

Simulação computacional da difusão molecular de poluentes líquidos de aterros em solos organo argilos - Aterro Metropolitano de Gramacho, RJ

Izabella Christynne Ribeiro Pinto Valadão

Mestre em Engenharia Metalúrgica, Escola de Engenharia Metalúrgica de Volta Redonda/UFF. Departamento de Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica – Núcleo de Simulação Ambiental
Av. dos Trabalhadores, nº 420
Volta Redonda, RJ, Brasil CEP 27255-250
izabella@metal.eeimvr.uff.br

Alexandre José da Silva

Doutor em Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia Metalúrgica de Volta Redonda/UFF. Departamento de Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica – Núcleo de Simulação Ambiental
Av. dos Trabalhadores, nº 420
Volta Redonda, RJ, Brasil CEP 27255-250
ajs@metal.eeimvr.uff.br

José Adilson de Castro

PHd em Ciências, Escola de Engenharia Metalúrgica de Volta Redonda / UFF – Departamento de Pós Graduação em Engenharia Metalúrgica – Núcleo de Simulação Ambiental
Av. dos Trabalhadores, nº 420
Volta Redonda, RJ, Brasil CEP 27255-250
adilson@metal.eeimvr.uff.br

Elisabeth Ritter

Doutora em Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro / UERJ – Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente
Rua São Francisco Xavier 524 Sala 5029-F Maracanã
Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil CEP 20550-900
ritter@uerj.br

Resumo

Um dos principais problemas ambientais causados pelo acúmulo de lixo é a liberação de lixiviado no solo. O trabalho realizado compreende a utilização de dois instrumentos computacionais na avaliação da difusão de íons dissolvidos na massa líquida proveniente de aterro sanitário. O software POLLUTE e o modelo computacional (MPHMTP) Multi Phase Heat and Mass Transfer Program, Castro (2000), inicialmente desenvolvido para simulações de processos siderúrgicos e posteriormente adaptado ao cálculo do escoamento e a interação química de efluentes resultantes da decomposição úmida de rejeitos sólidos

Abstract

The work presents the development of a MPHMTTP computational model that has the capability of simulating environmental impacts due to the leachate infiltration into the soil. The numerical solution is based on the finite volume method. The model was used in order to simulate the laboratory scale representing the molecular diffusion of the ions chloride, sodium, calcium, magnesium, potassium and ammonium present in larger concentration in the leachate into the organic clay soil of the Gramacho MSW landfill, localized in the Duque de Caxias city, RJ. The simulations were compared with those obtained using the POLLUTE program and experimental results. In the contact

urbanos e industriais em meios porosos (Pinto, 2004 e Forster, 2006). O modelo utiliza o método de volumes finitos para a realização das simulações de difusão molecular dos íons cloreto, sódio cálcio, magnésio, potássio e amônio. Os íons analisados são os que possuem maior concentração no lixiviado e no solo orgânico argiloso do Aterro Metropolitano de Gramacho, localizado no município de Duque de Caxias, Rio de Janeiro. Os resultados mostram a validade e adequação dos modelos POLLUTE e MPHMTTP utilizados, quando foram comparados os resultados numéricos dos modelos com os obtidos experimentalmente, através da escala de laboratório proposta.

soil-leachate region, the MPHMTTP program gave better agreement with the experimental data.

Palavras-chave: Simulação Computacional, Difusão Molecular, Meios Porosos e Volumes Finitos.

Key words: Numerical Simulation, Molecular Diffusion, Porous Flow e Finite Volume Model.

1. Introdução

No Brasil coletam-se cerca de 228 mil toneladas de resíduos sólidos diariamente (IBGE, 2000). Mais de 80% dos municípios depositam seus resíduos em locais a céu aberto, nos cursos d'água ou em áreas ambientalmente protegidas.

Um dos principais problemas ambientais causados pelo acúmulo de lixo é a liberação de lixiviado no local, resultando na poluição do solo e da água, através do carreamento de substâncias químicas provenientes da degradação dos resíduos.

A construção de modelos matemáticos e a obtenção de soluções numéricas estáveis, acuradas e precisas para problemas de escoamentos em meios porosos, que representem, o mais fielmente possível, o comportamento dos correspondentes sistemas reais, se tornam, nos dias atuais, de enorme importância para se estimar a poluição do solo e das águas subterrâneas.

