

Montagem e Teste de Aparato Laboratorial para Execução de Ensaios em Colunas de Solo Visando Avaliação da Técnica de Processos Oxidativos Avançados - POA

Tiago Marques Araújo Teixeira

Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, tiagom36@hotmail.com

Sandro Lemos Machado

Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil, smachado@ufba.br

RESUMO: O presente artigo descreve a construção e teste de um aparato laboratorial para a realização de ensaios de colunas em contaminantes metálicos e orgânicos semi-voláteis. O equipamento permite a obtenção de parâmetros de interação e transporte de contaminantes no solo (coeficientes de dispersão, D_h , permeabilidade, k , e de retardo, R_d) assim como avaliar a eficácia de técnicas de remediação ambiental como as que empregam Processos Oxidativos Avançados - POA. Ensaios preliminares de contaminação da amostra de solo com o composto organoclorado 1,2-Diclorobenzeno ($C_6H_4Cl_2$), seguido de injeção do agente oxidante percarbonato de sódio ($2Na_2CO_3 \cdot 3H_2O_2$) para degradação do composto organoclorado determinaram através dos resultados analíticos obtidos na etapa de contaminação das amostras um coeficiente $D_h=1,34 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$ e um coeficiente de $R_d=14,5$. Os resultados analíticos da etapa de oxidação indicaram uma degradação acima de 80% do contaminante e uma redução da permeabilidade na ordem de 50 vezes. Também foi possível detectar a liberação de íons de sódio e íons de cloreto decorrente da degradação do oxidante e contaminante, respectivamente, e a diminuição da concentração de ferro no solo decorrente da interação com o agente oxidante.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaio de Coluna, Permeâmetro, Processos Oxidativo Avançado, Remediação de Solos Contaminados.

1 INTRODUÇÃO

A identificação de áreas contaminadas por hidrocarbonetos tem sido recorrente em todo o Brasil, principalmente, em áreas com grandes concentrações urbanas e em áreas industriais.

Não existe um dado exato do número de áreas contaminadas no Brasil, mas no estado de São Paulo, estatísticas da CETESB registraram, até novembro de 2009, a presença de 2.904 casos de contaminações do solo e água de subsuperfície, sendo 1396 sem ação ainda estabelecida, 579 sob investigação e 929 casos em fase de reabilitação ou reabilitado.

Muito desses casos são solucionados por meio da aplicação de técnicas de remediação *in situ*, que por serem implantadas no local da contaminação, conseguem reduzir riscos e custos relativos ao deslocamento para o tratamento externo.

Normalmente, segundo a EPA, dentro de um programa de remediação existem quatro fases

principais: 1. contenção do produto livre e produto dissolvido; 2. remoção do produto livre; 3. remoção do produto dissolvido; 4. remoção do produto adsorvido (Abdanur, 2005; Apud Queiroz et al, 2007). Para cada fase existe uma variedade de técnicas de remediação para ser aplicada, seja de forma simultânea ou intercalada entre as fases descritas.

A definição das técnicas e da estratégia de atuação para cada caso em questão dependerá de uma análise da melhor relação custo/benefício e dos riscos envolvidos. Aspectos como abrangência da contaminação, características do meio e do contaminante, interação entre ambos, meios de exposição e receptores, tempo necessário para remediação, instalações envolvidas no local, partes interessadas e custos são analisados para escolha adequada de uma técnica ou de um conjunto de técnicas (programa de remediação) a ser implantado.

O ensaio piloto é um procedimento adotado

para avaliar a eficiência/eficácia da técnica proposta, confirmando-a ou não como solução para o caso. Este ensaio também fornecerá dados necessários ao projeto de engenharia do sistema de remediação futuro.

O ensaio de bancada em laboratório, normalmente, realiza-se numa etapa anterior ao ensaio piloto. Nesta etapa podem ser avaliadas simultaneamente as diversas técnicas de remediação ou produtos que poderão vir a ser utilizados em campo. Sendo assim, muitas dúvidas poderão ser esclarecidas com o ensaio de bancada, garantindo que a técnica escolhida para o ensaio piloto será a mais apta para o projeto de remediação.

