

**CONTAMINANTES ORGÂNICOS NO SOLO: BARREIRAS MINERAIS COMO MECANISMO DE PROTEÇÃO DO SOLO****Zenite da Silva Carvalho**

Eng.<sup>a</sup> Sanitarista e Ambiental. Mestre em Engenharia Ambiental Urbana., Pesquisadora do Laboratório de Geotecnia Ambiental da UFBA. e-mail: [zenite.esa@gmail.com](mailto:zenite.esa@gmail.com)

**Sandro Lemos Machado**

Doutor em Geotecnia. Professora Titular da Universidade Federal da Bahia. e-mail: [smachado@ufba.br](mailto:smachado@ufba.br)

**Míriam de Fátima Carvalho**

Doutora em Geotecnia. Professora da Universidade Católica do Salvador. e-mail: [mfcmachado@gmail.com](mailto:mfcmachado@gmail.com)

**Digna de Faria Mariz**

Eng.<sup>a</sup>, PhD, SMES/SAE/MA/RAI – PETROBRAS. e-mail: [digna@petrobras.com.br](mailto:digna@petrobras.com.br).

**Átila Caldas dos Santos**

Eng. Sanitarista e Ambiental. Mestre em Engenharia Ambiental Urbana. Doutorando em Energia e Ambiente. e-mail: [atilacaldas@gmail.com](mailto:atilacaldas@gmail.com)

**RESUMO**

Uma das opções possíveis para evitar a contaminação de solos e águas subterrâneas, por vazamentos em tanques de armazenamento de combustíveis derivados de petróleo, é o uso de barreiras minerais. Diante deste cenário, o laboratório de Geotecnia ambiental da UFBA, com o apoio da PETROBRAS, desenvolveu um projeto de pesquisa sobre permeabilidade de líquidos orgânicos em solos compactados, que teve como um dos resultados, a proposição de faixas granulométricas de solo com potencial de uso para barreiras de contenção de produtos combustíveis. Para avaliar a proposta de faixa granulométrica foram construídos barreiras minerais com solos que atendessem a proposta de faixa ótima. Foram construídos sete aterros experimentais com rigoroso controle de compactação, e energia equivalente a Proctor modificado. Realizaram-se ensaios de permeabilidade com o permeâmetro Guelph, em diferentes períodos, a fim de avaliar o comportamento a longo prazo das barreiras minerais. Os líquidos percolantes utilizados nesta pesquisa foram o diesel, biodiesel, gasolina e água, como referência. Os resultados indicaram que embora os aterros não atendessem a todos os parâmetros especificados na proposta de faixa granulométrica, as misturas com fração de finos (Fração de argila + Fração de Silte) dentro do indicado na proposta, apresentaram desempenho satisfatório para contenção dos líquidos orgânicos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Barreiras minerais; contaminantes orgânicos; permeabilidade.

**INTRODUÇÃO**

Uma das principais fontes de contaminação de solos e águas subterrâneas tem sido os vazamentos de tanques de armazenamento de combustíveis derivados de petróleo. O Brasil, por ser um grande produtor de petróleo e derivados, onde armazena, distribui e revende; tem uma significativa vulnerabilidade por ocorrer vazamentos durante estas etapas, e as consequências desta contaminação acarretam graves impactos ambientais, tanto pela magnitude como pela dificuldade de recuperação da área atingida. Estes aspectos ressaltam a necessidade de se desenvolver ou aprimorar os mecanismos de proteção e prevenção de solos e águas subterrâneas.

Uma das opções possíveis é o uso de barreiras que evitem, em casos de vazamentos, que o contaminante gere problemas ambientais. Para os terminais de armazenamento, um dos principais mecanismos de proteção usados são as bacias de contenção construídas ao redor dos tanques verticais de estocagem, para conter vertical e horizontalmente eventuais vazamentos, sendo o solo argiloso compactado o material mais empregado na impermeabilização de bacias de contenção devido à sua eficiência comprovada na retenção de água e ao baixo custo de implantação. Contudo, barreiras de contenção puramente argilosas possuem deficiências na contenção de líquidos apolares, como no caso da grande maioria dos hidrocarbonetos (MACHADO *et al.*, 2011).