Através deste trabalho, foi realizada a adaptação do Multi Phase Heat and Mass Transfer Program, (Castro, 2000), para a realização de estudos e cálculos da migração dos íons do lixiviado no solo a partir de depósitos a céu aberto ou em aterros sanitários. Os resultados fornecidos pelo modelo podem, então, ser utilizados para o estabelecimento de uma metodologia de previsão e análise do impacto ambiental e do nível de poluição do solo e das águas subterrâneas, levando-se em consideração os principais fenômenos envolvidos.

2. Modelagem

Através da discretização das equações de transporte, utilizando-se o método de volumes finitos (Patankar, 1985), são realizadas simulações em escala laboratorial, utilizando-se o MPHMTTP (Castro, 2000) implementado em linguagem Fortran. O programa utilizado proporciona a utilização de vários componentes para cada uma das fases envolvidas no fenômeno físico e permite também definir condições de contorno mais apropriadas e particulares, de acordo com o fenômeno físico envolvido em cada simulação.

A análise de sistemas constituídos por meios porosos é expressa pela distribuição espacial e temporal das variáveis que descrevem o seu comportamento, tais como pressão, velocidade, tensão, deformação, densidade, porosidade, saturações de fases e concentrações de componentes.

2.1 Equação do balanço de massa

Em um escoamento multifásico, como os componentes encontram-se misturados, pode-se caracterizar a presença de cada componente por sua fração molar ou por sua fração mássica. A equação de conservação das espécies químicas pode ser formulada como:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon_j \rho_j \phi_{ij}) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\varepsilon_j \rho_j \bar{U}_j \phi_{ij}) - \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\varepsilon_j D_{ij} \frac{\partial}{\partial x_j} \phi_{ij} \right) = \dot{S}_{esp} \quad (2.1)$$

Onde ϕ_{ij} representa a fração mássica, ε_j a fração volumétrica de cada fase, ρ_j a densidade de cada fase em cada ponto do meio poroso e D_{ij} o coeficiente de difusão de cada componente i da fase j . U_j representa a velocidade da fase, que é obtida por solução do balanço diferencial de quantidade de movimento da fase no meio poroso e S_{esp} o termo fonte associado à sorção.

O balanço de massa entre a fase sólida e a fase líquida considera a fase sólida com velocidade nula e em equilíbrio químico com a fase líquida. A relação entre a quantidade de poluente adsorvida na fase sólida e a quantidade existente em equilíbrio na fase líquida é conhecida como isoterma de sorção.

Neste trabalho, o termo fonte de sorção foi modelado com a ajuda da definição de um coeficiente de distribuição K_d , o qual relaciona o equilíbrio entre a quantidade da espécie química (soluto) adsorvida pela fase sólida do solo e a concentração da mesma espécie química na fase líquida em contato com as partículas. Segundo esta formulação, o termo fonte é dado por:

$$\dot{S}_{esp} = \frac{m_{soluto}}{V_t \cdot dt} = \frac{\rho_{sólido}^{sec}}{\varepsilon_{sólido}} K_d \frac{dC}{dt} \quad (2.2)$$

2.2 Equação do balanço da quantidade de movimento

O balanço diferencial de quantidade de movimento de cada fase presente no meio poroso é expresso pela equação vetorial:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon_j \rho_j \bar{U}_j) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\varepsilon_j \rho_j \bar{U}_j) - \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\varepsilon_j \mu_j \frac{\partial}{\partial x_j} \bar{U}_j \right) = -\frac{\partial P}{\partial x_j} - F_s^L + S_v \quad (2.3)$$

Onde μ_j representa a viscosidade de cada fase. O termo fonte engloba diferentes termos, entre eles os termos diferenciais do balanço da quantidade de movimento, que não se enquadram na forma difusiva pura (termos cruzados). O termo F_s^L traduz a resistência que as partículas sólidas oferecem ao escoamento do fluido através da força de arraste por unidade de volume do meio, determinada através da equação de Kozeny-Carman modificada (Castro, 2000):

$$\bar{F}_s^L = \frac{\rho_L}{r_h} |\bar{U}_L - \bar{U}_S| \left(5\beta + 0.4\beta^{0.1} \right) (\bar{U}_L - \bar{U}_S) \quad (2.4)$$