O ensaio de bancada que melhor reflete as condições de transporte de contaminantes, juntamente com as propriedades de atenuação do solo é o ensaio de coluna (Basso, 2003). Ele proporciona informações mais realistas, já que as condições em que o solo se encontra no ensaio, são mais próximas das ocorridas em campo. Este teste de laboratório pode ser usado para entender os mecanismos químicos, biológicos e físicos, os quais afetam o destino e o transporte dos contaminantes no ambiente (Shackelford et al, 1995).

Basicamente, o ensaio de coluna consiste na percolação de soluções que contenham constituintes químicos de interesse através de um permeâmetro com amostra de algum tipo de solo que se deseja estudar. Ao longo do ensaio, amostras de percolado (efluentes) são coletadas em intervalos pré-estabelecidos para análise química. A quantificação do que ficou retido de contaminante pelo solo é determinado com a análise da composição do efluente que foi percolado através do solo e a sua comparação com os resultados do começo da injeção.

Em termos de aplicação geoambiental, o ensaio de colunas em solo pode ser utilizado para: 1. determinar parâmetros de interação solo contaminante (ex: dispersão hidrodinâmica-Dh e fator de retardamento -Rd); 2. verificar e validar modelos matemáticos relacionados a transportes em meios porosos; 3. avaliar os efeitos químicos, físicos e biológicos no transporte de contaminantes em meios porosos; 4. avaliar os efeitos de uma determinada técnica de tratamento de solos contaminados.

Por esses fatores e por ser um experimento

relativamente de fácil execução, baixo custo, curta duração, o ensaio de coluna tornou-se uma ferramenta fundamental para o estudo do fluxo de contaminante no solo e, mais recentemente, para o estudo da eficácia de técnicas de remediação de solos contaminados.

Este artigo descreve a construção e teste de um aparato laboratorial para a realização de ensaios de colunas em contaminantes orgânicos semi-voláteis e metálicos. São apresentados resultados de ensaios preliminares para teste do equipamento realizados em amostras indeformadas de solo contaminadas controladamente com 1,2-Diclorobenzeno (também conhecido como 1,2 DCB) para avaliação da técnica de remediação por oxidação química utilizando o agente oxidante Percarbonato de Sódio.

2. CONSTRUÇÃO DO APARATO EXPERIMENTAL E LABORATÓRIO

Para construção do aparato experimental foi concebido um projeto cujas premissas estabelecidas foram a seguintes: 1. os permeâmetros a serem instalados seriam de parede flexível; 2. deveriam apresentar flexibilidade para a execução de ensaios de colunas de carga variável ou constante; 3. os materiais empregados na construção deveriam ser resistentes a compostos químicos clorados, ácidos e bases, que normalmente são agressivos aos materiais empregados nos aparatos desenvolvidos para a realização de ensaios de coluna.

O permeâmetro de parede flexível é um equipamento no qual o corpo de prova é montado no interior de uma câmara, envolto por uma membrana flexível e sujeito a uma pressão confinante, que faz com que a membrana fique totalmente aderida ao corpo de prova (Dourado, 2006).

A Figura 1 ilustra o permeâmetro de parede flexível construído para este projeto. A parte superior (1) e a sub-base (4) têm a função de fixar o cilindro de vidro que isola o interior da coluna do ambiente externo e possibilita a aplicação de tensões confinantes que visam simular as tensões geostáticas que existem no terreno.

