após cada retirada de amostra de solo em cada profundidade e em cada cultivador, houve a limpeza com água sem cloro e sabão neutro. Para secar utilizou-se pano seco e limpo a fim de garantir a imparcialidade na apuração dos resultados. As amostras foram colocadas em sacos novos de plástico de alta resistência, limpos, translúcidos, de tamanho 31 x 15,5 cm, os quais foram identificados e encaminhados para o laboratório de química da UFU para as respectivas análises de óleos e graxas.

3.0 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise Física do Solo

Resultados obtidos em ensaio de granulometria com sedimentação, realizado no laboratório de geotecnia da UFU, mostraram a seguinte composição granulométrica do solo composto empregado no experimento: 23,5% de argila; 8,5% de silte; 68,0% de areia. Esse resultado evidencia alguma capacidade de retenção do óleo mineral isolante, em função da presença do teor de argila presente.

3.2. Percentual de Óleo Mineral Isolante Presentes nos Resíduos - Tambores T1 a T8

Os resultados das análises de óleos e graxas realizados nas amostras dos solos utilizados nos experimentos de fitorremediação são demonstrados nos Gráficos 1 e 2.

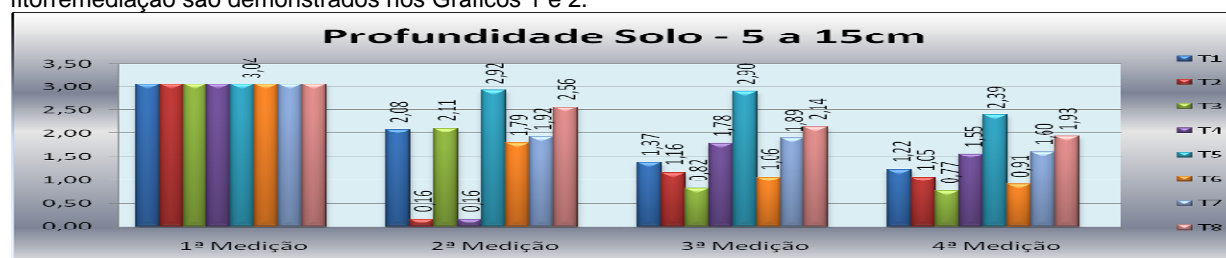


Gráfico 1 – Medição de percentual de óleo nos tambores na profundidade de 5 a 15 cm.