Onde ρ_L representa a densidade da fase líquida, U_L a velocidade da fase líquida, U_S a velocidade da fase sólida, r_h o raio hidráulico, β o coeficiente de arraste, sendo que:

$$\beta = \frac{\mu_L}{\rho_L |\bar{U}_L - \bar{U}_S| r_h} \quad (2.5)$$

$$r_h = \frac{\phi_L \phi_S d_S}{6 \epsilon_s} \quad (2.6)$$

Onde μ_L representa a viscosidade da fase líquida, ϕ_L a fração volumétrica da fase líquida, ϕ_S o fator de forma das partículas da fase sólida e d_S o diâmetro das partículas da fase sólida.

3. Simulações

Estudos recentes vêm demonstrando o especial papel da difusão molecular no transporte de íons poluentes presentes em lixiviados, principalmente em solos finos (Ritter *et al.*, 1995). São apresentados resultados obtidos experimentalmente, os quais são utilizados como dados de entrada para as simulações realizadas.

3.1 Ensaios de difusão molecular no solo

A difusão molecular pode ser entendida como um processo irreversível onde o soluto é transportado espontaneamente de uma parte para outra do sistema, como resultado de movimentos moleculares aleatórios. A taxa de difusão de poluentes (íons, moléculas e compostos) no solo é menor do que em soluções livres, devido a existência de tortuosidade e ramificações nos canais dos poros e pela diminuição da área de fluxo.

Nos sistemas de disposição de resíduos, a análise do transporte de poluentes em solos é um dos aspectos de grande relevância. Estudos recentes vêm demonstrando o especial significado da difusão molecular no transporte destes poluentes, principalmente em solos finos (Ritter *et al.*, 1995). A medição das propriedades físicas, bem como da difusividade e da capacidade de sorção para cada constituinte do lixiviado, pode ser feito em escala laboratorial através de ensaios padronizados.

Foram realizados ensaios de difusão molecular (Ritter *et al.*, 2002 e 2003) para o estudo da migração dos íons Cl^- , Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , K^+ e NH_4^+ em amostras de solo orgânico argiloso, retirado diretamente da barreira de contenção de lixiviado do Aterro Metropolitano de Gramacho. Os ensaios foram realizados num período de 72 horas, tendo as amostras de solo e o lixiviado no reservatório, ambos 5 cm de altura, dentro da célula.

Foi utilizada para este ensaio uma célula confeccionada em acrílico conforme célula descrita em (Barone *et al.*, 1990), porém com algumas alterações. A célula possui 10 cm de diâmetro e 10 cm de altura.

A medida de sorção foi efetuada através de ensaios de equilíbrio em lote ("batch-tests"). Diariamente foi retirada uma amostra de 3 ml de lixiviado para análise química. Após o período de 72 horas a amostra foi fatiada em três pedaços e o líquido intersticial extraído para análise química.

3.2 Simulações de difusão molecular nas amostras de solo

A medição das propriedades físicas, bem como da difusividade e da capacidade de sorção para cada constituinte do lixiviado, pode ser feita em escala laboratorial através de ensaios padronizados. No Brasil, particularmente no Rio de Janeiro, atualmente esse tipo de trabalho vem sendo realizado pela

equipe do grupo de resíduos sólidos do programa de pós-graduação em Engenharia Ambiental (PEAMB) da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ).

Uma especial atenção vem sendo dada ao longo da última década, por sua dimensão e importância, ao aterro Metropolitano de Gramacho, o qual está localizado no município de Duque de Caxias, estado do Rio de Janeiro, às margens da Baía de Guanabara. Ele recebe aproximadamente 80% dos resíduos domiciliares do município do Rio de Janeiro, o equivalente a 7.000 toneladas por dia, numa área de 1,2 Km².

Com o objetivo de caracterizar o subsolo do Aterro Metropolitano de Gramacho, foram realizados estudos sobre a migração dos poluentes presentes no lixiviado para o solo local (Barbosa *et al.*, 1994) e para solos salinos e não salinos reconstituídos em laboratório (Ritter, 1998).

O solo orgânico argiloso de Gramacho, onde a esmectita é o mineral presente em maior quantidade, contém 70% de partículas finas (fração <5 µm) e alta plasticidade (IP=90%). A tabela 1 apresenta a caracterização geotécnica do solo.