Estes componentes possuem orifícios por

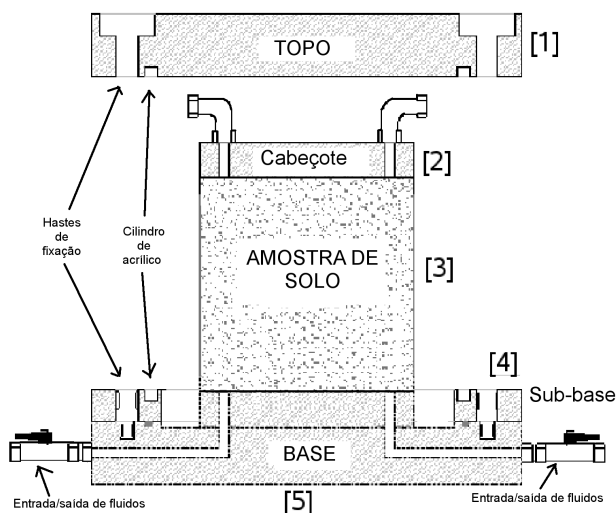


Figura 1. Desenho do Permeâmetro de Parede Flexível .

onde são inseridas as hastes metálicas para a fixação das partes superior e inferior do equipamento.

O cabeçote (2) e a base (5) são utilizados para a condução dos líquidos de alimentação e de saída da câmara. A amostra de solo, compactada ou indeformada, é inserida entre a base e o cabeçote, envolta em um filme de PVC e numa membrana de borracha nitrílica que isola o corpo de prova da água presente no espaço anelar entre o cilindro de vidro e a amostra. Sobre a base e sob o cabeçote utiliza-se um conjunto de papel filtro e pedra porosa para permitir uma melhor homogeneidade do fluxo através da amostra de solo.

Em relação aos materiais utilizados, o topo, a base e a sub-base foram construídas em teflon. O cilindro de vidro borosilicato tem espessura de parede para suportar uma pressão nominal de 200 kPa. Todas as conexões metálicas empregadas foram de aço inox 316 e possuem em suas extremidades engates rápidos também em inox 316, de dupla vedação, para diminuir o risco de contaminação dos operadores. Os anéis de vedação (o-rings) são de borracha nitrílica ou viton. As pedras porosas empregadas são de bronze sinterizado.

A Figura 2 apresenta uma foto de um dos 8 (oito) permeâmetros construídos. Suas dimensões externas são: 20,3 cm de diâmetro e 21,5 cm de altura, podendo realizar ensaios com corpos de prova de até 10,0 cm de diâmetro.

Para controle e injeção da solução de interesse no corpo de prova foi construído um sistema de alimentação por carga constante.

Esse sistema consiste em 4 (quatro)

reservatórios de nível constante, com dispositivos de regulação de altura, construídos para manter constante a carga hidráulica, num valor desejado, e para manter a homogeneidade da solução durante os ensaios. Os reservatórios possuem uma alimentação e duas saídas, sendo que uma saída alimenta duas colunas de percolação e a outra é um retorno para o reservatório da solução.



Figura 2. Foto do Permeâmetro Construído.

A solução de interesse é preparada em um reservatório graduado de 60 L em teflon. Deste é transferido por meio de uma bomba peristáltica para os reservatórios de nível constante. Assim, a solução fica recirculando entre o reservatório da solução e os reservatórios de nível constante através da bomba peristáltica, mantendo a carga hidráulica sempre constante. Esta bomba foi escolhida por apresentar baixa vazão, até 300 mL/min e não introduzir grandes turbilhonamentos no fluido bombeado.

A solução que percola pelo corpo de prova montado no permeâmetro é coletada através de vasos coletores de vidro graduados (8 no total), dotados de tampa com suspiro e capacidade de armazenamento de até 2 L; na lateral do vaso adaptou-se uma válvula de três vias em vidro com entrada em engate rápido de dupla vedação. As duas outras vias permitem o armazenamento temporário do percolado ou a coleta de amostras para análise química.

Quando do uso do sistema de alimentação por carga constante, a pressão confinante é aplicada ao corpo de prova através de um reservatório de água situado a 1,0 m da base do permeâmetro.

Em ensaios que necessitem a aplicação de

elevados gradientes de energia, são utilizadas interfaces ar/água e ar/solução, para aumentar, ao mesmo tempo, as pressões de confinamento e de entrada da solução na amostra, mantendo-se uma diferença constante entre elas de 10 kPa. Conforme se verá adiante, este sistema foi pensado de forma a diminuir as perdas por evaporação de produtos semi-voláteis.