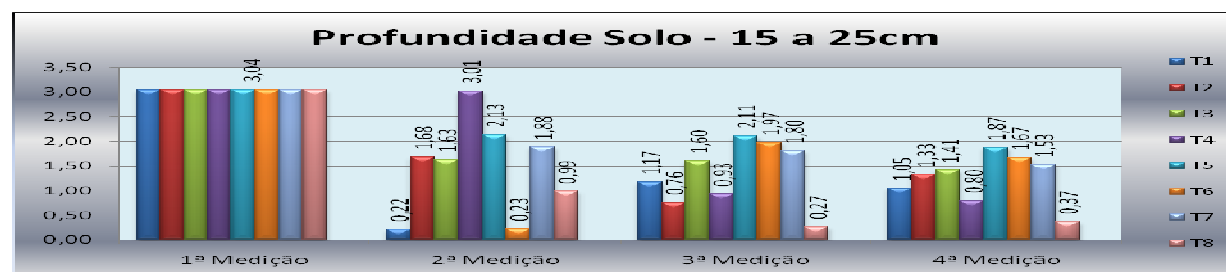
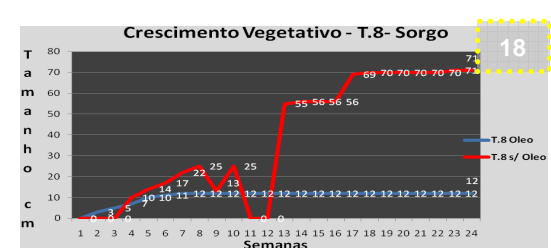
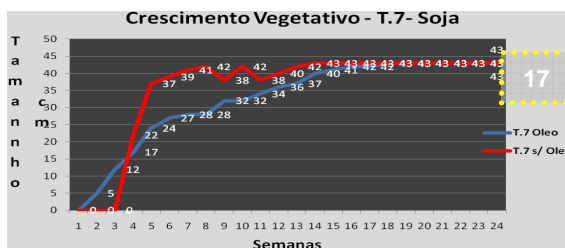
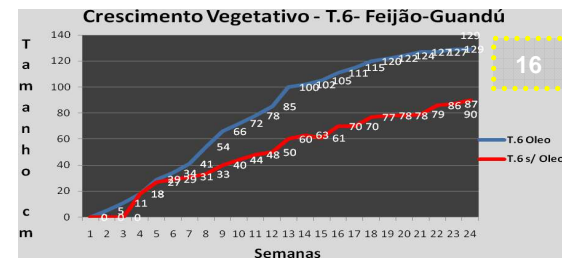
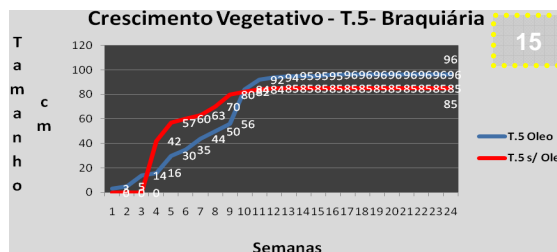
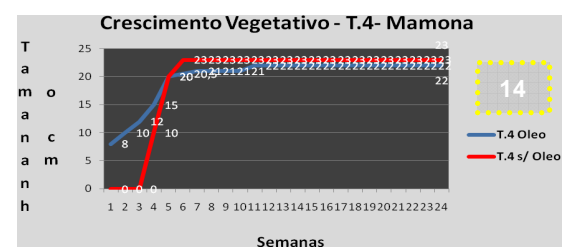
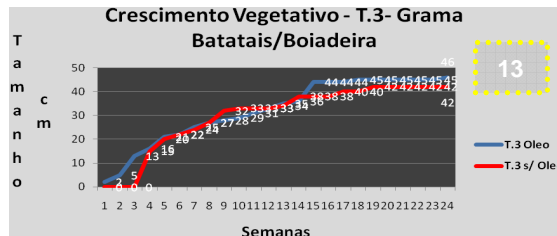
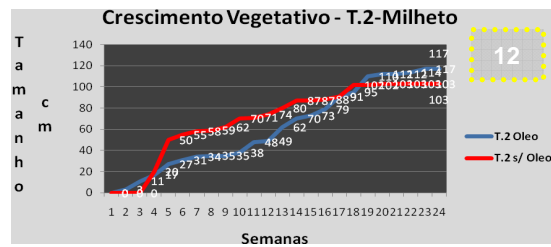
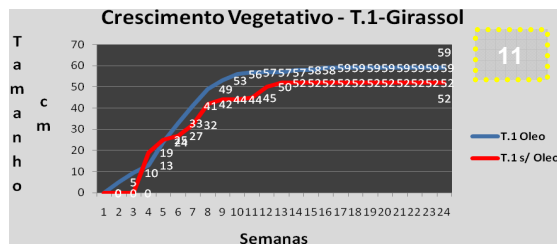


Gráfico 2 – Medição de percentual de óleo nos tambores na profundidade de 15 a 25 cm.

3.3. Taxa de Crescimento dos Vegetais nos Cultivadores com Resíduo de Óleo T1 a T8

Os resultados das análises dos crescimentos dos vegetais nos cultivadores T1 a T8 com resíduos de óleo mineral isolante e nos cultivadores sem óleo utilizados nos experimentos de fitorremediação são demonstrados nas Figuras 11 a 18.