No Brasil, não existe nenhuma legislação federal sobre os critérios construtivos das estruturas de contenção de derramamentos de tanques verticais. A Bahia possui o Decreto Estadual n.º 11.235/2008, que estabelece no *Art. 68 – Que os diques de contenção deverão ser devidamente impermeabilizados.*

A NBR 17505-2 / 2013 apresenta, em nível de recomendação, os critérios construtivos das estruturas de controle de derramamento de tanques verticais. Esta norma, exige que os diques e bacias de contenção de tanques verticais de armazenamento tenham coeficiente de permeabilidade máximo de  $10^{-6}$  cm/s, referenciado à água a 20°C, ou de  $10^{-4}$  cm/s, também referenciado à água a 20°C, para as bacias de contenção que possuam canaletas de drenagem com área de escoamento mínimo de 900 cm<sup>2</sup>. Diversos pesquisadores, dentre estes, Machado *et al* (2011), alertam que a água não pode ser utilizada como fluido de referência para a avaliação da permeabilidade do solo a líquidos orgânicos de baixa polaridade, resultando normalmente em valores de permeabilidade que põe em risco a segurança ambiental destas estruturas, pois, em uma barreira mineral de contenção, o mecanismo principal de retenção de líquidos pelas

argilas reside na interação solo/líquido, a qual é fortemente influenciada pela polaridade do líquido percolante. A baixa polaridade dos hidrocarbonetos aumenta o seu valor de permeabilidade quando perolam solos argilosos. Sendo assim, ao utilizar a água como referência para avaliar bacias de contenção para hidrocarbonetos pode-se adotar valores de permeabilidade sensivelmente menores que o valor de permeabilidade da barreira mineral ao fluido armazenado.

Diante deste cenário, o Laboratório de Geotecnia Ambiental da UFBA (GEOAMB) e o Laboratório de solos da UCSAL, desenvolveram um projeto de pesquisa sobre permeabilidade de líquidos orgânicos em solos compactados (MACHADO *et al.*, 2011). Como um dos resultados, foram propostas faixas granulométricas de solo com potencial de uso para barreiras de contenção de produtos combustíveis. Neste artigo é avaliada a permeabilidade aos líquidos orgânicos das barreiras minerais construídas com solos que atendam as especificações propostas.

## ESTUDO PRÉVIO: ESPECIFICAÇÕES PROPOSTAS

Uma descrição em detalhes das especificações propostas para solos potencialmente utilizáveis na contenção de hidrocarbonetos pode ser encontrada no trabalho de Machado *et al* (2011).

Para o desenvolvimento da proposta de faixas de variação ótimas de propriedades índices de solos para construção de barreiras de contenção, os pesquisadores estudaram o comportamento de diferentes solos, buscando identificar os fatores que influenciam na curva de compactação e na permeabilidade. Para identificar as influências na curva de compactação foi compilado um banco de dados contendo informações de 728 solos, sendo que 227 dados (31% do total) foram provenientes de ensaios de compactação e caracterização geotécnicas executadas no GEOAMB e o restante foi compilado da literatura técnica.

Os pesquisadores usaram os resultados de permeabilidade ao diesel na energia do Proctor modificado para a elaboração da proposta de faixas granulométricas ótimas para confecção de barreiras minerais para contenção de orgânicos, de forma que se o solo pudesse atender os critérios mínimos de permeabilidade para o diesel. A tabela 4.3 a faixa de variação proposta.

Tabela 1: Proposta de faixas ótimas de propriedades índices para confecção de barreiras minerais para contenção de orgânicos.

Parâmetro		Faixa de valores	
Limite de Líquidos	W <sub>L</sub>	55%	75%
Índice de Plasticidade	IP	28%	42%
Teor de Finos *	F <sub>c</sub>	33%	60%
Teor de Argila	C <sub>c</sub>	27%	45%
Teor de Areia	S <sub>c</sub>	34%	57%
Teor de Pedregulho	G <sub>c</sub>	≤2%	

\*Teor de finos é definida com a soma dos teores de silte e argila.

Vale ressaltar que apesar do número relativamente grande de parâmetros empregados, muitos dos parâmetros listados são dependentes uns dos outros de forma que o atendimento a todos os parâmetros listados não deve constituir uma tarefa por demais árdua. Com a adoção dos parâmetros acima, o solo compactado na energia correspondente a do Proctor Modificado deverá apresentar valores de umidade ótima e densidade seca máxima conforme descrito na tabela 2.