A Figura 3 apresenta uma visão parcial do aparato experimental montado. É possível observar parte das instalações laboratoriais construídas para a execução dos ensaios propostos. Nota-se uma capela com paredes de vidro e um sistema de exaustão. Este sistema de exaustão opera com dois exaustores em série e um filtro de carvão ativado antes do ponto de emissão para a atmosfera. Um detector portátil de Compostos Orgânicos Voláteis – COV monitora o nível de vapores orgânicos na sala e tem configurado um alarme para o nível de exposição crônico da substância empregada nos ensaios. De toda a sorte, ainda que a concentração de vapores permaneça abaixo deste patamar, a entrada dos operadores na sala somente é liberada com o uso de máscara facial do tipo “full-face”.



Figura 3. Aparato Experimental Montado.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Após conclusão da montagem do aparato experimental foram realizados alguns testes de estanqueidade das instalações e iniciados os ensaios de coluna propriamente ditos para avaliação da técnica de processos oxidativos avançados.

Foram realizadas ao todo três séries de ensaios com o objetivo de: aprimorar o protocolo experimental e determinar experimentalmente os parâmetros de interação solo-1,2 Diclorobenzeno para amostras de solo da região do Polo Petroquímico de Camaçari-BA, avaliar a eficiência da degradação desse composto perante o oxidante percarbonato de sódio e também verificar os eventuais efeitos colaterais decorrentes dessa reação, dentre eles a liberação de metais presente no solo.

Amostras de solo indeformadas foram coletadas numa área particular sem ocorrência de atividades poluidoras, mas localizada próxima ao Pólo Petroquímico de Camaçari - BA, região com presença da Formação Marizal.

A amostra foi coletada seguindo a norma NBR 6457/86 e caracterizada segundo as normas NBR 7181/84 (análise granulométrica), NBR 6502/95 (classificação textural do solo), NBR 6508/84 (determinação da massa específica), NBR 6459/84 (limite de liquidez), NBR 7180/84 (limite de plasticidade).

Utilizando os blocos indeformados coletados foram moldados corpos de prova de forma cilíndrica com aproximadamente 10,0 cm de diâmetro e 5,0 cm de altura, respeitando-se as restrições de espaço impostas pelas dimensões dos permeâmetros.

As amostras de solo foram posicionadas nos permeâmetros e propriamente isoladas da água utilizada para aplicação da pressão confinante pelo uso de uma camada de filme de PVC sobreposta por uma membrana nitrílica.

Com os permeâmetros montados os corpos de prova foram inicialmente permeados com água destilada, até a obtenção de fluxo estacionário, momento a partir do qual o coeficiente de permeabilidade de cada CP foi calculado. Nesta etapa foram coletadas amostras do efluente de cada permeâmetro e uma amostra de solo de um dos CPs para caracterização analítica de metais (Na, Al, Mg e Fe) e cloreto, servindo de branco de percolado e de solo.

O ensaio de contaminação foi realizado com os corpos de prova saturados com água e consistiu na injeção de uma solução de água pretensamente saturada com 1,2 DCB (limite de solubilidade ao produto é de 156 mg/L). Esta etapa continuou até que um número de volumes de poros estimado como suficiente para a

saturação do solo com o contaminante já tivesse sido injetado na amostra. Foram coletadas amostras de água para caracterização analítica de metais e cloreto além de amostras para a realização de ensaios que indicassem a presença de 1,2 DCB na água, para a construção da curva de chegada e a obtenção dos parâmetros de interação solo-contaminante, utilizando a equação proposta por Ogata (1970) para o transporte unidimensional de solutos em meios porosos.

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{2} \left[\operatorname{erfc} \left(\frac{R_d \cdot Z - v \cdot t}{2 \sqrt{D_h \cdot R_d \cdot t}} \right) + \exp \left(\frac{v \cdot Z}{D_h} \right) \operatorname{erfc} \left(\frac{R_d \cdot Z + v \cdot t}{2 \sqrt{D_h \cdot R_d \cdot t}} \right) \right] \quad (1)$$

Onde: *erfc* representa a função erro complementar; *Z* é a distância ao longo da trajetória de fluxo; *v* é a velocidade linear média da solução; *t* é o tempo; *R_d* é o fator de retardamento e *D_h* é o coeficiente de dispersão hidrodinâmica.