Cultivador T1 – Girassol – seu ciclo de vida dura de 17 a 26 semanas. Pelo gráfico, nota-se que ele finaliza seu ciclo de vida a partir da 15ª semana. Com isso, fica demonstrado que o óleo mineral isolante não promove alterações no seu ciclo de vida e nem é letal à planta na concentração inicial de óleo de 3,04 % no solo. Com isso, ratifica-se o já descrito por Rosa (2006, p. 120-144) que a referida planta é tolerante a solos contaminados com concentrações inferiores a 6% de petróleo. Em relação à altura, notou-se que o espécime cultivado no tambor com óleo teve um crescimento de 7 cm superior ao espécime cultivado no cultivador sem óleo. Avaliando a performance da espécie na profundidade de 5 a 15 cm, nota-se um decréscimo acentuado do percentual de óleo, o qual caiu de 3,04% da primeira medição para a última, com o valor de 1,22%. Na profundidade de 15 a 25 cm, nota-se um decréscimo abrupto de 3,04 para 1,05%, o que nos aponta uma planta com interessante e efetivo potencial para uso pela técnica de fitorremediação pelo seu bom crescimento em solo contaminado com óleo em relação ao solo sem óleo e uma descontaminação e degradação média de 61 % da quantidade de óleo inicial presente na amostra.

Cultivador T2 - Milheto - seu ciclo de vida dura de 14 a 22 semanas. Pelo gráfico, nota-se que ele finaliza seu ciclo de vida a partir da 20ª semana, com uma pequena diferença temporal para o espécime cultivado no cultivador com óleo para com o espécime cultivado no sem óleo. Com isso, fica demonstrado que o óleo mineral isolante não promove alterações o seu ciclo de vida e nem é letal à planta na concentração inicial de óleo de 3,04 % no solo. Em relação à altura, notou-se que o espécime cultivado no cultivador com óleo teve um crescimento de 14cm superior ao espécime cultivado no cultivador sem óleo. Avaliando a performance da espécie na profundidade de 5 a 15 cm, nota-se um decréscimo acentuado do percentual de óleo, o qual caiu de 3,04% da primeira medição para a última, com o valor de 1,05%. Na profundidade de 15 a 25 cm, nota-se um decréscimo abrupto de 3,04 para 1,33%, o que nos aponta uma planta com interessante e efetivo potencial para uso pela técnica de fitorremediação pelo seu bom crescimento em solo contaminado com óleo em relação ao solo sem óleo e uma descontaminação e degradação média de 66 % da quantidade de óleo inicial presente na amostra.

Cultivador T3 – Grama Boiadeira // Grama Batatais – herbácea perene, rizomastosa, rasteira, de 15 a 50 cm de altura, com folhas pilosas, como o que fora encontrado nos experimentos. Com isso, fica demonstrado que o óleo mineral isolante não promove alterações o seu ciclo de vida e nem é letal à planta na concentração inicial de óleo

de 3,04 % no solo. Em relação à altura, notou-se que os espécimes cultivados cresceram quase que o mesma quantidade, com diferença ínfima, sendo a cultivada em cultivador com óleo superior em 4cm. Avaliando a performance da espécie na profundidade de 5 a 15 cm, nota-se um decréscimo acentuado do percentual de óleo, o qual caiu de 3,04% da primeira medição para a última, com o valor de 0,77%. Na profundidade de 15 a 25 cm, nota-se um decréscimo abrupto de 3,04% para 1,41%, o que nos aponta uma planta com interessante e efetivo potencial para uso pela técnica de fitorremediação pelo seu bom crescimento em solo contaminado com óleo em relação ao solo sem óleo e uma descontaminação e degradação média de 54 % da quantidade de óleo inicial presente na amostra.

Cultivador T4 – Mamona ou Palma-de-cristo - planta de hábito arbustivo e perene, é exigente e só se dá bem em solos bons com boa fertilidade, bem preparados e cuidados. Como o solo não foi frequentemente adubado a espécie, plantada e germinada, não logrou êxito no experimento, não suportando mais que 7 semanas de vida vindo à senescência. Sua altura máxima atingida, tanto nos cultivadores com óleo e sem óleo foi de 23 cm. Avaliando a performance da espécie na profundidade de 5 a 15cm, nota-se um decréscimo do percentual de óleo, o qual caiu de 3,04% da primeira medição para a última, com o valor de 1,55%. Na profundidade de 15 a 25 cm, nota-se um decréscimo de 3,04% para 0,80%, o que nos aponta que é uma planta que merece maiores estudos para o seu uso como espécie indicada para a técnica de fitorremediação na degradação de resíduo com óleo mineral. Conforme observado, a espécie não é tolerante a solos contaminados com concentrações de 3,04% de contaminação, todavia, notou-se uma descontaminação média de 55% do óleo presente no solo do cultivador.

