

## 6 Conclusões e Sugestões para Futuras Pesquisas

A contaminação do meio ambiente de subsuperfície com metais pesados tem se tornado um dos maiores problemas ambientais em vários países, incluindo o Brasil. Na maioria das vezes, as condições do local incluem a contaminação da água subterrânea.

O conhecimento do contaminante que está afetando uma área e a caracterização da área que está recebendo a contaminação é de suma importância para que o Engenheiro Geotécnico possa tomar decisões para a solução do problema. Como já foi anteriormente mencionado, este trabalho pretende contribuir com resultados sobre a contaminação de áreas com metais pesados (Zn, Cd, Pb e Cr) em solos residuais do estado do Rio de Janeiro.

Tendo em vista os objetivos apresentados nos capítulos anteriores, algumas observações de caráter global são pertinentes, bem como a indicação de algumas perspectivas que se oferecem ao desenvolvimento futuro deste trabalho.

### 6.1. Conclusões

Com relação aos estudos realizados, julgam-se relevantes as seguintes observações:

#### Ensaio de Batelada

- Os ensaios de batelada contribuíram, neste trabalho, para indicar com maior rapidez uma tendência do comportamento dos metais no solo, por ser um ensaio rápido. A principal conclusão dos ensaios foi a seqüência de mobilidade dos metais utilizados com mudança de pH nos solos residuais.

Duque de Caxias (pH-ácido) – Zn > Cd > Pb > Cr

Duque de Caxias (pH-básico) – Zn > Pb > Cd > Cr

Mirante do Leblon (pH-ácido) – Zn > Cd > Pb > Cr

Mirante do Leblon (pH-básico) – Zn > Pb > Cr > Cd

O ensaio indicou que alguns metais como o chumbo e o cádmio modificam seu comportamento quando mudam de um ambiente ácido para alcalino. É interessante notar que o comportamento dos metais nos dois solos não foram muito diferentes, apresentando poucas mudanças.

- Em relação à análise estatística, o conhecimento dos constituintes dos aterros sanitários é também de grande valia para entendimento do comportamento no solo. Para o solo de Duque de Caxias verificou-se grande influência do pH para todos os metais analisados e para o Zinco uma interferência do Ca e do Na. Enquanto que para o Cd e o Cr uma influência do EDTA. Para o solo do Mirante do Leblon verificou-se: grande influência do pH para todos os metais analisados e para o Zinco uma influência do Ca. Enquanto que para o Chumbo e Cádmio além das já citadas, também a influência do EDTA e Na.
- Ainda utilizando os ensaios de batelada, tentou-se simular o comportamento do chorume de aterros sanitários com seus principais elementos e tentar mostrar através de uma equação quais dos seus parâmetros interferem mais no coeficiente de distribuição para os metais. De acordo com as equações encontradas, indubitavelmente conclui-se que o pH é o principal contribuinte para mudanças no coeficiente de distribuição dos metais no solo. E quando este fator, pH, se relaciona com os outros fatores como EDTA, Ca e Na, eles também contribuem para variações no Kd.
- As isotermas encontradas para os metais, utilizado o ensaio de batelada, apresentaram uma distribuição linear do Kd, apresentando, na maioria dos casos, uma maior adsorção para um pH ácido.
- O comportamento dos dois solos residuais analisados neste estudo não mostrou grandes diferenças de comportamento nos ensaios realizados.

### Ensaio de Coluna

- De acordo com as curvas de chegada encontrou-se os valores do coeficiente de retardamento para os dois solos e, comparando estes resultados com os ensaios de batelada, conclui-se que estes valores foram diferentes. Tal fato pode ser explicado através da velocidade de fluxo. Nos ensaios de batelada, não existe fluxo do fluido ( $V=0$ ) sendo o gradiente zero. Já nos ensaios de coluna, o gradiente foi de 4, havendo, desta forma, velocidades de fluxo, o que torna o seu resultado mais próximo do real.
- As análises do solo, após o ensaio de coluna, indicaram que, à medida que o contaminante vai percolando pela coluna, a sua concentração diminui, isto é, nas primeiras camadas a concentração é maior e a tendência é ir diminuindo até a base da amostra. No final do ensaio pode-se perceber pelos resultados que toda a amostra ficará homogênea, isto é, a concentração do contaminante deverá ser igual em toda coluna.

### Programa PHREEQC

- A utilização deste programa teve como objetivo a comparação dos seus resultados com os ensaios experimentais, para a obtenção de um modelo que representasse o transporte em 1D para metais pesados em solos residuais.
- Controlando o pH durante a simulação, verificou-se a sua queda no início do ensaio e depois um pequeno aumento com tendência de voltar ao pH inicial, devido às trocas catiônicas que ocorrem no contato da solução com o solo. O gráfico encontrado no modelo segue o mesmo comportamento do experimental, com uma diferença de variação do pH que pode ter ocorrido na medição do pH no ensaio experimental.
- As isotermas de adsorção conseguidas através do programa mostram um comportamento parecido com as isotermas de Langmuir, chegando-se numa constante, que representa o máximo da concentração que pode ser adsorvida pelo solo. Com a variação do pH, conclui-se que, para

ambientes cada vez mais alcalinos, atinge-se a concentração máxima mais rápida, isto é, a adsorção é maior em pH básico.

- Através do programa PHREEQC, simulou-se a descontaminação do solo, com água pura (Dessorção). Verificou-se que, à medida que se percola água pelo solo contaminado, a porcentagem adsorvida vai diminuindo de modo que, em ambientes alcalinos, esta descontaminação ocorre um pouco mais rápida. O gráfico de dessorção da figura 46 mostra primeiro a sorção e depois a dessorção, que tem um comportamento diferente na descontaminação (caminhos diferentes) e pelo que o gráfico apresenta existe um resíduo de contaminação no solo que não é limpo pela água, por isso a curva de dessorção não chega na origem.
- As curvas de chegada simuladas no programa seguem o mesmo comportamento dos ensaios experimentais, de modo que podem ser utilizadas para a determinação do coeficiente de retardamento para o cádmio e para outros metais de interesse.

## **6.2. Sugestões para Futuras Pesquisas**

Tendo em vista os resultados obtidos neste trabalho, são feitas as seguintes sugestões para futuras pesquisas:

- Em relação aos ensaios de batelada, deveria ser feita, ainda, uma análise da dessorção dos metais pesados em solos contaminados.
- Realização de novos ensaios de batelada em outros contaminantes de interesse da indústria química, para avaliação de possíveis caminhos das reações e determinação das taxas de degradação dos contaminantes e seus subprodutos.
- Em relação aos ensaios de coluna, implementar aplicação de pressão nas colunas, para conseguir uma saturação mais eficiente dos corpos de prova.

- Realização de ensaios de coluna com diferentes contaminantes e solos, para avaliação dos processos de atenuação natural (sorção, dispersão e biodegradação).
- Realização de ensaios com fonte não-contínua para fazer comparações com os ensaios realizados com fonte contínua nesta tese.
- Realizar ensaios de coluna com uma solução básica, pH maior de sete, de modo que se possa verificar possíveis mudanças na mobilidade dos metais.
- Em relação ao programa PHREEQC, será interessante aplicar os dados de entrada para outros metais e para outros tipos de solo para confirmação dos seus resultados e para conhecimento do comportamento de outros metais em ambientes diversos.