Concluído o ensaio de contaminação, uma solução de percarbonato de sódio foi preparada em concentração mais do que suficiente para oxidação do 1,2 DCB e da matéria orgânica presente no solo, conforme cálculo estequiométrico realizado.

Em todos os ensaios realizados, após a aplicação do agente oxidante foi verificada uma grande redução da permeabilidade. Este fato, aliado à percepção de que estava havendo perda de grande quantidade de voláteis pela circulação da solução pelos reservatórios de imposição da carga hidráulica, motivou a adoção das interfaces ar/água e ar/solução citadas no item anterior. Desta forma foi possível acelerar o processo de fluxo após a aplicação do agente oxidante assim como foi possível elevar substancialmente a concentração de 1,2 DCB na entrada da amostra.

3. RESULTADOS E ANÁLISES

As amostras de solo utilizadas nos ensaios realizados apresentarem uma textura média contendo 2% de pedregulho, 54% de areia, 9% de silte e 35% de argila. Foram obtidos ainda valores médios e $W_L = 32\%$ e $W_P = 15\%$ e $\rho_s = 2,66 \text{ g/cm}^3$.

A primeira série de ensaios realizada utilizou ao todo 7 corpos de prova. Nesta série, o HTP

(hidrocarbonetos totais de petróleo) foi escolhido como parâmetro para avaliação das concentrações de 1,2 DCB no solo e nas amostras de água coletadas antes e após a injeção do contaminante. Infelizmente, este parâmetro não se mostrou efetivo na determinação das concentrações de 1,2 DCB. Pode-se dizer, contudo, que as análises de cátions (Mg, Al, Fe e Na) do percolado forneceram resultados úteis para o trabalho desenvolvido. As Tabela 1 e 2 apresentam os resultados obtidos destes ensaios. O prefixo AA significa amostra de água percolada, o primeiro número representa o número da câmara, e o último é o número da coleta.

Na Tabela 1 apresentam-se os resultados obtidos das amostras de percolado de água destilada que passaram pelo corpo de prova ainda não contaminado (etapa do ensaio de permeabilidade). Nota-se a presença de baixas concentrações de Fe e concentrações de Na e Mg ligeiramente maiores. Não foi detectada a presença de Al nas amostras de água coletadas.

Tabela 1. Concentrações dos Metais nos Brancos de Percolado de Água.

Amostra	Na	Mg	Al	Fe
Água	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
AA-1-0	9	3,5	ND	0,21
AA-3-0	6	5	ND	0,01
AA-6-0	9,6	5,3	ND	0,35
AA-7-0	5,3	4,8	ND	0,29
Média	7,47	4,65	ND	0,22

Na Tabela 2 são apresentados os resultados obtidos das amostras coletada após aplicação do agente oxidante. Observa-se nesta tabela, um aumento significativo da quantidade de sódio, o alumínio passou a ser detectado em algumas amostras e as concentrações de Fe e Mg praticamente não variaram.

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos das análises realizadas nas amostras de solo. Nesta tabela, o prefixo AS significa amostra de solo, o número 00 representa a média das amostras de branco, o número 01 refere-se à média das amostras coletadas na primeira fase

(contaminação), e o número 02 se refere à média das amostras coletadas na segunda fase (oxidação).

Tabela 2. Concentrações dos Metais nos Percolado de Água (ppm)

Amostra	Na	Mg	Al	Fe
Água	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
AA-2-7	337	3,1	0	0,1
AA-4-7	458	4,1	0	0,12
AA-6-7	382	3,4	0	0,14
AA-7-7	267	3,5	0	0,14
AA-2-8	1120	4,4	0,8	1,34
AA-4-8	604	4,2	0	0,21
AA-6-8	919	4,6	0,3	0,55
AA-7-8	553	4	0	0,3

Tabela 3. Concentrações Média dos Metais e Cloreto no Solo.

