



VI-021 - AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE IMPERMEABILIZAÇÃO DAS BACIAS DE CONTENÇÃO DE TRÊS TERMINAIS DE ARMAZENAMENTO DE DERIVADOS DE PETRÓLEO E ETANOL

Carlos José de Amorim Júnior⁽¹⁾

Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Jorge Ibirajara E. Coelho

Gerente de Meio Ambiente TRANSPETRO. Engenheiro Químico pela Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Aline Matulja

Bolsista de iniciação científica. Acadêmica do curso de graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

Márcio Roberto Schneider

Pesquisador do Laboratório de Remediação de Solos e Águas Subterrâneas (REMAS/UFSC).
Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina.

Henry Xavier Corseuil

Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.
Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade de Michigan, EUA.

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Laboratório de Remediação de Solos e Águas Subterrâneas – REMAS, Campus Universitário, Trindade, Florianópolis / SC. CEP 88040-970. Caixa Postal 476. Tel.: (48) 3721-7569. Home page: <http://www.remas.ufsc.br>. E-mail: corseuil@ens.ufsc.br.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar a capacidade de impermeabilização das bacias de contenção de três terminais de armazenamento de derivados de petróleo e etanol, e verificar se o coeficiente de permeabilidade, exigido pela ABNT NBR 17505-2/2006, referenciada à água, é um critério suficiente e conclusivo na tomada de decisão sobre impermeabilização de bacias de contenção. Neste sentido, foram coletadas amostras indeformadas de solo de todas as bacias de contenção e realizados ensaios de permeabilidade referenciados à água e aos respectivos produtos armazenados nas mesmas. Também foram realizadas análises de granulometria e raios-X, e determinação da porosidade das amostras. A fração granulométrica predominante foi de solo argiloso-siltoso nos Terminais 1 e 2, e arenoso fino no Terminal 3. Análises de raios-X da fração argilosa indicaram a presença de argilominerais com características levemente expansivas, sendo predominante a maioria com características não expansivas. A faixa de porosidade encontrada nos solos foi de 21 a 33%. Os valores de permeabilidade dos solos percolados pelos produtos variaram de 10^{-8} cm/s a 10^{-3} cm/s. A permeabilidade ao óleo combustível foi até 10^5 vezes menor que à água. Em 11 das 21 bacias de contenção que apresentaram amostras de solo percoladas com água e produto, o coeficiente de permeabilidade médio aos produtos foi maior que à água. Essas variações da permeabilidade foram influenciadas pela heterogeneidade entre os solos, pelas propriedades dos produtos percolados e pela presença de argilominerais expansivos no solo. Os resultados demonstraram que não é seguro definir critérios de impermeabilização de bacias de contenção baseados unicamente no coeficiente de permeabilidade, referenciado à água, conforme especifica a NBR 17505-2, verificando a necessidade de se estabelecer normas e legislações nacionais a fim de propor critérios mais eficientes, o qual considere as especificidades de cada local.

PALAVRAS-CHAVE: Bacia de Contenção, Impermeabilização, Solo Argiloso, Derivados de Petróleo.

INTRODUÇÃO

Uma das principais fontes de contaminação de solos e águas subterrâneas é decorrente de vazamentos de tanques verticais e subterrâneos de armazenamento de produtos químicos. O cadastro sobre áreas impactadas da Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) registrou, até novembro de 2006, 1.822 áreas contaminadas em todo estado. A contaminação do solo pode gerar problemas como danos à saúde humana, comprometimento da qualidade dos recursos hídricos,



restrições ao uso do solo, danos ao patrimônio público e privado, além de danos ao meio ambiente (CETESB, 2006).

No Brasil ainda não existe uma legislação federal específica estabelecendo os critérios de impermeabilização em áreas de armazenamento de líquidos inflamáveis. A Bahia é o único estado que possui uma legislação distinta sobre capacidade de retenção de bacias de contenção, a qual estabelece que tais áreas devem ser providas de diques de contenção devidamente impermeabilizados (Decreto Estadual nº. 7.967/01, art. 111º). Apesar disso, alguns estados têm apresentado recomendações sobre impermeabilização tomando como base a norma brasileira ABNT NBR 17505-2/2006 (substituta da NBR 7505-1/2000, cancelada em 03/07/2006). A NBR 17505-2 especifica que bacias de contenção devem ter coeficiente de permeabilidade máximo de 10^{-6} cm/s, ou 10^{-4} cm/s, caso possuam canaletas de drenagem com seção mínima de 900 cm^2 , ambos os coeficientes referenciados à água a 20°C . Para atingir tais coeficientes de permeabilidade, o solo argiloso compactado é o material predominantemente empregado na impermeabilização de bacias de contenção devido à eficiência comprovada na retenção da água e ao baixo custo de implementação. Entretanto, diversos pesquisadores, como Brown e Thomas (1984), Fernandez e Quigley (1985), Anderson et al. (1985), Oliveira (2001) e Melegari (2005), demonstraram que solos argilosos permeados por compostos orgânicos apresentaram coeficientes de permeabilidade superiores aos obtidos em ensaios com água.