Tabela 2: Recomendações de compactação para barreiras minerais de contenção de líquidos orgânicos.

Parâmetro		Faixa de valores	
Umidade de compactação (umidade ótima)	w	14%	20%
Densidade seca (densidade seca máxima)	ρ <sub>máx</sub>	1,65g/cm <sup>3</sup>	1,83g/cm <sup>3</sup>

Para que uma barreira de contenção tenha desempenho satisfatório, a pesquisa recomenda que além das faixas propostas, sejam respeitadas diversas observações construtivas; as quais são listadas a seguir.

- O equipamento utilizado na compactação de campo deverá garantir a energia de compactação do tipo Proctor Modificado.
- A compactação deverá ser realizada em etapas, até que se alcance a espessura final da camada, sendo que em cada etapa o material lançado não poderá ter espessura superior a 25 cm e, após a compactação, 15 cm.
- Deverá ser feito um adequado controle de compactação em campo, que garanta um grau de compactação acima de 95%, e para que a umidade das camadas compactadas estejam acima da ótima em 1%, aceitando-se uma variação de 2,0% em torno deste valor.

## METODOLOGIA

### Aterros Experimentais

Os solos utilizados, para o desenvolvimento desta pesquisa, foram provenientes de áreas de corte realizados em pontos distintos de Salvador. Foram usados o solo residual do granulito/gnaiss, comum na maior parte da cidade de Salvador; e o solo de formações terciárias de areia argilosa, chamada de formação Barreiras, também comum na região Metropolitana de Salvador. Os dois solos amostrados foram denominados, respectivamente, de solo granulito e solo barreiras. Foram realizados ensaios de caracterização e de compactação na energia do Proctor modificado para levantar as suas propriedades índices.

Os solos escolhidos são provenientes da mesma região dos solos usados na pesquisa desenvolvida por Machado *et al* (2011). Sendo assim, este são solos com características similares aos usados na referida pesquisa e que atendem a variação dos índices que compõem a faixa proposta.

Para se obter solos com diferentes características, foram preparadas misturas de solos levando em consideração as suas propriedades índices e as faixas granulométricas propostas (Tabela 1). Foi usada a propriedade índice Teor de Finos (Fc) como parâmetro para obter granulometrias diferentes nas misturas. Este parâmetro foi escolhido por se mostrar de grande influência na permeabilidade, além de ter dependência das outras propriedades índices contidas na faixa granulométrica proposta. Foi feita uma estimativa da proporção que cada solo (granulito e barreiras) deveriam ser misturados, conforme indicado na tabela 3. Além dos solos barreiras e granulito, um outro solo sedimentar mais argiloso encontrado no local de construção dos aterros experimentais, foi usado para a execução de um aterro, sendo este solo denominado de Mistura 07. Após a preparação das misturas, foram recolhidas amostras para uma nova caracterização. Os resultados desta caracterização são apresentados na tabela 3.

Por se tratar de ensaio em campo, com grandes volumes de solos, o procedimento de mistura do solo se mostrou uma tarefa árdua, visto que objetivava uma fração de finos específica. Para o processo de mistura dos solos e sua homogeneização utilizou uma retroescavadeira. Anteriormente ao processo de mistura, cada solo, granulito e barreiras, foi homogeneizado e umedecido para que chegasse na umidade ótima antes de serem misturados.

Tabela 3. Caracterização granulométrica e de compactação das misturas.

Identificação das Amostras	Proporção de solo Granulito/Barreiras (%)	Ensaio de Granulometria (%)							Ensaio de consistência			Massa Específica (g/cm <sup>3</sup> )	Ensaio de Compactação		Classificação das amostras	
		Ped	AG	AM	AF	Silt	Arg	Finos	LL	LP	IP		W <sub>ot</sub>	ρ <sub>d</sub> <sub>máx</sub>	SUCS	ABNT
Mistura 01	100/0	1	12	24	18	17	28	45	41	20	20	2,701	12,54*	1,936*	SC	Areia argilo-siltosa com vestígios de pedregulho
Mistura 02	90/10	2	11	31	16	17	23	40	31	18	13	2,685	11,08*	1,966*	SC	Areia argilo-siltosa com vestígios de pedregulho
Mistura 03	79/21	3	9	33	18	14	23	37	30	17	13	2,683	10,29*	1,998*	SC	Areia argilo-siltosa com vestígios de pedregulho
Mistura 04	69/31	1	9	37	18	13	22	35	28	16	12	2,685	10,6*	2,013	SC	Areia argilo-siltosa com vestígios de pedregulho
Mistura 05	58/42	0	16	33	18	12	21	33	28	17	11	2,672	10,16*	2,008*	SC	Areia argilo-siltosa
Mistura 06	0/100	0	18	41	23	6	12	18	NL	NP		2,673	9,39*	1,964*	SM	Areia argilosa com pouco silte
Mistura 07	-	1	15	35	22	8	19	27	25	15	10	2,693	10,24*	2,018*	SC	Areia argilosa com pouco silte e com vestígios de pedregulho