Amostra	Na	Mg	Al	Fe	Cl
Solo	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
AS00	21	140	5015	1725	2,48
AS01	34	104,33	3545	906,33	1,15
AS02	1557	193	5582	1016	39,5

Observa-se que houve um aumento significativo da quantidade de sódio e de cloro no solo, as quantidades de magnésio e de alumínio apresentaram pequenas variações, porém houve uma considerável diminuição da quantidade de ferro do solo, em torno de 40%.

O aumento da concentração de Na no solo se deve à decomposição do agente oxidante. O aumento da concentração de cloro indica que o contaminante está sendo destruído, logo liberando íons cloreto. A diminuição da concentração de Fe indica que o solo está perdendo ferro, provavelmente, no estado oxidado em decorrência da interação com o agente oxidante.

As figuras a seguir ilustram os resultados obtidos na segunda série de ensaios, utilizando-se de quatro amostras de solo e uma

metodologia de análise química específica (EPA 8260) para a determinação das concentrações de 1,2 DCB.

A Figura 4 apresenta a variação da concentração de 1,2 DCB no efluente das amostras durante as fases de contaminação e oxidação. Conforme se pode observar, o comportamento obtido é típico das curvas de saída de solutos em ensaios de coluna, apesar de uma queda na concentração de 1,2 DCB ter sido observada após cerca de 18 volume de poros. Como esperado, há uma redução acentuada da concentração desse composto na saída das amostras após a adição do agente oxidante. A redução da concentração de composto foi de aproximadamente 80%, mas vale ressaltar, contudo, que os valores de concentração máximos obtidos são bem inferiores aos valores de saturação da água com o 1,2 DCB, o que levou à suspeita de que a maior parte do 1,2 DCB estava evaporando antes de sua entrada na amostra.

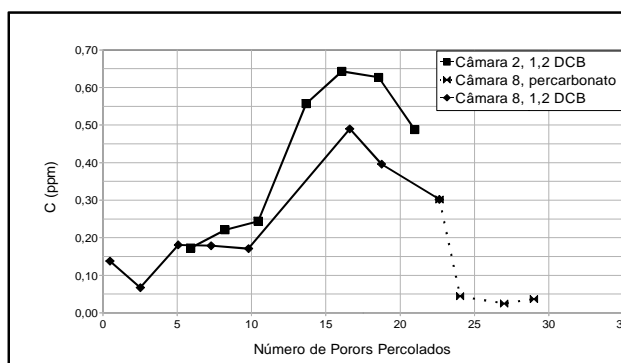


Figura 4. Curvas de Concentração do Percolado Após Contaminação e Oxidação nos Permeômetros 2 e 8.

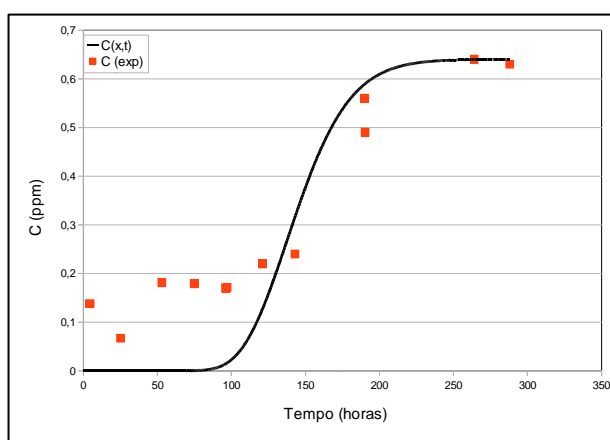


Figura 5. Curva de Ajuste dos Dados de Contaminação e Oxidação nos Permeômetros 2 e 8.

A Figura 5 apresenta os resultados ilustrados

na Figura 4 em conjunto com os resultados previstos com o uso da equação 1.

