

Barreiras minerais de solo compactado: comparação da permeabilidade em campo e em laboratório, para diferentes tipos de fluido.

Zenite da Silva Carvalho

Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, E-mail: zenite.esa@gmail.com

Sandro Lemos Machado

Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, E-mail: smachado@ufba.br

Míriam de Fátima Carvalho

Universidade Católica do Salvador, Salvador, Brasil. E-mail: mfcmachado@gmail.com.

Digna de Faria Mariz

Petrobras Petróleo Brasileiro, Rio de Janeiro, Brasil. E-mail: digna@petrobras.com.br

RESUMO: A permeabilidade dos solos é um parâmetro de grande importância para a engenharia, sendo muito utilizada para modelar o movimento de líquidos no solo. A permeabilidade a água é o parâmetro utilizado para avaliar a eficiência de barreiras minerais de solo compactado para a contenção de hidrocarbonetos. No entanto, diversos estudos têm demonstrado que a água não pode ser utilizada como líquido de referência para avaliar a permeabilidade de líquidos apolares, como os hidrocarbonetos. Objetivando comparar os resultados de permeabilidade obtidos *in situ* e em laboratório, em 7 (sete) aterros experimentais construídos com os solos: residual do Granulito/Gnaiss (comum na cidade de Salvador Ba) e sedimentar Barreiras (comum em Salvador e Região Metropolitana), bem como misturas destes, em diferentes proporções, para que fossem obtidas características granulométrica distintas. Foram usados como percolantes a água e líquidos orgânicos (gasolina, diesel e biodiesel em campo, e diesel em laboratório). Os ensaios em campo foram realizados em dois períodos distintos, a fim de avaliar a interferência das intempéries na estrutura do solo dos aterros experimentais. De forma geral os valores de permeabilidade *in situ*, na primeira campanha de ensaios foram menores que os valores obtidos na segunda campanha, isso para todos os líquidos percolantes usados. Os valores de permeabilidade da segunda campanha de ensaios foram maiores devido ao surgimento de trincas nos aterros devido a exposição as intempéries, chuva e sol, visto que a segunda campanha se iniciou seis meses após a construção dos aterros. Os valores de permeabilidade obtidos em laboratório foram comparados aos valores obtidos durante a segunda campanha de ensaios. Quando o líquido percolante foi a água os valores de permeabilidade obtidos em laboratório ficaram próximos dos valores laboratório. Quando o líquido percolante foi o diesel, os valores de permeabilidade em campo foram menores que os valores obtidos em laboratório. Com base nos resultados conclui-se que deve ter cuidado ao analisar permeabilidade por diferentes líquidos visto que ainda não se tem uma unanimidade de todos os fatores que afetam a permeabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: Solo compactado, Permeabilidade *in situ*, Permeabilidade laboratório.

1 INTRODUÇÃO

A permeabilidade dos solos é um parâmetro muito utilizada para modelar o movimento de líquidos no solo. Assim, a permeabilidade a água

é utilizada para avaliar a eficiência de barreiras minerais de solo compactado, como barragens e bacias de contenção para líquidos orgânicos.

Bacias de contenção são mecanismos de proteção e prevenção dos solos e águas

subterrâneas, em eventuais vazamentos. Nos terminais de armazenamento de derivados de petróleo os tanques verticais de estocagem são colocados no interior de bacias de contenção, 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. No entanto, diversos estudos têm demonstrado que a água não pode ser utilizada como líquido de referência para avaliar a permeabilidade de líquidos apolares, como os líquidos orgânicos.

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 1×10^{-6} cm/s, referenciado à água a 20°C, ou de 1×10^{-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 cm².