\*Energia do Proctor modificado

Figura 1: Retro escavadeira vazia sendo pesada



Figura 2: Retro escavadeira sendo pesada com solo Granulito



Figura 3: Retro escavadeira sendo pesada com solo Barreiras



Após a etapa de preparação das misturas, iniciou-se a execução dos aterros. Cada aterro foi confeccionado em camadas com altura de lançamento do solo menor que 25cm. Foi definido que cada aterro teria 5m de comprimento por 2,2m de largura e 0,6m de altura, com exceção do aterro denominado de Mistura 06 que teria 10m de comprimento por 2,2m de largura e 0,6 m de altura; estas dimensões foram definidas em função da quantidade de solo disponível para o experimento. A área do aterro era medida e feita a marcação com piquetes, em seguida era lançado o solo e compactado com o rolo pé de carneiro vibratório de 24 toneladas (Figuras 4 e 5). O número de passadas do rolo compactador foi de 9 a 10 vezes.

Depois de compactada cada camada passou pelo controle de compactação, onde foi verificada a umidade e o grau de compactação; após tais verificações a camada era liberada ou não para o lançamento de solo da próxima camada. Para este controle, foram retiradas três amostras de solo em cada camada. Quando os valores de umidade e grau de compactação da camada não se encontravam no intervalo especificado, o número de passadas do rolo compactador era acrescido e uma nova avaliação era feita. Caso os valores obtidos não se mostrassem adequados novamente, a camada era rejeitada. Todos os aterros foram executados com este controle, por camada. Nenhuma camada precisou de mais passadas do rolo compactador ou foi descartada.

Os aterros experimentais foram construídos numa área de bota-fora no ASMC em Salvador – Ba, cedido pela BATTRE – Bahia Transferência e Tratamento de Resíduos Ltda. A Área fica localizada na Estrada CIA-Aeroporto (BA – 526), Km 6,5, s/n.

**Figura 4: Solo sendo lançado**



**Figura 5: Solo sendo compactado**



**Figura 6: Ensaio de permeabilidade**



### Ensaio de Permeabilidade

Para avaliar a eficiência dos aterros experimentais na retenção de líquidos orgânicos foram feitos ensaios de permeabilidade *in situ*, utilizando como fluidos permeantes a água, a gasolina comercial brasileira, o óleo diesel comercial e o biodiesel. É válido ressaltar, que a gasolina brasileira utilizada era composta de uma mistura com aproximadamente 22% de álcool.

Os ensaios de permeabilidade de campo foram feitos com permeômetro Guelph. Com o objetivo de avaliar a performance dos aterros ao longo do tempo, foram realizadas duas campanhas de ensaios. A primeira campanha, foi realizada logo após a confecção dos aterros e a segunda campanha após seis meses da compactação dos aterros. A execução das campanhas de ensaios visou estudar o desempenho dos aterros experimentais a longo prazo.

Em cada aterro experimental foram feitos 8 (oito) ensaios de permeabilidade, sendo 2 (dois) com cada líquido percolante; ao final de cada campanha foram feitos 56 ensaios; totalizando 112 ensaios ao final das campanhas.

Em todos os ensaios o permeômetro foi instalado em um furo de 20 cm de profundidade com 10 cm de diâmetro, feito com um trado manual e, em alguns casos, com trado mecânico. Em cada furo foram feitos ensaios com duas cargas hidráulicas distintas.