Ainda na segunda série de ensaio, em relação ao monitoramento da permeabilidade, verificou-se uma redução significativa deste parâmetro após a etapa de oxidação. Durante a fase de injeção de água destilada e solução de 1,2 DCB, a câmara 2 apresentou um valor de permeabilidade médio de $2,59 \times 10^{-6}$ cm/s enquanto que a câmara 8 apresentou um valor de permeabilidade de $4,59 \times 10^{-6}$ cm/s. Na câmara 8, após a injeção do percarbonato, a permeabilidade do solo à solução caiu para cerca de $9,0 \times 10^{-8}$ cm/s. Em outras palavras, a adição do percarbonato causou uma redução média de cerca de 50 vezes na permeabilidade da amostra. A Figura 6 ilustra os resultados experimentais obtidos.

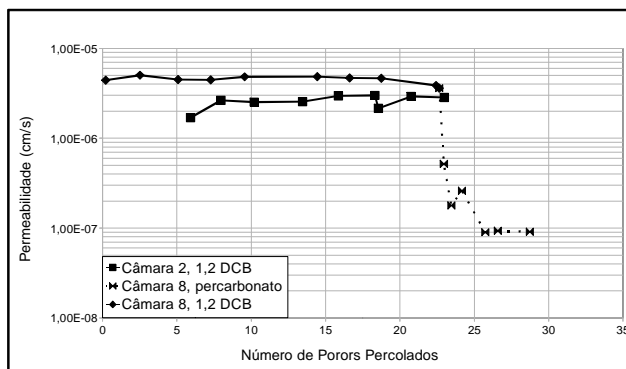


Figura 6. Resultados de Permeabilidade Obtidos nos Permeômetros 2 e 8.

Na terceira rodada de ensaios, por conta das baixas concentrações obtidas na rodada anterior, os gradientes hidráulicos foram aplicados às amostras por intermédio de interfaces ar/água, não havendo a recirculação de 1,2 DCB.

A Figura 7 apresenta os resultados mostrados durante as fases de contaminação e oxidação. Verifica-se um incremento significativo no valor das concentrações em função do dispositivo instalado e, assim como no ensaio anterior, nota-se uma redução acentuada do composto orgânico após aplicação do oxidante.

A Figura 8 apresenta estes resultados ajustados com o uso da equação 1. A concentração de entrada do 1,2 DCB na amostra foi de aproximadamente 45 ppm. Conforme se pode observar, há um bom ajuste da equação aos dados experimentais, embora o ensaio não tenha sido realizado até a completa saturação do

solo com o 1,2 DCB. Nesta figura foram empregados valores de coeficiente de dispersão química ou molecular de $D=9,45 \times 10^{-6}$ cm²/s, um fator de tortuosidade de 1×10^{-2} cm e um coeficiente de dispersão mecânica de $\alpha = 0,15$ cm, o que, utilizando a velocidade média de percolação do água pelo solo, nos forneceu um valor de coeficiente de Dispersão Hidrodinâmica de $D_h= 1,34 \times 10^{-5}$ cm²/s. O valor do coeficiente de retardo encontrado no ajuste da equação 1 aos dados experimentais foi de 14,5. Este valor, assim como os outros valores obtidos do ajuste da equação 1 aos dados experimentais, encontram-se coerentes com a faixa de valores esperados a partir de dados da literatura e, possivelmente, representem os valores relativos ao transporte de 1,2 DCB dissolvido na água para o solo ensaiado.

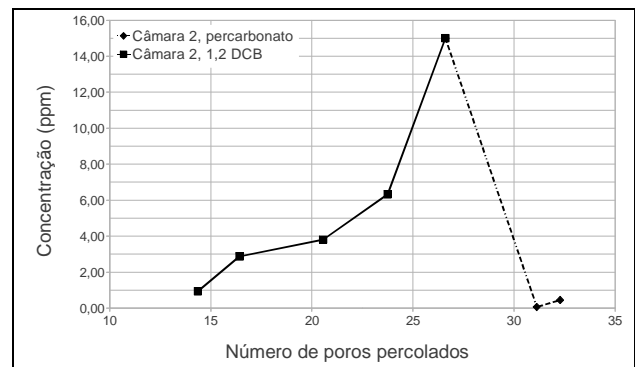


Figura 7. Curvas de Concentração do Percolado Após Contaminação e Oxidação no Permeômetro 2.