Tabela 1. Caracterização Geotécnica do Solo (Fonte: Ritter et al., 2003).

<5 µm fração	70 %
Água contida	165 %
Limite de liquidez	167 %
Limite de plasticidade	77 %
Porosidade	~0.80
Densidade dos grãos	2.41

Devido à alta salinidade da argila local, testes de difusão indicaram um fluxo químico entre os íons poluentes presentes em maior abundância (Cl⁻, Na⁺, K⁺, NH₄⁺, Ca⁺ e Mg⁺) no lixiviado, e a fundação de argila orgânica (Barbosa *et al.*, 1996). Esse fluxo químico ocorreu não só do aterro para o solo da fundação, como também deste para o aterro.

As tabelas 2 e 3 apresentam a composição química da fase líquida encontrada nos interstícios da amostra de solo e no reservatório de lixiviado. Observa-se que a concentração dos íons Cl⁻, Na⁺, Ca⁺² e Mg⁺² é mais alta no solo intersticial da amostra do que no reservatório de lixiviado, característica peculiar do Aterro Metropolitano de Gramacho.

Tabela 2. Composição da Fase Líquida Contida nos Interstícios da Amostra de Solo (Fonte: Ritter et al., 2003).

Cl ⁻	6105 mg/l
Na ⁺	4475 mg/l
K ⁺	543 mg/l
NH ₄ ⁺	92 mg/l
Ca ⁺²	365 mg/l
Mg ⁺²	850 mg/l

Tabela 3. Composição do Lixiviado Contido no Reservatório (Fonte: Ritter et al., 2003).

Cl ⁻	4367 mg/l
Na ⁺	3089 mg/l
K ⁺	1681 mg/l
NH ₄ ⁺	1815 mg/l
Ca ⁺²	203 mg/l
Mg ⁺²	92 mg/l

Ensaio de sorção em solos reconstituídos salinos e não-salinos com monossoluções de NaCl, KCl e NH₄Cl (Ritter, 1998) e com o lixiviado do Aterro Metropolitano de Gramacho mostraram uma grande capacidade de sorção para o K⁺ e para o NH₄⁺ e uma dessorção para o Cl⁻, Na⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ constatada através de ensaios de equilíbrio em lote (Ritter, 2002 e 2003).

Devido à dessorção, o último grupo de íons é tido como não reativo com o solo, já os íons potássio e amônio são reativos. A capacidade de sorção do potássio e do amônio é definida em termos absolutos, pois os parâmetros de sorção adotados correspondem a valores de isoterma lineares (Ritter *et al.*, 2003).

Utilizando-se como parâmetros de entrada os dados das tabelas 3.4 e 3.5, foram realizadas simulações de difusão molecular (Ritter *et al.*, 2003) utilizando-se o software POLLUTE (Rowe e Booker, 1994).

Utilizando-se também os dados de entrada das tabelas 4 e 5, foram realizadas simulações de difusão molecular com a utilização da ferramenta desenvolvida em Fortran, o MPHMT, para a comparação e análise de resultados. Valores dos pontos das curvas obtidas numericamente estão apresentados nas figuras de 4.1 a 4.6, as quais apresentam os perfis de difusão molecular dos íons Cl⁻, Na⁺, K⁺, NH₄⁺, Ca⁺ e Mg⁺ através do reservatório e da amostra de solo, ambos contidos na célula experimental.

Dentro do reservatório a difusão dos íons ocorre em solução livre, já na amostra de solo ocorre à difusão efetiva dos íons através dos interstícios das partículas, por serem os efeitos da tortuosidade e da porosidade justapostos.

Tabela 4. Coeficientes de Distribuição (Fonte: Ritter *et al.*, 2003).

Íon	Kd
K ⁺	1.9 cm ³ /g
NH ₄ ⁺	6.5 cm ³ /g

Tabela 5. Condições Iniciais para os Ensaio de Difusão Molecular (Fonte: Ritter *et al.*, 2003).

Teor de umidade	135 %
Porosidade	0.76
Densidade seca	0.57 g/ cm ³

4. Resultados e discussões

4.1 Componentes não reativos com o solo

A seguir são apresentados os perfis da difusão molecular dos íons considerados não reativos (Cl⁻, Na⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺) com o solo, ocorrida no reservatório e na amostra de solo, ambos inseridos na célula experimental, São apresentados os coeficientes de difusão efetiva obtidos numericamente através dos programas utilizados (O MPHMT e o POLLUTE, utilizado pela equipe da UERJ).