Visando aperfeiçoar tais mecanismos de proteção, Machado *et al.* (2011) desenvolveu uma proposta de faixa granulométrica ótima com potencial para barreiras de contenção de líquidos orgânicos. Assim, bacias de contenção construídas com solos que atendessem a proposta de faixa granulométrica ótima devem apresentar valores de permeabilidade, à líquidos orgânicos, baixos para garantir a proteção ambiental. É neste escopo que se insere o objetivo de estudo deste artigo, comparar os valores de permeabilidade à líquidos orgânicos, obtidos em aterros experimentais construídos com solos que atendam as faixas granulométricas propostas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De uma maneira geral os fatores que interferem na permeabilidade dependem das propriedades do solo e das propriedades dos fluidos percolantes. No entanto, não há unanimidade sobre quais propriedades do solo e dos fluidos influenciam, de forma significativa, a permeabilidade de solos argilosos; gerando diversas pesquisas sobre o tema, bem como uma série de modelos matemáticos para prever permeabilidade para diferentes líquidos.

Sharma e Lewis (1994) citam que para solos arenosos, os parâmetros do fluido, massa específica e viscosidade dinâmica do fluido são suficientes para avaliação da percolação, no entanto para solos argilosos a densidade e a viscosidade não são as únicas propriedades do permeante que influenciam a permeabilidade; outros fatores físico-químicos podem influenciar significativamente os valores de permeabilidade, tais como a constante dielétrica, a concentração eletrolítica, a troca catiônica. Estes pesquisadores apontam ainda algumas propriedades do solo que podem influenciar a permeabilidade, sendo, o tamanho das partículas, índice de vazios, composição, estrutura e grau de saturação.

Shackelford (1994) mostrou em sua pesquisa que líquidos percolantes com constantes dielétricas menores (em relação a água) causam, possivelmente, a diminuição na espessura (contração) da camada dupla elétrica das partículas, havendo então sua agregação e floculação, com consequente aumento do tamanho dos poros e aumento da permeabilidade.

Segundo Oliveira (2001), quanto maior for a constante dielétrica dos fluidos permeando sedimentos argilosos, maior será a propensão das argilas de adsorver o líquido. É apontado na literatura que a constante dielétrica do líquido influencia fortemente o volume de líquido adsorvido pelas argilas, fator que também determina o grau de expansividade da argila.

Shaw (1975) apresenta a dupla camada elétrica como constituída por duas regiões, isto é, uma região interna, que pode incluir íons adsorvidos, e uma região difusa na qual os íons se encontram distribuídos de acordo com a influência das forças elétricas e do movimento térmico. Considerando a parte difusa, o

tratamento mais simples foi desenvolvido por Gouy e Chapman. Este modelo baseia-se em: (1) a superfície é supostamente plana, de extensão infinita e com cargas distribuídas de maneira uniforme; (2) os íons na parte difusa da dupla camada são encarados como cargas puntiformes distribuídas de acordo com a distribuição de Boltzmann; (3) o solvente influencia a dupla camada somente através de sua constante dielétrica, que tem o mesmo valor através de toda a parte difusa; e (4) supõe-se para estudo um eletrólito isolado e simétrico, de carga z . Essa suposição facilita as derivações, perdendo-se pouco de exatidão, dada a pouca importância da carga do co-íon. A figura 1 ilustra a camada dupla difusa.

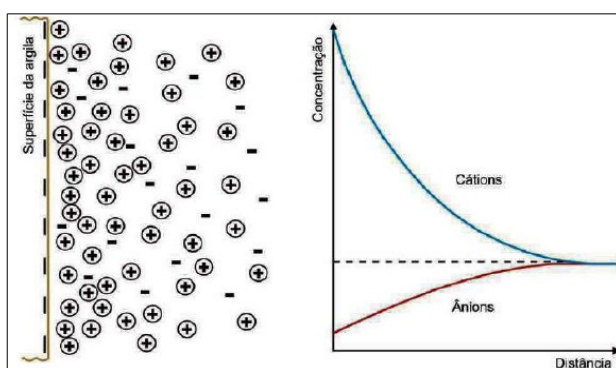


Figura 1. Representação esquemática da dupla camada elétrica difusa. (Adaptado de Shaw, 1975).