Para a realização dos ensaios foram utilizados 3 (três) permeômetros Guelph, sendo que um era para uso exclusivo com água e os outros apropriados para uso com líquidos orgânicos. Estes permeômetros foram desenvolvidos no GEOAMB. Após a instalação do equipamento, era colocado um papelão cobrindo o furo, a fim de minimizar possíveis efeitos de evaporação do líquido percolante (Figura 6). A permeabilidade foi obtida através da equação 1.

$$k = \frac{CQ}{\left(2\pi H^2 + \pi a^2 C + 2\pi \frac{H}{\alpha}\right)} \quad \text{Equação (1)}$$

Na equação 1,  $k$  [LT<sup>2</sup>] é o coeficiente de permeabilidade;  $Q$  [L<sup>3</sup>T<sup>-1</sup>] é a vazão do regime permanente;  $H$  [L] é a altura da carga hidráulica;  $a$  [L] é o raio do orifício aberto pelo trado no solo;  $C$  é o fator de forma, pode ser obtido em função do

tipo de solo ensaiado e da relação (H/a);  $\alpha$  é estimado inicialmente por avaliação visual *in situ* da macroporosidade (fissuras, formigueiros, furos de raízes, etc) e textura do solo. Para o cálculo da permeabilidade foi utilizado parâmetro  $\alpha=0,01 \text{ cm}^{-1}$  sugerido por Elrick *et al.* (1989) para argilas compactadas (aterros, *liners*, sedimentos lacustres e marinhos).

## EFICIÊNCIA DOS ATERROS EXPERIMENTAIS

Os resultados de permeabilidade feitos com o permeâmetro Guelph da primeira campanha estão apresentados na tabela 4. Na tabela 5 estão os resultados da segunda campanha.

Tabela 4. Permeabilidade dos aterros para os líquidos água, diesel, biodiesel e gasolina – Primeira campanha.

Líquido Permeante	Permeabilidade (cm/s)							
	Fc	45 %	40%	37%	35%	33%	18%	27%
	Nº de ensaios	Mistura 1	Mistura 2	Mistura 3	Mistura 4	Mistura 5	Mistura 6	Mistura 7
Água	1	1,22E-07	1,43E-06	5,83E-07	2,61E-07	9,32E-08	1,72E-05	2,80E-05
	2	1,83E-06	3,29E-07	6,02E-07	1,23E-07	1,52E-07	1,19E-06	3,47E-06
Diesel	1	3,22E-07	3,47E-07	4,86E-07	3,22E-07	5,07E-07	9,43E-06	7,90E-07
	2	5,66E-07	2,82E-07	5,09E-07	4,95E-07	2,15E-06	5,89E-06	2,69E-06
Gasolina	1	2,31E-06	1,09E-06	1,38E-06	2,63E-06	2,48E-06	3,22E-06	4,00E-07
	2	3,00E-06	1,25E-06	3,13E-06	1,74E-06	1,57E-06	7,58E-06	1,07E-06
Biodiesel	1	3,98E-07	8,53E-06	1,27E-07	7,17E-07	1,46E-07	5,30E-06	1,16E-06
	2	2,40E-07	1,36E-07	7,46E-08	1,03E-06	9,78E-08	3,48E-06	1,27E-06

Tabela 5. Permeabilidade dos aterros para os líquidos água, diesel, biodiesel e gasolina – Segunda campanha.

Líquido Permeante	Permeabilidade (cm/s)							
	Fc	45 %	40%	37%	35%	33%	18%	27%
	Nº de ensaios	Mistura 1	Mistura 2	Mistura 3	Mistura 4	Mistura 5	Mistura 6	Mistura 7
Água	1	1,48E-06	1,39E-06	9,48E-07	1,94E-06	2,41E-06	1,40E-05	1,38E-06
	2	1,83E-06	1,51E-06	5,09E-07	5,46E-05	4,93E-07	1,63E-05	8,04E-07
Diesel	1	1,47E-06	3,48E-07	3,56E-06	1,90E-06	2,85E-06	1,83E-05	8,22E-07
	2	3,38E-06	1,85E-06	2,02E-06	1,72E-05	1,89E-06	3,37E-05	6,87E-07
Gasolina	1	2,40E-06	7,27E-05	1,76E-06	8,81E-05	3,32E-06	2,82E-05	3,58E-06
	2	7,24E-06	2,62E-06	2,21E-07	5,56E-05	7,60E-06	6,69E-05	5,22E-06
Biodiesel	1	2,11E-06	5,32E-06	2,37E-06	1,23E-06	4,36E-06	1,10E-05	1,12E-05
	2	7,92E-06	6,99E-07	8,63E-07	4,01E-06	4,14E-06	4,79E-06	1,01E-05