São representados, através dos círculos verdes, os valores das concentrações dos íons de acordo com a profundidade, obtidos durante os ensaios experimentais (Ritter *et al.*, 2003). A linha contínua representa os dados numéricos obtidos através do MPHMT (UFF) e os quadrados representam os resultados numéricos obtidos através do POLLUTE (UERJ).

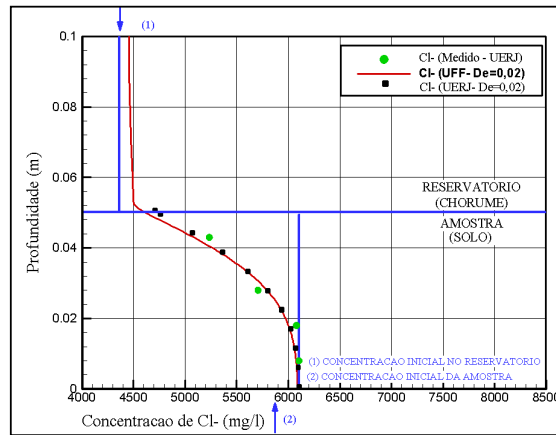


Figura 6. Perfil da difusão molecular do íon Cl^- .

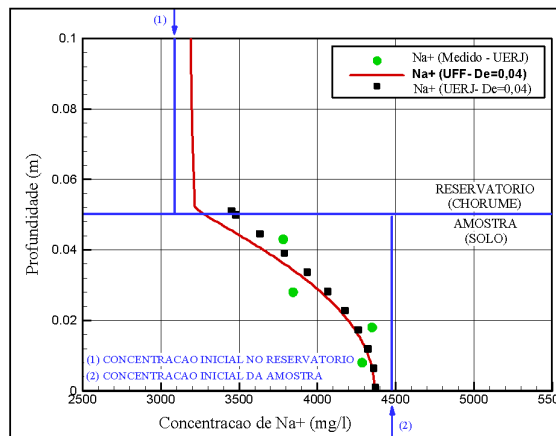


Figura 7. Perfil da difusão molecular do íon Na^+ .

As curvas numéricas para os íons Cl^- (figura 6) e Na^+ (figura 7) obtidas através do POLLUTE e do MPHMTM apresentaram bom ajuste aos dados experimentais, o que já não ocorre com o íon Ca^{2+} (figura 8). Essa discrepância pode ser atribuída a diferentes fatores, entre eles, uma possível interação química do Ca^{2+} com a matriz do solo ainda não incluída nos modelos matemáticos. Acredita-se que esse mau ajuste possa ser corrigido, após análises mais detalhadas, novos ensaios e simulações.

Os coeficientes de difusão efetiva encontrados foram os mesmos para os íons Cl^- , Na^+ e Ca^{2+} .

A curva numérica para o Mg^{2+} (figura 9) obtida através do MPHMTM apresenta melhor ajuste aos dados experimentais, mostrando assim, uma melhor eficiência. Os coeficientes de difusão efetiva encontrados também apresentam diferenças.

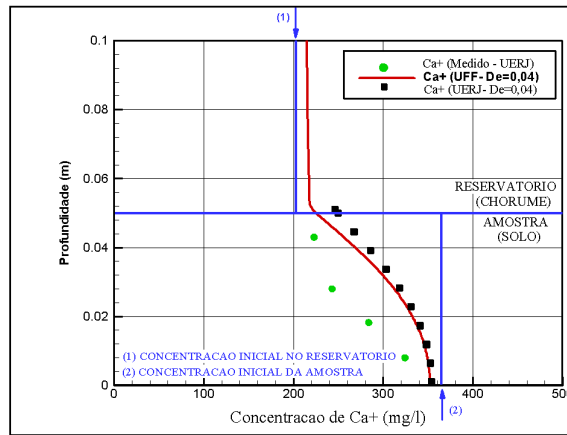


Figura 8. Perfil da difusão molecular do íon Ca^{2+} .