Cultivador T5 – Capim-braquiária - é uma gramínea de ciclo anual com reprodução por sementes e mudas, resistente à seca desenvolvendo-se tanto em solos úmidos quanto secos e apresentando pouca exigência em fertilidade e com bom crescimento em diversos tipos de solo. Pelo gráfico, nota-se que ele finaliza seu ciclo de vida a partir do 14ª semana. Com isso, fica demonstrado que o óleo mineral isolante não promove alterações no seu ciclo de vida e nem é letal à planta na concentração inicial de óleo de 3,04 % no solo. Com isso, ratifica-se o já descrito por Rosa (2006, p. 118-144) que a referida planta é tolerante a solos contaminados com concentrações inferiores a 6% de petróleo. Em relação à altura, notou-se que o espécime cultivado no cultivador com óleo teve um crescimento de 11cm superior ao espécime cultivado no cultivador sem óleo. Avaliando o desempenho da espécie na profundidade de 5 a 15 cm, nota-se um decréscimo acentuado do percentual de óleo, o qual caiu de 3,04% da primeira medição para a última, com o valor de 2,39%. Na profundidade de 15 a 25 cm, nota-se um decréscimo abrupto de 3,04% para 1,87%, o que nos aponta uma planta que merece maiores estudos para o uso com a técnica de fitorremediação e descontaminação de resíduo com óleo mineral, pois apesar de ter cumprido seu ciclo de vida, ela reduziu em 21% o resíduo de óleo presente no solo inicial. Em relação às outras espécies estudadas, aponta-se o menor valor de descontaminação apurado.

Cultivador T6 – Feijão Guandu – de porte alto e ciclo semi-perene, a espécie possui sistema radicular pivotante, vigoroso que penetra em solos compactados e adensados. Os seus feijões são utilizados na alimentação humana e servem de alimento a animais. Em relação à altura, notou-se que os espécimes cultivados nos cultivadores com resíduos de óleo mineral cresceram 39cm a mais que os espécimes cultivados nos cultivadores com solo sem impregnação de óleo. Com isso, fica demonstrado que o óleo mineral isolante não promove alterações o seu ciclo de vida e nem é letal à planta na concentração inicial de óleo de 3,04% no solo. Avaliando a performance da espécie na profundidade de 5 a 15cm, nota-se um decréscimo acentuado do percentual de óleo, o qual caiu de 3,04% da primeira medição para a última, com o valor de 0,91%. Na profundidade de 15 a 25cm, nota-se um decréscimo abrupto de 3,04% para 1,67%, o que nos aponta ser uma planta com interessante e efetivo potencial para uso pela técnica de fitorremediação pelo seu bom crescimento em solo contaminado com óleo em relação ao solo sem óleo e uma descontaminação e degradação média de 58 % da quantidade de óleo inicial presente na amostra.

Cultivador T7 – Soja - é uma leguminosa de ciclo anual de 13 a 23 semanas, originária do extremo Oriente. Pelo gráfico, nota-se que os espécimes cultivados - em solo com resíduo de óleo e sem óleo - finalizam seu ciclo de vida a partir da 17ª semana com o mesmo vigor e a mesma altura de 43cm. Com isso, fica demonstrado que o óleo mineral isolante não promove alterações o seu ciclo de vida e nem é letal à planta na concentração inicial de óleo de 3,04% no solo. Avaliando a performance da espécie na profundidade de 5 a 15cm, nota-se um decréscimo acentuado do percentual de óleo, o qual caiu de 3,04% da primeira medição para a última, com o valor de 1,60%. Na profundidade de 15 a 25cm, nota-se um decréscimo abrupto de 3,04% para 1,53%, o que nos aponta uma planta interessante e com efetivo potencial para uso pela técnica de fitorremediação pelo seu bom crescimento em solo contaminado com óleo em relação ao solo sem óleo e uma descontaminação e degradação média de 42 % da quantidade de óleo inicial presente na amostra. Com isso, ratifica-se o citado por Rosa (2006, p. 119-144), que a soja é tolerante a solos contaminados com concentrações de até 6% de petróleo.