Melegari (2005) realizou estudos de permeabilidade nos solos das bacias de contenção do Terminal de Armazenamento de Cubatão – SP. O estudo concluiu que em 27% das amostras analisadas a permeabilidade para os combustíveis foi maior que para a água. Ou seja, em caso de eventuais derramamentos, os produtos poderão migrar mais rapidamente que a água. Com esses resultados, chegou à conclusão que a eficiência das bacias de contenção não deve ser baseada exclusivamente em critérios de permeabilidade em relação a água. Para Melegari (2005) a eficiência das bacias de contenção deve ser avaliada levando em consideração as características dos produtos armazenados, o coeficiente de permeabilidade do material utilizado na impermeabilização em relação ao produto armazenado, a profundidade do lençol freático, as distâncias das bacias de contenção dos pontos de exposição.

Amorim Jr. (2007) realizou estudos para avaliar a eficiência de impermeabilização das bacias de contenção de tanques verticais de

armazenamento de produtos, e chegou a conclusão que em 52% das bacias avaliadas o coeficiente de permeabilidade para os produtos armazenados foi maior que o coeficiente determinado para água, evidenciando a influência do fluido na permeabilidade. Amorim Jr. (2007) também relata a necessidade de se estabelecer no Brasil uma legislação federal específica de impermeabilização das bacias de contenção de áreas de armazenamento de derivados de petróleo e etanol, bem como reformular os critérios de impermeabilização determinados na ABNT NBR 17505-2/2006, de forma que considere as especificidades de cada local. A referida norma passou por atualização em 2013, mas não foram alteradas as recomendações para bacias de contenção.

Em suma, a água não deve 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 põem em risco a segurança ambiental na grande maioria dos casos. Isto ocorre 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.

2.1 Proposta de faixa granulométrica ótima

Uma descrição em detalhes de como foi elaborada a proposta de faixa granulométrica ótima para solos potencialmente utilizáveis na contenção de hidrocarbonetos pode ser encontrada no trabalho de Machado *et al.* (2011). A tabela 1 apresenta a faixa de variação proposta.

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

Parâmetro	Faixa de valores		
Limite de Líquidos	W _L	55%	75%
Índice de Plasticidade	IP	28%	42%
Teor de Finos	F _c	33%	60%
Teor de Argila	C _c	27%	45%
Teor de Areia	S _c	34%	57%
Teor de Pedregulho	G _c	≤2%	

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)	$\rho_{\text{máx}}$	1,65 g/cm ³	1,83 g/cm ³

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.

3 METODOLOGIA

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. Foram realizados ensaios de caracterização e de compactação na energia do Proctor modificado para levantar as suas propriedades índices.

Para se obter solos com diferentes características, foram preparadas misturas de solos levando em consideração as suas propriedades índices e as faixas granulométricas propostas. 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. Após a etapa de preparação das misturas, iniciou-se a execução dos aterros seguindo as especificações. 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. 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.

Tabela 3. Caracterização granulométrica e de compactação das misturas.

Identificação das Amostras	Proporção de solo Granulito/Barreiras (%)	Ensaio de Granulometria (%)						Ensaio de consistência	
		Ped	AG	AM	AF	Silt	Arg	W _L	W _P
Mistura 01	100/0	1	12	24	18	17	28	41	20
Mistura 02	90/10	2	11	31	16	17	23	31	18
Mistura 03	79/21	3	9	33	18	14	23	30	17
Mistura 04	69/31	1	9	37	18	13	22	28	16
Mistura 05	58/42	0	16	33	18	12	21	28	17
Mistura 06	0/100	0	18	41	23	6	12	NL	NP
Mistura 07	-	1	15	35	22	8	19	25	15

*Energia do Proctor Modificado

4.1 Ensaios de permeabilidade

4.1.1 Permeabilidade *in situ*

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

Os ensaios de permeabilidade de campo foram feitos com permeâmetro Guelph. Com o objetivo de avaliar o desempenho dos aterros ao longo do tempo, foram realizadas duas campanhas de ensaios. A primeira campanha, foi realizada logo após a confecção dos aterros (março a agosto de 2013) e a segunda campanha após seis meses da compactação dos aterros (novembro de 2013 a janeiro de 2014.). Em cada aterro experimental foram feitos 8 (oito) ensaios de permeabilidade, sendo 2 (dois) com cada líquido percolante, totalizando 56 ensaios por campanha e 112 ensaios ao final das duas campanhas.