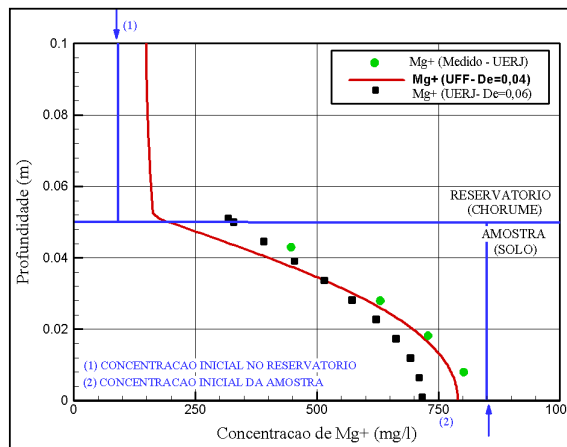


Figura 9. Perfil da difusão molecular do íon Mg^{2+} .

A eficiência dos dois programas se mostrou muito próxima, uma vez que os dados numéricos obtidos estão muito próximos, com exceção da região de interface entre o reservatório e a amostra.

No modelo MPHMT, a interface entre a amostra de solo e o reservatório de lixiviado sobre ela, é parte integrante do domínio de cálculo. O balanço dos fluidos de massa entre essas duas regiões é satisfeito automaticamente pelo esquema de discretização do MPHMT, onde então a solução numérica reproduz as camadas limites de difusão na região de interface.

Na modelagem com o programa POLLUTE, a interface entre o reservatório de lixiviado e a amostra de solo, corresponde a um contorno ou fronteira do domínio de cálculo. Isto demanda a especificação de uma condição de contorno, geralmente fixa que não reproduz perfeitamente a dinâmica da troca de massa entre as duas regiões. O balanço de massa calculado pelo modelo MPHMT pode ser observado através da variação de concentração no reservatório de lixiviado acima da amostra do solo, o que não é calculado pelo modelo POLLUTE.

4.2 Componentes reativos com o solo

Por serem reativos com o solo, são apresentados, em separados, os ensaios de difusão molecular dos íons K^+ e NH_4^+ .

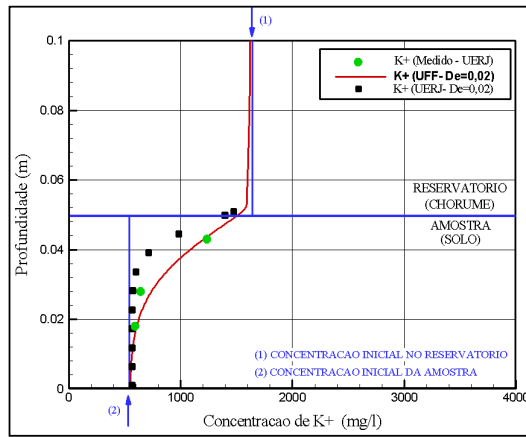


Figura 10. Perfil da difusão molecular do íon K^+ .

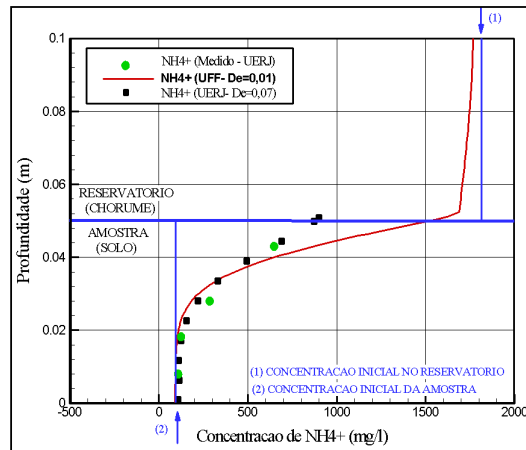


Figura 11. Perfil da difusão molecular do íon NH_4^+ .

As curvas obtidas numericamente para os íons K^+ (figura 10) e NH_4^+ (figura 11) através do MPHMTF apresentam melhor ajuste aos dados experimentais, mostrando assim, uma melhor adequação do programa para simular os fenômenos envolvidos. Os coeficientes de difusão efetiva encontrados para o íon K^+ foram os mesmos, e para o íon NH_4^+ apresentaram grande diferença. Tais discrepâncias podem ser explicadas por imprecisões nas medições da concentração do íon NH_4^+ e pelo mecanismo considerado no modelo cinético, que considera um mecanismo clássico de sorção, linearmente dependente da concentração do íon.