Nos EUA, a principal regulamentação referente à impermeabilização de bacias de contenção é o Registro Federal 40 CFR 112 de 2002 da USEPA, que estabelece que estas áreas devem ser “suficientemente impermeáveis” para conter os derramamentos dos compostos armazenados nos tanques (USEPA, 2002). Com base nesta regulamentação, a USEPA (2005) sugere que as bacias de contenção devem ter capacidade de reter os produtos derramados por um tempo suficiente para que as medidas emergenciais sejam tomadas, sem o comprometimento de recursos hídricos superficiais, subterrâneos e demais áreas sensíveis na área de influência da bacia de contenção. Assim, a USEPA (2005) permite ao gerente/operador do sistema de armazenamento de combustíveis maior flexibilidade no projeto do sistema de contenção para prevenir contaminações, tomando como base, além da boa prática de engenharia, as propriedades dos produtos armazenados e as especificidades do solo do local, bem como os pontos de exposição.

O objetivo principal deste estudo foi avaliar a capacidade de impermeabilização das bacias de contenção de três terminais de armazenamento de derivados de petróleo e etanol, verificando se o coeficiente de permeabilidade especificado pela NBR 17505-2, referenciado à água, é um critério suficiente para a tomada de decisão sobre a impermeabilização de bacias de contenção, com foco na proteção eficaz dos recursos hídricos subterrâneos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado com base em resultados experimentais de estudos de “Avaliação da eficiência das bacias de contenção de três terminais de armazenamento de petróleo e derivados do estado da Bahia”, realizado pelo Laboratório de Remediação de Solos e Águas Subterrâneas (REMAS/UFSC) em parceria com a TRANSPETRO PETROBRAS S.A. O levantamento de dados de campo e a elaboração dos relatórios técnicos foram realizados durante o ano de 2006, envolvendo um grande número de pessoas do REMAS/UFSC, CENPES/PETROBRAS e TRANSPETRO/PETROBRAS.

Nos três terminais em conjunto foram coletadas 110 amostras de solo deformado e indeformado em 27 bacias de contenção. De cada bacia de contenção, foram coletadas de duas a três amostras indeformadas de solo das camadas superficiais para realização de ensaios de permeabilidade referenciados à água e ao produto armazenado nos tanques da mesma. Os ensaios de permeabilidade foram realizados em permeômetros, alternados ora de nível constante, ora de nível variável, dependendo da propriedade do líquido percolador, montados na estrutura laboratorial da Fazenda Experimental da Ressacada, na UFSC. Ainda de posse das amostras indeformadas em campo, foram realizadas medições da massa específica aparente do solo, através do método gravimétrico, para o cálculo da porosidade. Ao redor de cada região amostrada, foram coletadas amostras de solo deformadas para a classificação do solo através das análises de granulometria e raios-X. As análises de granulometria, realizadas de acordo com a ABNT NBR 7181/1984, permitiram determinar os percentuais em peso das frações constituintes dos solos. A difratometria de raios-X, analisada em um difratômetro SIEMENS BRUKER AXS (Modelo D5000), determinou os argilominerais presentes nas frações argilosas dos solos.



RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das análises granulométricas demonstraram que as bacias apresentam composições granulométricas distintas entre si. Nos terminais 1 e 2, em aproximadamente 70% das amostras predominou a fração granulométrica argila + silte. No Terminal 3 predominou em mais de 80% das amostras a fração areia fina. As análises complementares de raios-X da fração argilosa dos solos indicaram a predominância dos argilominerais interestratificado illita/esmectita - I/S (levemente expansivo), caulinita e illita (não expansivos). A esmectita, argilomineral com característica expansiva, foi detectada em apenas uma amostra de solo da bacia 9 do Terminal 3. A faixa de porosidade média encontrada nos solos das bacias foi de 21 a 33%. Essas variações entre os valores de porosidade das bacias de contenção evidenciam novamente a heterogeneidade existente entre os solos das bacias de contenção.