Em todos os ensaios o permeâmetro foi instalado em um furo de 20cm de profundidade com 10cm de diâmetro, feito com um trado manual e, em alguns casos, com trado mecânico.

Em cada furo foram feitos ensaios com duas cargas distintas (Figura 2).

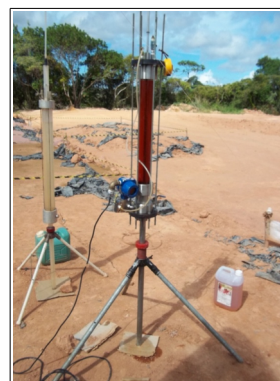


Figura 2. Ensaio de permeabilidade com permeâmetro Guelph.

Para a realização dos ensaios foram utilizados 3 (três) permeâmetros Guelph, sendo que um era para uso exclusivo com água e os outros apropriados para uso com líquidos orgânicos. Estes permeâmetros 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. A permeabilidade foi obtida através da equação 1.

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

Na equação 1, k [LT²] é o coeficiente de permeabilidade; Q [L³T⁻¹] 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); α 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).

4.1.2 Permeabilidade em laboratório

Foram realizados ensaios de permeabilidade a carga constante, em permeâmetro de parede flexível (uso de células triaxiais) (Figura 3).

Neste caso, a carga hidráulica foi ajustada em função da permeabilidade do solo, de forma a se obter valores de permeabilidade em períodos de tempo inferiores a um mês. A carga hidráulica variou de 1,5m a 2,0m.



Figura 3. Permeâmetro de parede flexível

Foram retirados blocos de amostras indeformadas de cada aterro experimental, no período de janeiro a março de 2014. Foram moldados corpos de prova (CP) a partir dos blocos indeformados. Os corpos de prova foram medidos e pesados e, em geral, apresentaram dimensões aproximadas de 5cm de diâmetro e 10cm de comprimento. O solo excedente do processo de talhamento foi amostrado logo após moldagem do corpo de prova para obtenção da umidade, que foi usada nos cálculos dos índices físicos do CP.

Para estes ensaios, foram utilizados como permeantes o diesel e a água, como referência. Foram feitos 5 ensaios de permeabilidade com cada fluido, totalizando 10 ensaio por bloco. A permeabilidade foi calculada com o auxílio da equação 2, para carga constante.

$$k = \frac{V \times L}{A \times \Delta h \times \Delta t} \quad (2)$$

Onde, V [L³] é o volume de fluido percolado; L [L] é a altura do corpo de prova; A [L²] é a área da seção transversal do corpo de prova; Δh [L] é a diferença da carga hidráulica entre a entrada e saída do corpo de prova; e Δt [T] é o intervalo de tempo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 4 apresenta os resultados de permeabilidade *in situ* obtidos na primeira campanha.

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 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 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 cm/s, exceto o aterro da mistura 7, no qual o valor de permeabilidade ficou na ordem de 10⁻⁷ cm/s, sendo este bom desempenho considerado inesperado, visto que a mistura 7 não pertence a faixa granulométrica ótima.

O limite de permeabilidade máxima apresentado nas figuras 4 e 5 refere-se ao limite de permeabilidade à água, apresentado pela NBR 17.505, como adequado para garantir a segurança ambiental. Apesar das diferenças nos valores de permeabilidade, os resultados da primeira campanha podem ser considerados como satisfatórios.