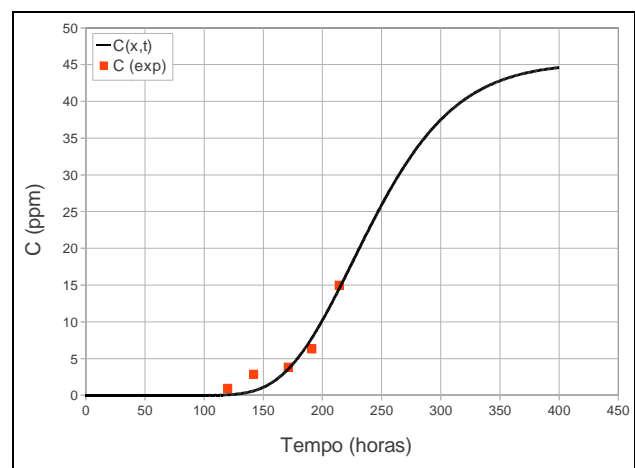


Figura 8. Curva de Ajuste dos Dados de Contaminação e Oxidação no Permeômetro 2.

4. CONCLUSÃO

Considerando os ensaios realizados foi possível estabelecer as seguintes conclusões: 1. as

instalações construídas (laboratório e aparato) para execução dos ensaios atenderam aos requisitos técnicos necessários de segurança/saúde, mostrando-se aptas para execução de novos ensaios de coluna; 2. o percarbonato de sódio é um agente oxidante capaz de degradar o composto 1,2 DCB em valores acima de 80%; 3. em relação aos efeitos colaterais, foi observada a redução da permeabilidade em até 50 vezes após iniciar a injeção do oxidante. 4. também foi possível detectar a liberação de íons de sódio e íons de cloreto decorrente da degradação do oxidante e contaminante, respectivamente, e a diminuição da concentração de ferro no solo decorrente da interação com o agente oxidante.

Conclui-se ainda que os resultados obtidos neste trabalho reforçam a necessidade de que todos os empenhos sejam realizados no sentido de se evitar a transferência de compostos semi-voláteis para o ar.

Novos ensaios devem ser realizados utilizando-se a mesma metodologia empregada na terceira série de ensaios, adicionando-se um filtro para remoção de vapores do ar das linhas de pressão no sentido de se elevar ainda mais a concentração de entrada do 1,2 DCB.

AGRADECIMENTOS

A empresa Cetrel Lumina, a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado da Bahia – FAPESB pelo financiamento deste projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Basso, J. B. (2003) Transporte e retenção de K^+ , Cu^{+2} e Cl^- em uma mistura compactada de solos lateríticos para uso em barreiras selantes: procedimento de homogeneização da mistura e adaptações em equipamentos de percolação em colunas, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 215 p.
- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. Relação de Áreas Contaminadas e Reabilitadas – Totalização Departamento. São Paulo/2009. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/> Acessado em: 20/06/2010.
- Durado, K. A. (2003) Condutividade Hidráulica de Materiais de Baixa Permeabilidade: Desenvolvimento, Construção e Teste de um Sistema de Medida, Dissertação de Mestrado, Escola de

Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 89 p.

Queiroz S, Maximiniano A, Siqueira AF & Cruz ZMA (2007) Parâmetros físico-químicos e microbiológicos do processo de atenuação natural monitorada em área contaminada por solventes clorados. Disponível em: <http://www.naturezaonline.com.brel>. Acessado em: 10/03/2011.

Ogata, A., (1970), Theory of Dispersion in a Granular Medium, U. S. Geological Survey, Prof. Paper 411-1.

Shakelford C.D. (1995). Cumulative Mass Approach for Column Testing. Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 121 (10): 696-703

Shackelford, C.D., Redmond, P. (1995). Solute breakthrough curves for processed kaolin at low flow rates. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 121(1), 17-32.