Os resultados dos ensaios de permeabilidade dos solos percolados por produto variaram de 10^{-8} cm/s a 10^{-3} cm/s. O amplo intervalo encontrado nos resultados pode estar relacionado às diferentes composições entre os solos das bacias de contenção, verificadas nos resultados de granulometria e porosidade, bem como as diferentes características físico-químicas dos produtos percolados nos ensaios de permeabilidade. Para avaliar as exigências da NBR 17505-2, algumas amostras foram submetidas a ensaios de permeabilidade à água e aos produtos. Os coeficientes de permeabilidades dos solos à água variaram de 10^{-8} cm/s a 10^{-3} cm/s. Além dessas variações nos resultados dos ensaios de permeabilidade entre diferentes solos, é possível verificar discrepância entre os valores dos coeficientes de permeabilidade à água e ao produto de um mesmo solo (Figura 1). Os produtos chamados escuros como gasóleo, óleo combustível e petróleo possuem elevados valores de viscosidade quando comparados à água e aos produtos claros como gasolina, nafta e diesel, e assim, apresentam baixíssimas mobilidades (relação entre a densidade $[\rho]$ e viscosidade do líquido $[\mu]$) no solo (MELEGARI, 2005). Essa influência da mobilidade do líquido percolado no valor do coeficiente de permeabilidade também foi verificada nos resultados, principalmente nos ensaios de permeabilidade das amostras de solo submetidas aos produtos óleo combustível e gasóleo. Todos os valores do coeficiente de permeabilidade das amostras percoladas por óleo combustível ou gasóleo ficaram na ordem de 10^{-8} cm/s, independente de essas amostras apresentarem valores de permeabilidade à água entre as ordens de grandeza 10^{-6} e 10^{-3} cm/s. Nesse caso, foi possível verificar que a redução da mobilidade do líquido percolado influenciou diretamente na redução do coeficiente de permeabilidade do meio (K), como descrito por Nutting (1930) na equação $K = k \cdot g \cdot \rho / \mu$ (onde k é a permeabilidade intrínseca do meio e g é a aceleração da gravidade).

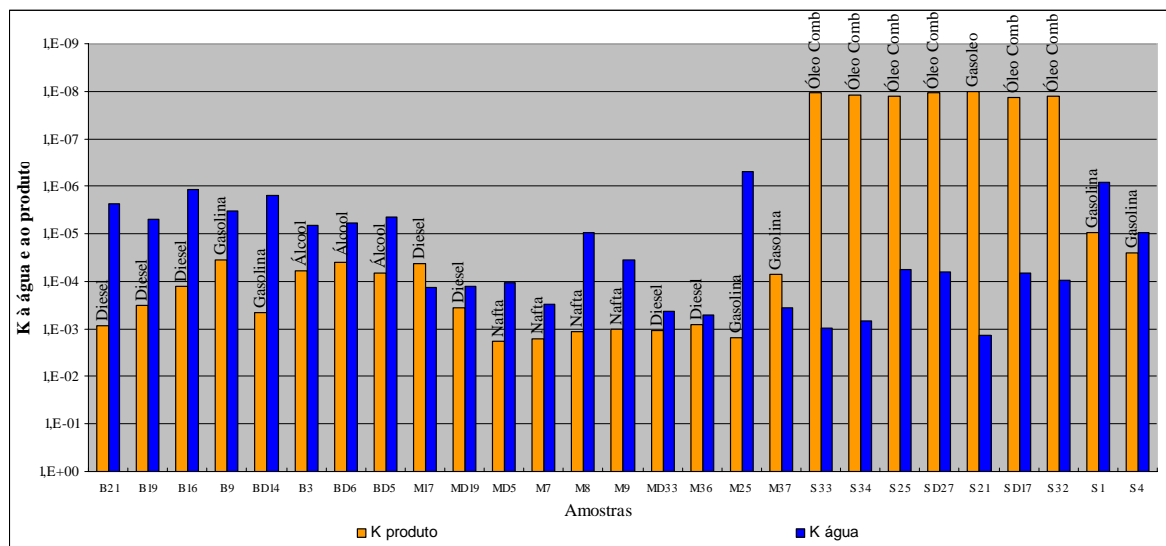


Figura 1: Valores de coeficiente de permeabilidade (K) de amostras percoladas com água e produto.