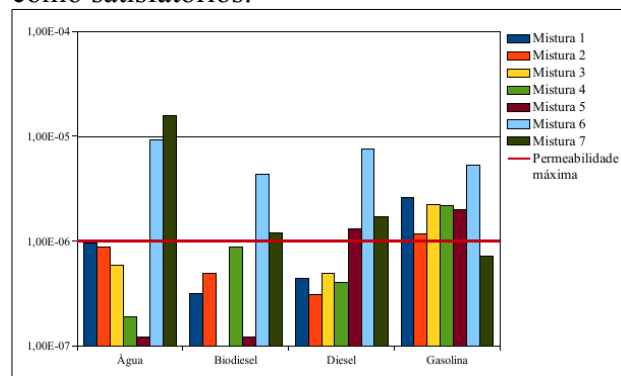


Figura 4. Permeabilidade *in situ* primeira campanha

A figura 5 apresenta os resultados de permeabilidade *in situ* obtidos na segunda campanha.

Na segunda campanha, em função da exposição das camadas compactadas de solo às condições ambientais, ou seja, após o solo ser exposto a diversos ciclos de umedecimento e secagem, o que tende a provocar o

aparecimento de trincas no solo; a eficiência dos aterros experimentais reduziu.

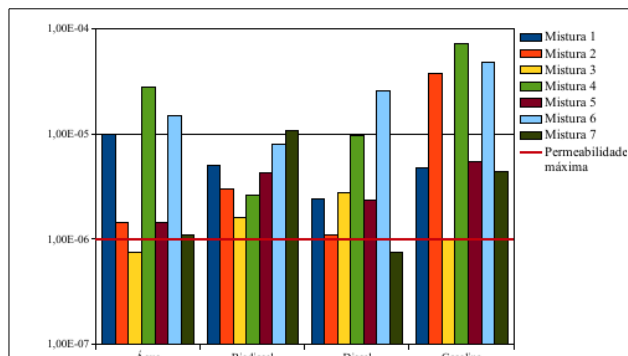


Figura 5. Permeabilidade *in situ* segunda campanha

A permeabilidade à todos os permeantes aumentou. A maior parte dos aterros pertencentes a faixa ótima obteve permeabilidade na ordem de 10^{-6} cm/s. 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.

Os ensaio de laboratório foram realizados com diesel e água. Nestes ensaios, os aterros de mistura 1, 3 e 7 obtiveram os melhores resultados, apresentando valores médios de permeabilidade ao diesel de $1,16 \times 10^{-6}$ cm/s, 12×10^{-6} cm/s e $3,88 \times 10^{-6}$ cm/s, respectivamente. Quando o líquido percolante foi a água os aterros das mistura 1, 3 e 7 mantiveram o melhor desempenho, com $k = 1,19 \times 10^{-7}$ cm/s para a mistura 1, $k = 4,13 \times 10^{-7}$ cm/s para a mistura 3 e $k = 6,25 \times 10^{-7}$ cm/s para a mistura 7.

De forma geral, os valores de permeabilidade obtidos em laboratório foram maiores do que os valores obtidos na primeira campanha de ensaios em campo, esta diferença era esperada, visto que as amostras indeformadas foram tiradas cerca de 10 meses após a construção dos aterros experimentais e no período seco. Por isso, os valores de permeabilidade obtidos em laboratório são mais similares aos valores obtidos na segunda campanha de ensaios de campo, também realizada no período seco.

A figura 6 evidencia a diferença dos resultados de permeabilidade obtidos em laboratório e os resultados obtidos na segunda campanha de ensaios em campo. A reta representa a obtenção de valores iguais em campo e laboratório e a distância dos pontos até a mesma, é a diferença nos valores de permeabilidade. Quando o permeante foi a água, as misturas 1 e 4 apresentaram maior

permeabilidade em campo, estando mais distantes da reta. Para o permeante diesel, a permeabilidade em campo foi em geral menor que a permeabilidade em laboratório.