Cultivador T8 – Sorgo - é uma planta de ciclo anual, de porte ereto, que possui elevada eficiência no uso d'água para produção de grãos e de restolho (matéria seca). Apresenta resistência aos períodos de estiagem, possui rebrota após ser cortado e é resistência às pragas e doenças. Possui altura média de 170 cm, sendo seu ciclo de 13 a 17 semanas. Pelo gráfico, observa-se que o espécime cultivado no cultivador com resíduos de óleo não, não logrou êxito no experimento, não suportando mais que 8 semanas de experimentos vindo à senescência. Sua altura máxima atingida, no cultivador com óleo foi de 12cm. Avaliando o desempenho da espécie na profundidade de 5 a 15cm, nota-se um decréscimo do percentual de óleo, o qual caiu de 3,04% da primeira medição para a última, com o valor de 1,93%. Na profundidade de 15 a 25cm, nota-se um decréscimo de 3,04% para 0,37%, o que nos aponta que é uma planta que merece maiores estudos para o seu uso com a técnica de fitorremediação para descontaminação de resíduo com óleo mineral. O Sorgo não resistiu à concentração de 3,04% de óleo mineral isolante, não obstante ter observado uma descontaminação média de 55% do óleo presente no solo do cultivador.

Dessa forma ratifica-se o descrito por Giordani, Cecchi e Zanchi (2005, p. 678-681), que descreve que a referida espécie somente é tolerante a solos contaminados com baixas concentrações de petróleo, até 0,5%.

4.0 - CONCLUSÃO

Os dados obtidos mostram que algumas espécies apresentam potencial para serem utilizadas como fitorremediadoras em solos contaminados com óleo mineral isolante. As espécies: T1-Girassol; T2-Milheto; T3-Grama Batatais; T6 – Feijão Guandú e T7- Soja - são apontadas como plantas de interesse e efetivo potencial para uso da técnica de fitorremediação, pelo seu bom crescimento em terra impregnada com óleo em relação ao solo sem óleo e uma descontaminação média, respectiva de: 61 %; 66%; 54%; 58% e 42% do solo com óleo em teor de 3,04%, conforme demonstrado nos gráficos. As espécies cultivadas: T4-Mamona e T-8 – Sorgo - não são tolerantes a solos com baixa fertilidade e contaminados com óleo mineral em concentrações de 3,04% de contaminação. Todavia, notou-se uma descontaminação média de 55% da terra com óleo em teor de 3,04%, nos dois cultivadores. Já a espécie T5- Braquiária- embora tolerante à terra com óleo mineral, promoveu uma descontaminação média de somente 21% do solo com óleo em teor de 3,04%, o que se apresentou em valor inferior em relação às outras espécies estudadas. Os dados revelam que plantas como o girassol tiveram o crescimento mais acentuado no solo contaminado com ciclo de vida de 14 semanas e redução de óleos e graxas de 65%. Por outro lado o feijão guandu também cresceu mais em solo contaminado reduzindo a quantidade de óleos e graxas em 70%. A mesma comparação pode ser feita com as outras espécies como o milho e a grama batatais, que nos revela possibilidades auspiciosas de utilização das mesmas como fitorremediadoras para solos contaminados com óleo mineral isolante.