Na primeira campanha, quando o líquido percolado foi a água, o desempenho dos aterros das misturas 1, 2, 3, 4 e 5 (pertencentes a faixa granulométrica proposta) foi considerado satisfatório, apresentando permeabilidade na ordem de  $10^{-7} \text{ cm/s}$ , fato que já era esperado por possuírem uma quantidade de argila acima de 20%. Estes aterros apresentaram valores de permeabilidade cerca de 10 vezes menores que nos aterros das misturas 6 e 7. Ao serem percolados pelo biodiesel, os aterros apresentaram desempenho similar ao desempenho quando o líquido percolado foi à água. Ao usar o diesel como líquido percolante, os aterros das misturas 1, 2, 3 e 4 apresentaram melhor desempenho, com a permeabilidade na ordem de  $10^{-7} \text{ cm/s}$ . Estes aterros também apresentaram valores de permeabilidade cerca de 10 vezes menor que nos aterros das misturas 5, 6 e 7. Quando o líquido percolante foi a gasolina os aterros apresentaram valores de permeabilidade na ordem de  $10^{-6} \text{ cm/s}$ , exceto o aterro da mistura 7, no qual o valor de permeabilidade ficou na ordem de  $10^{-7} \text{ cm/s}$ , sendo este bom desempenho considerado inesperado, visto que a mistura 7 não pertence a faixa granulométrica ótima. Apesar das diferenças nos valores de permeabilidade, os resultados da primeira campanha podem ser considerados todos como satisfatórios. As figuras 7 a 10 evidenciam os resultados obtidos.

O limite de permeabilidade máxima apresentado nas figuras de 7 a 10 refere-se a permeabilidade à água, este limite de permeabilidade é apresentado pela NBR 17.505 como adequado para garantir a segurança ambiental. No entanto, como já mencionado, a permeabilidade referente à água não se mostra adequado para avaliar a eficiência de bacias de contenção de líquidos orgânicos.

Figura 7: Permeabilidade à água

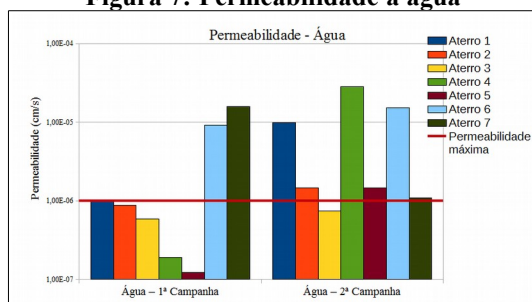
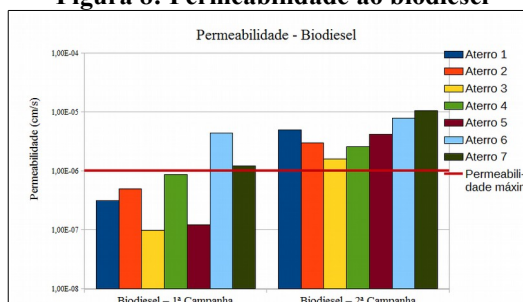
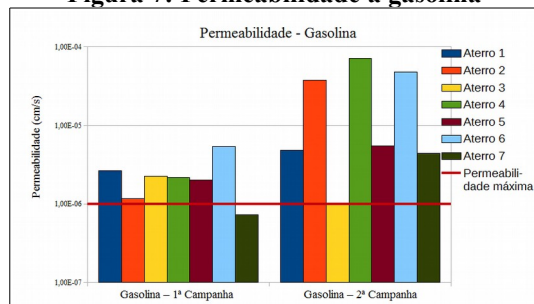