Segundo Oliveira (2001), quando se trata de solos contendo argilominerais que se expandem em contato com a água, existe forte limitação em aplicar-se a definição de Nutting (1930). A exemplo, pôde-se verificar na Figura 1 que 6 de 7 amostras apresentaram coeficiente de permeabilidade à água menor que ao diesel, mesmo a água tendo maior mobilidade que o diesel. Este fenômeno pode ter ocorrido devido à presença do argilomineral levemente expansivo I/S na fração argilosa dessas amostras, detectado nas análises de raios-X. Assim, além da composição heterogênea dos solos das bacias de contenção, a ampla variação encontrada nos



resultados de permeabilidade à água também pode estar relacionada ao argilomineral I/S, presente na maioria das amostras.

Algumas bacias de contenção dos terminais tiveram mais de uma amostra de solo ensaiada no permeômetro. Para uma melhor caracterização, foi calculado um valor médio do coeficiente de permeabilidade para cada bacia de contenção através da média harmônica. Segundo Bunchaft e Kellner (1998), a média harmônica é a melhor média utilizada quando aplicada a dados que envolvem razões de variação como cm/s. A Figura 2 apresenta os valores dos coeficientes de permeabilidade médios de cada bacia de contenção, referenciados à água e aos produtos armazenados. Cabe ressaltar que 6 das 27 bacias de contenção estudadas não apresentaram amostras permeadas por água. Os resultados revelam que 11 das 21 bacias de contenção que apresentaram amostras de solo permeadas com água, o coeficiente de permeabilidade médio para os produtos armazenados foi maior que o coeficiente determinado para água. Em eventuais derramamentos, nas 11 bacias de contenção os produtos armazenados migrarão no solo mais rápido que a água. Estes resultados corroboram os dados da literatura, demonstrando que não é conveniente e seguro definir critérios de impermeabilização baseados unicamente no coeficiente de permeabilidade do solo à água, conforme exigido pela NBR 17505-2.

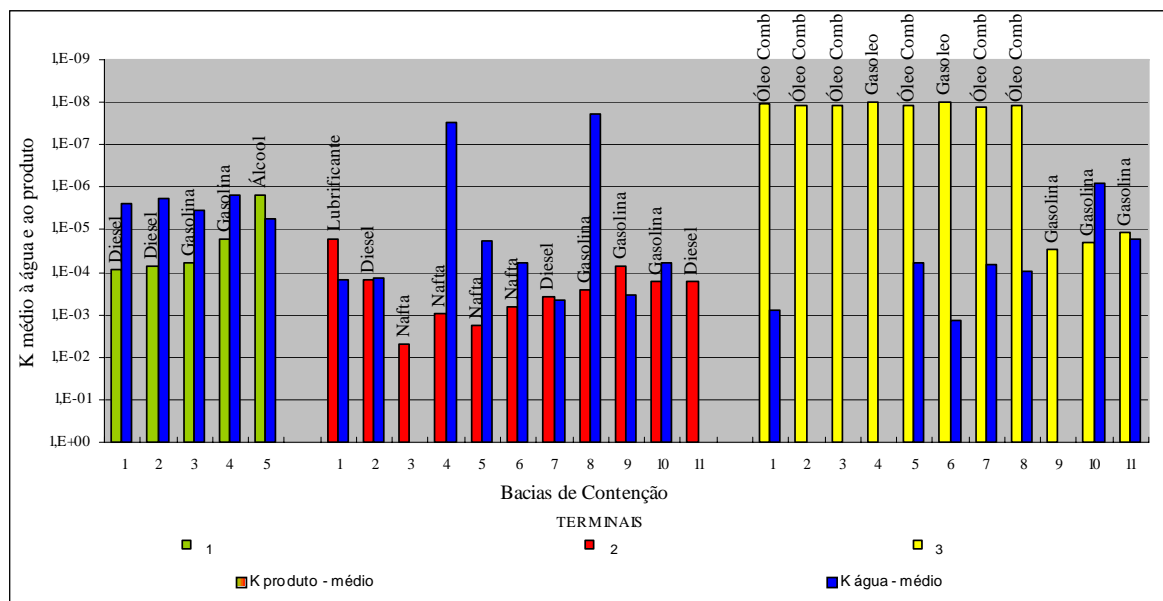


Figura 2: Valores dos coeficientes de permeabilidade (K) médios de cada bacia de contenção, referenciados à água aos produtos armazenados.

CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo confirmaram os dados da literatura, verificando que os valores do coeficiente de permeabilidade variam em função da composição granulométrica e porosidade do solo, das características físico-químicas (mobilidade) do produto percolado, e da presença de argilominerais expansivos no solo. Em 11 das 21 bacias de contenção que apresentaram amostras de solo permeadas com água e produto, o coeficiente de permeabilidade médio para os produtos armazenados foi maior que o coeficiente determinado para água. Conseqüentemente, nestas bacias os produtos migração mais rápido do que a água, em eventuais derramamentos. Portanto, o coeficiente de permeabilidade à água, como especificado pela NBR 17505-2, não é critério suficiente e conclusivo para a tomada de decisão sobre a impermeabilização das bacias de contenção, a fim de que se garanta a proteção efetiva ao solo e aos recursos hídricos subterrâneos.

Com base nos resultados deste estudo, recomenda-se que a avaliação da capacidade de impermeabilização das bacias de contenção não deve ser baseada em um critério único como, por exemplo, o coeficiente de permeabilidade, e sim, nas especificidades do local como: propriedades do solo, tipo de produto armazenado, geometria dos diques, profundidade do lençol freático, proximidade de corpos hídricos, tempo de resposta do plano de contingência do terminal para atender cenários acidentais de derramamentos, e probabilidade de ocorrência de eventos derramamentos. Essas medidas tornam mais flexíveis as tomadas de decisões de impermeabilizações, possibilitando uma melhor locação de recursos financeiros nas áreas com real potencial



de contaminação. Por exemplo, um solo compactado pode ser impermeável a derramamentos de líquidos viscosos como gasóleo ou óleo combustível, mas não ser adequado a conter gasolina. Neste sentido, pondera-se que a Legislação da Bahia seja mais adequada do que NBR 17505-2, estabelecendo que as bacias de contenção devem estar “devidamente impermeáveis”, sem fixar um único número que represente o cenário de um derramamento. Cabe ressaltar que uma das intenções deste estudo é estimular e promover a discussão sobre a necessidade de se estabelecer normas e legislações nacionais, a fim de propor critérios de avaliação da capacidade de impermeabilização de bacias de contenção com base nos fatores específicos de cada local.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Armazenagem de líquidos inflamáveis e combustíveis. Parte 1: Armazenagem em tanques estacionários. NBR 7505-1. Agosto de 2000.
2. _____. Armazenagem de líquidos inflamáveis e combustíveis. Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis. Parte 2: Armazenamento em tanques e em vasos. NBR 17505-2. Agosto de 2006.
3. _____. Solos - Análise Granulométrica. NBR 7181. Dezembro de 1984.
4. ANDERSON, D. C.; BROWN, K. W.; THOMAS, J. C. Conductivity of compacted clay soils to water and organic liquids. *Waste Management & Research*, v. 3, p. 339-349, 1985.
5. BAHIA. Decreto n. 7.967, de 05 de junho de 2001. Institui a Política Estadual de Administração de Recursos Ambientais e dá outras providências. 2001.
6. BROWN, K. W.; THOMAS, J. C. Conductivity of three commercially available clays to petroleum products and organic solvents. *J. of Hazardous Wastes*, v.1, p. 545-553, 1984.
7. BUNCHAFT, G.; KELLNER, S. R. O. Estatística sem mistérios. Vol. 1. 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora Vozes, 1998.
8. CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Relação de Áreas Contaminadas no Estado de São Paulo. Novembro de 2006. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/relacao_areas.asp>. Acesso em: 03 março 2007.
9. FERNANDEZ, F.; QUIGLEY, R. W. Hydraulic conductivity of natural clays permeated with simple liquid hydrocarbons. *Canadian Geotechnical Journal*, v. 22, p. 205-214, 1985.
10. MELEGARI, S. P. Eficiência das bacias de contenção em áreas de armazenamento de petróleo e derivados em caso de derramamentos superficiais. 2005. 62 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2005.
11. NUTTING, P.G. Physical analysis of oil sands. *Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.* v. 14, p. 1337-1349, 1930.
12. OLIVEIRA, J. C. S. Contaminação de sedimentos argilosos por combustíveis automotivos. Problema de avaliação da permeabilidade. 2001. 102 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, 2001.
13. USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. SPCC Guidance for Regional Inspectors. Office of Emergency Management (EPA/550/B-05/001). Version 1.0, 28 November 2005. Disponível em: <<http://www.epa.gov/oilspill/guidance.htm>>. Acesso em: 15 março 2007.
14. _____. 40 CFR Part 112. Oil Pollution Prevention and Response. Non-Transportation-Related Onshore and Offshore Facilities; Final Rule. July, 2002.