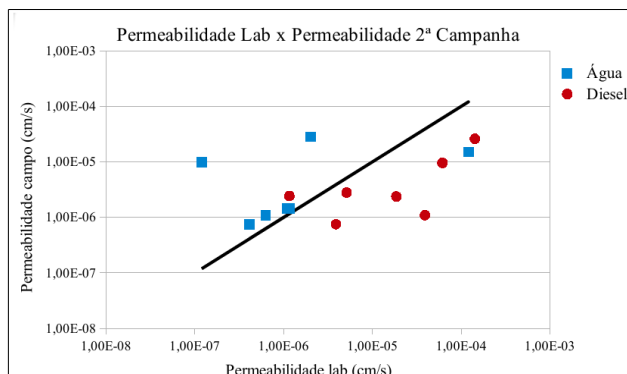


Figura 6. Comparativo dos valores de permeabilidade laboratório e *in situ* a segunda campanha.

7 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesta pesquisa para avaliar a permeabilidade por diferentes líquidos em barreiras minerais construídas com solos que atendam a proposição de faixa granulométrica ótima para contenção de líquidos orgânicos, conclui-se, de forma geral, que os valores de permeabilidade em laboratório foram maiores que os valores de permeabilidade obtidos em campo. No entanto tal divergência não ultrapassou 90% do intervalo de confiança. Conclui-se também que:

- Os valores de permeabilidade à água difere dos valores de permeabilidade aos líquidos orgânicos, cerca de 10 vezes, este valor pode ser considerado pequeno em comparação aos valores encontrados por outros pesquisadores, visto que o aterro experimental foi desenvolvido para minimizar a influencia da interação líquido/solo.
- O grau de saturação a água influenciou os valores de permeabilidade. As intempéries às quais os aterros estão expostos reduzem a eficiência dos mesmos ao longo do tempo.
- Os aterros experimentais, apesar de não atenderem todos os parâmetros da faixa granulométricas proposta por Machado *et. al.* (2011), apresentaram bom desempenho na contenção de líquidos orgânicos, indicando que os valores especificado na referida faixa necessita de pequenos 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

- 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.
- 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.
- 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*. 2006.
- Machado, S. L. *Relatório Final: Proposição de faixa granulométricas ótimas para a confecção de barreiras minerais para líquidos orgânicos*. 2011.
- Sharma, Hari D.; Lewis, Sangeeta P. *Waste Containment Systems, Waste Stabilization, and Landfills: Design and Evaluation*. John Wiley & Sons. Canadá, 1994.
- Shackelford, C. D. *Waste-soil interactions that alter hydraulic conductivity*. In: *Hydraulic Conductivity and waste contaminant Transport in Soil*. David E. Daniel and Stephen J. Trautwein. Eds. ASTM STP 1142. Philadelphia, 1994.
- Shaw, D. J. *Introdução à química dos colóides e de superfícies*. Tradução: Juergen Heinrich Maar. Editora Edgard Blücher. Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1975.
- Oliveira, J. C. S. de. *Contaminação de Sedimentos Argilosos por Combustíveis Automotivos: Problemas de Avaliação da Permeabilidade*. 116 p. Tese de Doutorado em Geologia, Instituto de Geociências, UFBA, Salvador, 2001.
- Melegari, S. P. *Eficiência das bacias de contenção em áreas de armazenamento de petróleo e derivados em caso de derramamentos superficiais*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFSC. Florianópolis, 2005.
- Amorim Jr., C. J. *Avaliação dos Critérios de Impermeabilização de Bacias de Contenção da Norma ABNT NBR 17505-2/2006 para Terminais de Armazenamento de Petróleo e Derivados*. Dissertação (Mestrado) . Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. UFSC. . Florianópolis, 2007.
- Elrick, D. E.; Reynolds, W.D. E Tan, K.A. *Hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analysis*. Ground water