Figura 8: Permeabilidade ao biodiesel

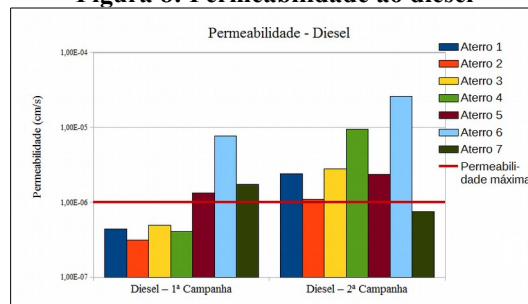


Na segunda campanha, em função da exposição das camadas compactadas de solo às condições ambientais, a eficiência na retenção de água reduziu, a permeabilidade aumentou, ficando na ordem de  $10^{-6}$  cm/s, para os aterros das misturas 1, 2, 3 e 5. Apesar de ter aumentado a permeabilidade, estes valores ainda podem ser considerados como satisfatórios, principalmente se considerarmos o tempo necessário para que o líquido percolante atinja uma profundidade de 0,6m, considerado como a espessura da camada compactada. O aterro da mistura 4 obteve valor de permeabilidade na ordem de  $10^{-5}$  cm/s. Os aterros de mistura 6 e 7 mantiveram o valor de permeabilidade similar ao da primeira campanha. O desempenho dos aterros referente a retenção de água é evidenciado na figura 8.

**Figura 7: Permeabilidade à gasolina**



**Figura 8: Permeabilidade ao diesel**



Ao analisar as tabelas e figuras apresentadas é evidente que os resultados da primeira campanha apresentam valores de permeabilidade mais baixos do que os valores obtidos na segunda campanha, em quase a totalidade dos ensaios realizados e para todos os fluidos empregados. Isso pode ter sido influenciado pela umidade do solo, pois a primeira campanha foi realizada logo após o término da construção dos aterros, quando o solo possuía altos valores de grau de saturação à água. Além disso, os ensaios foram feitos no período chuvoso, que compreende de Abril a Julho em Salvador. Já a segunda campanha foi realizada após seis meses de construção dos aterros e no período seco, após o solo ser exposto a diversos ciclos de umedecimento e secagem, o que tende a provocar o aparecimento de trincas no solo.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesta pesquisa para avaliar o comportamento de barreiras minerais construídas com solos que atendam a faixa granulométrica proposta, resultou nas seguintes conclusões:

- O grau de saturação à água influenciou os valores de permeabilidade. As intempéries às quais os aterros estão expostos reduzem a eficiência dos mesmos ao longo do tempo.
- Ao avaliar os aterros, segundo o menor valor de permeabilidade apresentado em campo, os que possuem o teor de finos pertencentes à faixa granulométrica proposta (as misturas 1, 2, 3, 4 e 5) apresentaram desempenho satisfatório para os líquidos orgânicos, com permeabilidade média na ordem de  $10^{-7}$  cm/s, para os resultados da primeira campanha e permeabilidade média na ordem de  $10^{-6}$  cm/s, para os resultados da segunda campanha.
- Os aterros experimentais, apesar de não atenderem todos os parâmetros da faixa granulométrica propostas, apresentaram bom desempenho na contenção de líquidos orgânicos, indicando que os valores especificado na referida faixa deverão passar por ajustes.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPESB e PETROBRAS pelo fomento à pesquisa e às bolsas de pesquisa, e ao Laboratório de Geotecnia Ambiental da UFBA pelo suporte oferecido.

## REFERÊNCIAS

- ELRICK, D.E.; REYNOLDS, W.D. And TAN, K.A. *Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analysis*. Ground water monitoring review. Vol. 19, 184-193; 1989.
- LISBOA, Rafael Luis L. *Determinação da condutividade hidráulica não saturada de solos residuais com permeâmetro Guelph e ensaios de laboratório*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa. 2006.
- MACHADO, S. L. *Relatório Final: Proposição de faixa granulométrica ótimas para a confecção de barreiras minerais para líquidos orgânicos*. 2011.
- BAHIA. Decreto Nº 11.235 de 10 de Outubro de 2008. *Aprova o Regulamento da Lei nº 10.431, de 20 de dezembro de 2006, que institui a Política de Meio Ambiente e de Proteção à Biodiversidade do Estado da Bahia [...]*. 2008. Disponível em: <<http://www.meioambiente.ba.gov.br/legislacao/Decretos%20Estaduais/Meio%20Ambiente-Biodiversidade/Dec11235.pdf>>. Acesso em: 20/11/2013.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 17505 *Armazenagem de líquidos inflamáveis e combustíveis. Parte 2: Armazenamento em tanques, em vasos e em recipientes com capacidade superior a 3000 L*. 2013.