Todos os coeficientes de difusão efetiva obtidos com a utilização dos programas MPHMTF e POLLUTE para todos os íons analisados estão representados na tabela 12.

Tabela 12. Coeficientes de Difusão Efetiva D_e .

Íon	MPHMTF	POLLUTE
	0.02 m^2/ano	0.02 m^2/ano
Na^+	0.04 m^2/ano	0.04 m^2/ano
Ca^{+2}	0.04 m^2/ano	0.04 m^2/ano
Mg^{+2}	0.06 m^2/ano	0.04 m^2/ano
K^+	0.02 m^2/ano	0.02 m^2/ano
NH_4^+	0.07 m^2/ano	0.01 m^2/ano

5. Conclusões

Resultados experimentais obtidos através de ensaios de difusão molecular foram comparados com resultados numéricos obtidos através dos programas MPHMTM (desenvolvido e utilizado pela equipe de simulação computacional do programa de pós-graduação da escola de Engenharia Metalúrgica de Volta Redonda – UFF) e POLLUTE (adquirido comercialmente e utilizado pela equipe do programa de pós-graduação em Engenharia Ambiental da UERJ). Todos os resultados obtidos através da simulação computacional apresentaram boa concordância com os dados experimentais, exceto para o íon Ca^{2+} . Vale ressaltar que houve uma grande diferença nos valores encontrados para os coeficientes de difusão efetiva do íon NH_4^+ , os quais são obtidos numericamente.

O programa MPHMTM mostrou-se mais adequado para simular as condições do ensaio, especialmente na região da interface solo-lixiviado devido à não necessidade de imposição da condição de interface através de condição de contorno, o que é prática no programa comercial POLLUTE. Desta forma, o MPHMTM representa fielmente a condição de camada limite de concentração desenvolvida nesta região.

6. Referências

- BARBOSA, M.C. 1994. *Investigação Geoambiental do depósito de argila sob o aterro de resíduos sólidos de Gramacho-RJ*. Rio de Janeiro, RJ. Tese de Doutorado. Programa de Engenharia Civil, COPPE/ UFRJ, **número total de páginas.**
- BARBOSA, M.C. 1996. Ions diffusion through na organic saline clay soil. *In: Second International Congress on Environmental Geotechnics, Osaka, Japan. Anais... Local de publicação, instituição responsável pela publicação, 1:7-12.*
- CASTRO, J.A. 2000. A multi-Dimensional Transient Mathematical Model of Blast Furnace Based on Multi-Fluid Model. Institute for Advanced Materials Processing. Tohoku University, Japan. **[Que tipo de publicação é?]**
- IBGE, Pesquisa do saneamento básico (PNSB). (2000) Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 jan.2003.
- PATANKAR, S.V. 1985. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. Washington, Hemisphere Publishing Company, 197 p.
- PINTO, I.C.R. 2004. *Modelamento e Simulação Computacional da migração dos íons do lixiviado em meio poroso*. Volta Redonda, RJ. Dissertação de mestrado. Universidade Federal Fluminense, **número total de páginas.**
- RITTER, E. *et al.* 1995. A difusão molecular no transporte de poluentes através dos solos. *In: 3º Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental, REGEO'95. Ouro Preto, MG. Anais... Local de publicação, instituição responsável pela publicação, página inicial e final.*

RITTER, E. *et al.* 1998. Effect of soil salinity upon diffusion and sorption of inorganic ions. *In*: Third International Congress on Environmental Geotechnics, Lisboa, Portugal. *Anais...*, Lisboa, **instituição responsável pela publicação**, p. 461-466.

RITTER, E. *et al.* 2002. Difusão e sorção de soluções múltiplas e monossoluções em solos argilosos salinos e não-salinos. *In*: 4º Congresso Internacional de Geotecnia Ambiental, Rio de Janeiro, RJ. *Anais...* Rio de Janeiro, **instituição responsável pela publicação, página inicial-final**.

RITTER, E. e GATTO, R. 2003. *Relatório Interno* (PIBIC/UERJ).

ROWE, R.W. e BOOKER, J. R. 1994. Program POLLUTE - ID Pollutant Migration Analysis Program. Geotechnical Research Center, Faculty of Engineering Science, UWO- London, Canadá. **[Que tipo de publicação é?]**