5.0 - REFERÊNCIAS

- [1] ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1. p. 299-352, 2000.
- [2] ANDRADE, Julio Cesar da Matta; TAVARES, Silvio Roberto de Lucena Tavares; MAHLER, Cláudio Fernando; Fitorremediação: O uso de plantas na melhoria da Qualidade Ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2007, p.176.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10.004:2004. Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- [4] CUNNINGHAM, S. D.; ANDERSON, T. A.; SCHWAB, A. P. Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. Adv. Agron., v. 56, p. 55-114, 1996.
- [5] DOMINGUEZ-ROSADO, E.; PICHTEL, J.; COUGHLIN, M. Phytoremediation of soil contaminated with used motor oil: I. enhanced microbial activities from laboratory and growth chamber studies. Environmental engineering science, v. 21, no2, 2004a.
- [6] FERRO, A. M.; SIMS, R. C.; BUGBEE, B. Hycrest crested wheatgrass accelerates the degradation of pentachlorophenol in soil. J. Environ. Qual., v. 23, p. 272-279, 1994.
- [7] GIORDANI, C.; CECCHI, S.; ZANCHI, C. Phytoremediation of soil polluted by nickel using agricultural crops. Environ Manage n.36, v.5, p. 675-681, 2005.
- [8] MERKL, N.; SCHULTZE-KRAFT, R.; INFANTE, C. Phytoremediation in the tropics – The effect of Crude Oil on the Growth of Tropical Plants. Bioremediation Journal, v.8, p.177-184, 2004.
- [9] NEWMAN, L. A. et al. Phytoremediation of organic contaminants: a review of phytoremediation research at the university of Washington. J. Soil Contamin., v. 7, p. 531- 542, 1998n.
- [10] PERKOVICH, B. S. et al. Enhanced mineralization of [14C] atrazine in K. scoparia rhizospheric soil from a pesticidecontaminated site. Pestic. Sci., v. 46, p. 391-396, 1996.
- [11] 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.
- [12] RESENDE, M.; CURTI, N.; RESENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. Pedologia: base para distinção de ambientes. 4. ed. Viçosa: NEPUT, 2002. 338p.
- [13] 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.
- [14] SILVA, J. J. L. S. Fitorremediação: Processos e Aplicações. Rio de Janeiro, Monografia de Especialização em Engenharia Sanitária e Ambiental, DESMA/ UERJ, 2005. 68p.
- [15] TAVARES, S. R. L.; Fitorremediação de solos contaminados por hidrocarbonetos de petróleo. In: FERTBIO, 2004, Lages. Anais.
- [16] VOSE, J. M. et al. Leaf water relations and sapflow in Eastern cottonwood (*Populus deltoides* Bartr.) trees planted for phytoremediation of a groundwater pollutant. Intern. J. Phytoremediation., v. 2, p. 53-73, 2000.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Flávio da Costa Santos - nascido em Ituiutaba-MG no ano de 1971, possui graduação em Engenharia Ambiental (2010) pela UNIUBE, Biologia (1996) e Química (1999) pela UEMG - campus Ituiutaba, especialização lato sensu em Química (2000) e Biologia (1999) pela UFLA e especialização strictu sensu - mestrado (2007) pela UFU e doutorando (2008) em Geografia pela UFU. Atualmente é Coordenador Ambiental da CEMIG D no triângulo mineiro. Tem experiência na área de Meio Ambiente, com ênfase em implantação de Sistema Integrado de gestão, auditoria, verificação e consultoria em Sistema de Gestão de Qualidade, Ambiental e Saúde e Segurança, atuando principalmente nos seguintes temas: Floresta Urbana, Laboratório, Educação Ambiental, Logística Reversa dos Resíduos, Legislação Ambiental e Responsabilidade Sócioambiental.

Luiz Nishiyama - Bacharel em Geologia (1981) pela UNESP de Rio Claro-SP. Mestre em Geotecnia (1991) pela Escola de Engenharia de São Carlos-USP. Doutor em Geotecnia (1998) pela Escola de Engenharia de São Carlos-USP. Professor Associado do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia.

Luiz Alfredo Pavanin - Bacharel e Licenciado em Química (1979) pela Universidade de São Paulo (FFCLRP-USP). Mestre em

Química (1982) pela Universidade Júlio de Mesquita Filho (UNESP-Araraquara-SP). Doutor em Química (1988) pelo Instituto de Química da Universidade de São Paulo (USP-SP). Pós-doutorado (1995) pela Università Degli Studi di Ferrara – Itália. Professor Associado do Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia.

Carlos Eduardo Lopes Freitas - Graduando do 7º período do Curso de Química Industrial do Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia.