

# **ESTUDO EXPERIMENTAL DA DISPERSÃO DE TOLUENO EM SOLOS PELO MECANISMO DE DIFUSÃO – Propagação na Fase Não-Saturada**

E. A. S. Chiaramonte<sup>1</sup>; R. M. Kautzmann<sup>2</sup>; C.H. Sampaio<sup>3</sup>; J. R. S. Zabadal<sup>3</sup>

1-Professor - Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos – UERGS – Unidade Novo Hamburgo – RS

Endereço: Rua dos Ferroviários, 581 – Bairro: Centro – Esteio – RS – CEP: 93265-150

Email: edsonchi@portoweb.com.br

2- Professor - Universidade La Salle – Canoas - RS

3- Professor – UFRGS – Porto Alegre - RS

**RESUMO** – A propagação do composto Tolueno na zona não-saturada de um solo é investigada neste trabalho. A metodologia experimental, para obtenção de valores quantitativos de concentração numa coluna de laboratório, é mostrada. Também são mostrados os perfis experimentais de concentração obtidos.

**PALAVRAS-CHAVE:** propagação no solo; frações de petróleo; dispersão;

**ABSTRACT** – The Toluene compound dispersion in the soil unsaturated zone is researched in this work. The experimental methodology, for attainment of quantitative values of concentration in a laboratory column, is shown. The experimental concentration profiles are also shown.

## **1. INTRODUÇÃO**

Os vazamentos de correntes de hidrocarbonetos (gasolina, diesel, querosene, nafta) para o solo têm chamado a atenção nos últimos anos, pois a propagação destes causam a contaminação do solo e podem atingir as águas subterrâneas, conforme Santos (1998), Cordazzo (2000) e Penner (2000). Neste contexto o grupo de pesquisa investiga através de estudos experimentais e modelagem matemática esta propagação nas zonas não-saturada e saturada do solo. O transporte e a difusão de compostos hidrocarbonetos no solo envolve os fenômenos físicos como escoamento por gravidade, lixiviação, difusão mecânica e molecular. Os fenômenos de distribuição dos compostos entre as fases sólida, ar, água e óleo

(adsorção na fase sólida, solubilidade na fase líquida, e transferência de massa para a fase vapor) e processos de degradação (química e biológica) também estão presentes. Nesta etapa da pesquisa investiga-se os fenômenos de dispersão na zona não-saturada, Behrendt (2005) e Grathwohl et al. (2003). Dados experimentais estão sendo obtidos numa coluna de solo em escala de laboratório. O composto Tolueno é usado como representativo da gasolina e valores quantitativos de concentração são obtidos ao longo da coluna. Este artigo contém os seguintes itens: a dispersão de compostos na zona não-saturada do solo, os materiais e os métodos para a obtenção de dados experimentais, os resultados experimentais e a conclusão desta etapa do trabalho.

## 2. A PROPAGAÇÃO DOS COMPOSTOS NA ZONA NÃO-SATURADA DO SOLO

Um vazamento de hidrocarboneto propaga-se pelas zonas saturada e não-saturada do solo. A dispersão na zona saturada envolve a difusão mecânica e a advecção devido ao escoamento da água subterrânea. E, a propagação na zona não-saturada envolve a difusão na fase livre. Este trabalho investiga a dispersão do composto Tolueno na fase livre do solo, Jury et al. (2005).

## 3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

### 3.1 Elaboração das Soluções Padrões

Uma quantidade pré-determinada do composto Tolueno é colocada num frasco de volume conhecido para a elaboração de misturas gasosas de concentrações conhecidas em ppm (parte por milhão) de massa. A Figura 1 mostra a curva padrão obtida no cromatógrafo.

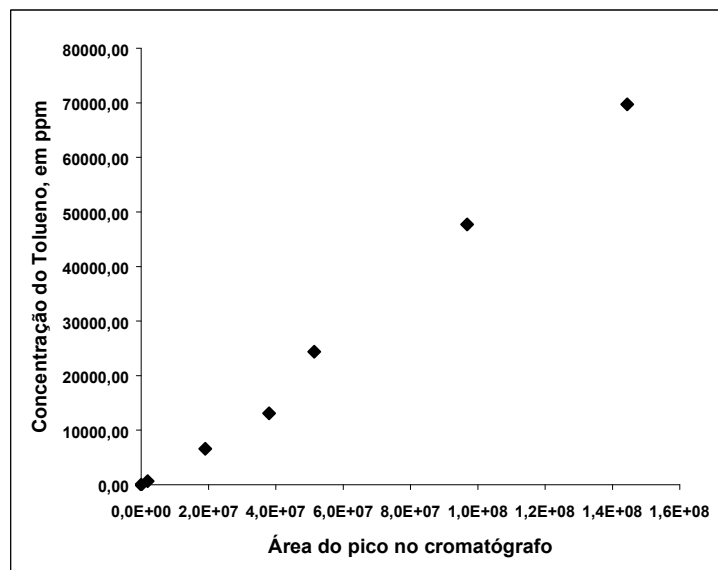


Figura 1. Curva padrão do composto Tolueno no ar atmosférico.

### 3.2 Procedimento de Liberação Experimental na Coluna de Solo

Uma quantidade do composto Tolueno é liberada na coluna de solo. Depois de determinado período de tempo realiza-se a coleta em várias alturas da fração fluida do solo. Em seguida é determinada a concentração do composto no solo usando-se o método analítico de cromatografia gasosa.

#### 3.2.1 Materiais

A coluna é um tubo de aço, com diâmetro de 5 cm e altura de 150 cm, preenchida com areia fina visando simular um solo em laboratório. A coluna apresenta pontos de coleta de amostra espaçados 20 cm entre si. O reagente Tolueno P. A. Merck foi usado como composto representativo de um vazamento. Micro-Seringa 10  $\mu$ L e pipeta de 1 mL também foram utilizadas. Cromatógrafo,

estufa e balança analítica são os equipamentos usados.

### 3.2.2 Procedimento experimental

O procedimento experimental consiste das seguintes etapas:

- 1) Preenchimento da coluna de bancada com areia fina (diâmetro da coluna 5 cm e comprimento de 1,5 m);
- 2) Liberação de uma quantidade definida de tolueno, representando um composto volátil da gasolina (desejado obter uma liberação instantânea);
- 3) Vedação da coluna no topo: 1. com gesso, visando reter a maior volatilização que ocorre quando exposto diretamente à atmosfera; 2. tampa de ferro soldada, para impedir qualquer perda para a atmosfera;
- 4) Coleta da amostra (fase fluida do solo) de contaminante em várias alturas da coluna. A amostra é composta da fase fluida do solo sem a presença da fase sólida. A coleta é realizada após um período de tempo determinado, utilizando uma seringa volumétrica.
- 5) Determinação da concentração quantitativa do contaminante na amostra. Utiliza-se o procedimento analítico de cromatografia gasosa.

## 4. RESULTADOS

Nas Figuras 2 e 3 é mostrado o resultado experimental do denominado teste 1. Ele é uma liberação de uma quantidade de 1 mL do composto Tolueno na coluna de solo.

Essa foi vedada no topo com uma camada de gesso. As Figuras 4 e 5 mostram o resultado do teste 2, que foi realizado nas mesmas condições do teste 1. As Figuras 6 e 7 mostram o teste 3, onde a coluna está soldada no topo e foi emitido 0,5 mL de Tolueno. Na figura 7 foi colocada menos curvas para uma melhor visualização. Os gráficos mostram no eixo da abscissa distância do ponto de emissão (topo da coluna) contra concentração em ppm de massa. A primeira figura de cada teste mostra valores mais altos de concentração, pois apresenta os dias mais próximos da emissão. As Figuras 8 e 9 mostram resultados de simulação para os tempos de liberação de 1 e 2 dias para o teste 3. Foi usado um modelo unidimensional, que é uma combinação de liberações instantâneas. A solução analítica em série, para uma liberação instantânea, é dada pela relação:

$$C_{i,ars}(z,t) = 2C_{i,o} \sum_{m=1}^{\infty} e^{-D_E A_m^2 t} \frac{A_m^2 + H_2^2}{[L(A_m^2 + H_2^2) + H_2] A_m} \text{sen}(A_m L_i) \cos(A_m z) \quad (1)$$

Onde as constantes  $A_m$  são as raízes da equação:

$$A_m \tan(A_m L) - H_2 = 0 \quad (2)$$

$E$ ,  $C_{i,o}$ ,  $D_E$ ,  $H_2$ ,  $L$ ,  $L_i$ ,  $t$  e  $z$  são o valor da concentração no ponto de emissão, o coeficiente de difusão no meio poroso, a razão entre o coeficiente de transferência de massa no fundo da coluna e o coeficiente de difusão, o comprimento da coluna,  $L_i$  e o comprimento inicial da liberação, o tempo de liberação e a distância a partir do topo da coluna, respectivamente.

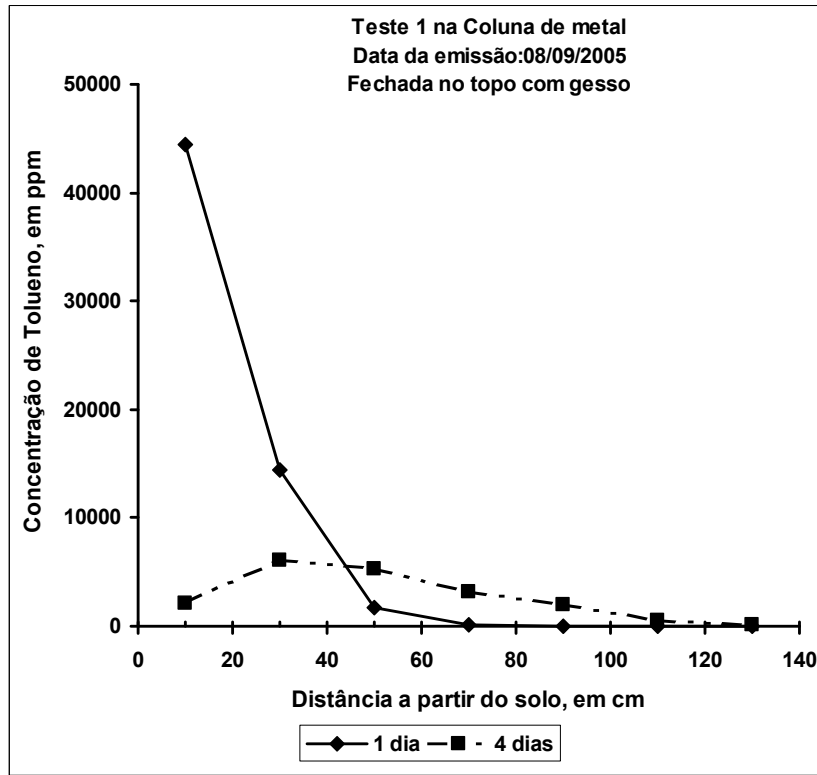


Figura 2. Liberação experimental no topo da coluna de solo (Teste 1).

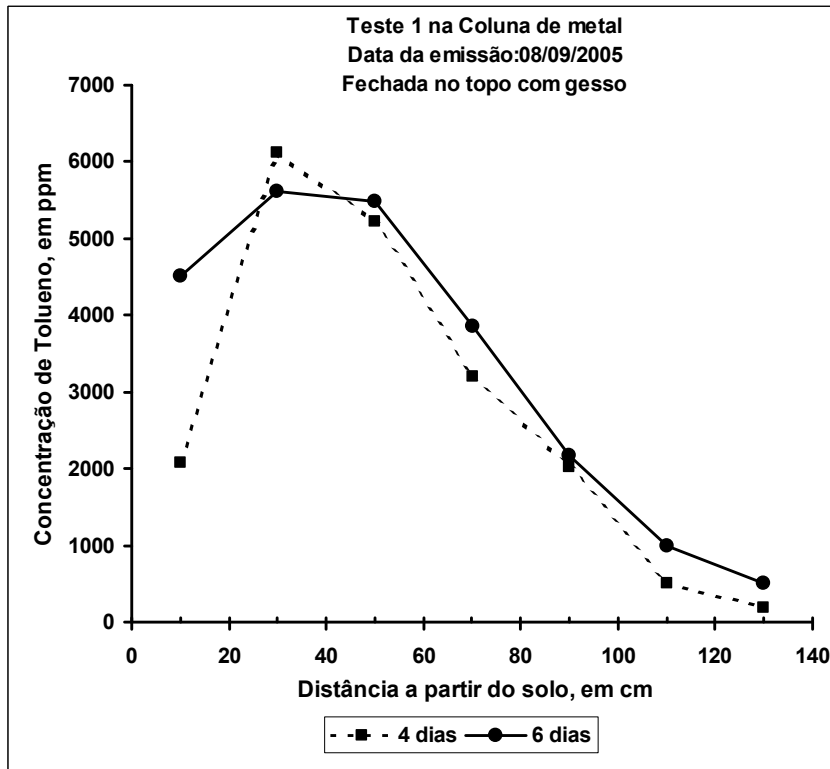


Figura 3. Liberação experimental no topo da coluna de solo (Teste 1).

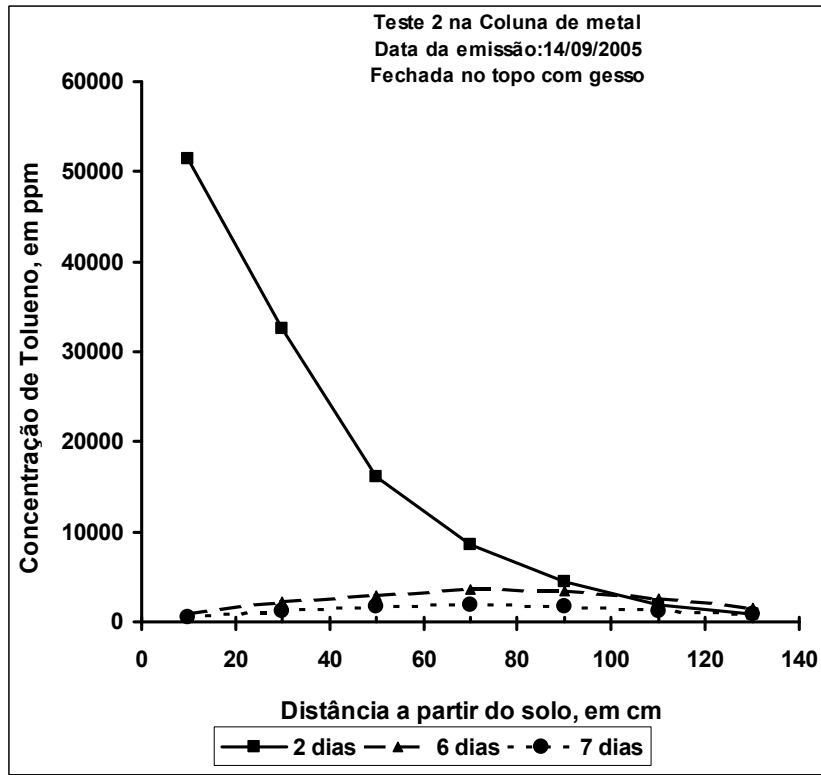


Figura 4. Liberação experimental no topo da coluna de solo (Teste 2).

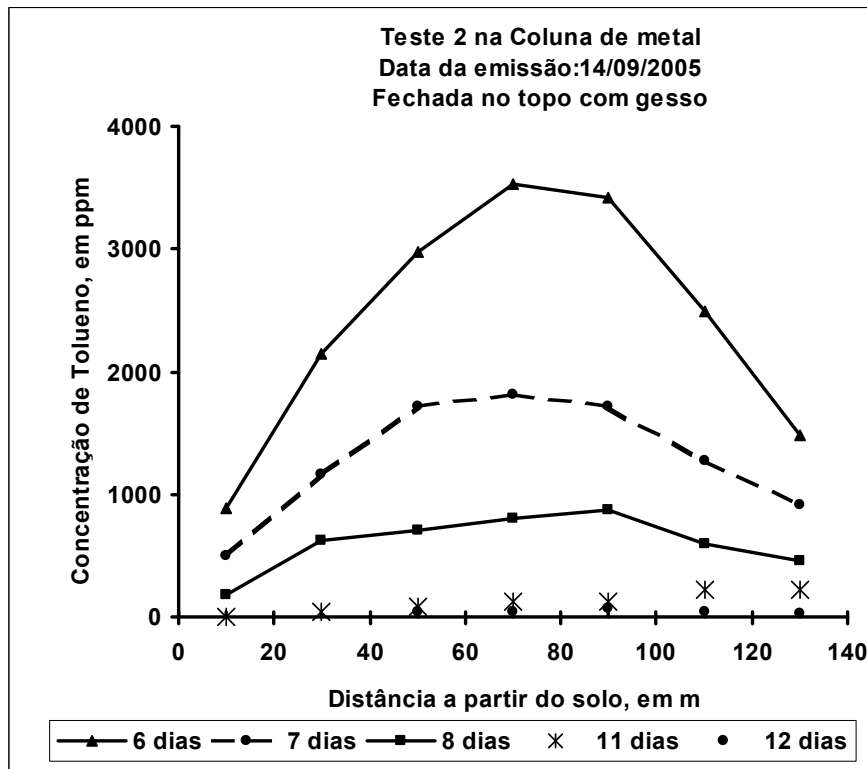


Figura 5. Liberação experimental no topo da coluna de solo (Teste 2).

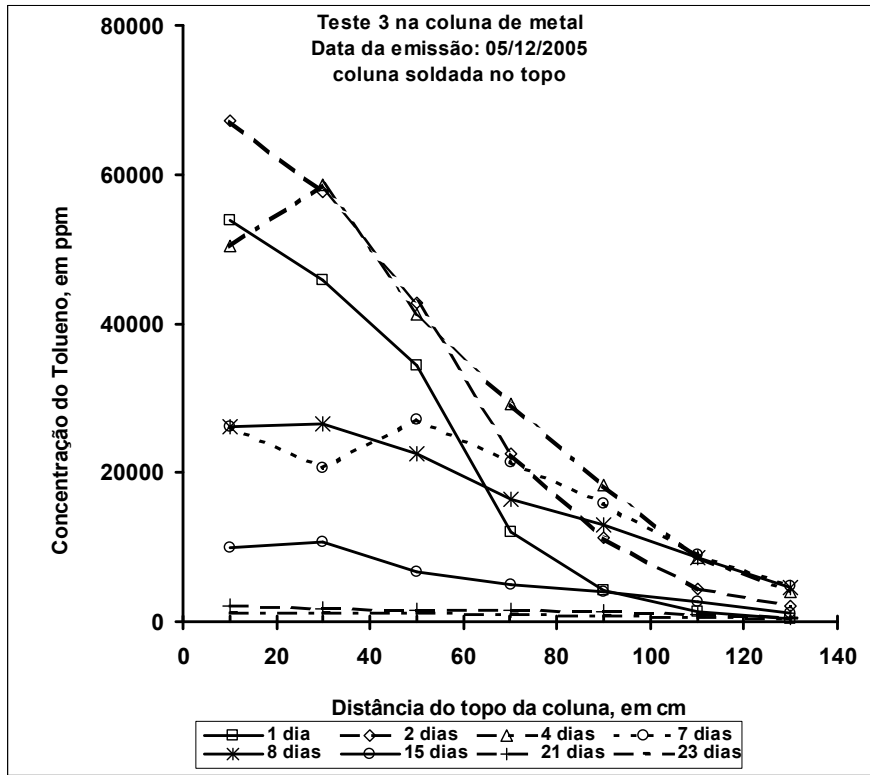


Figura 6. Liberação experimental com a coluna soldada no topo (Teste 3).

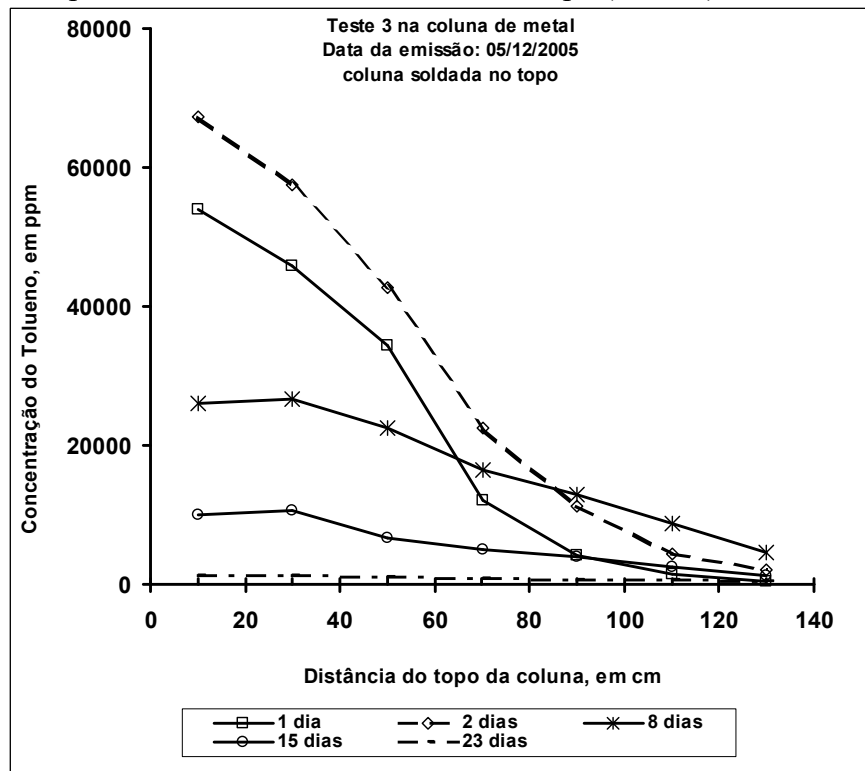


Figura 7. Liberação experimental com a coluna soldada no topo (Teste 3).

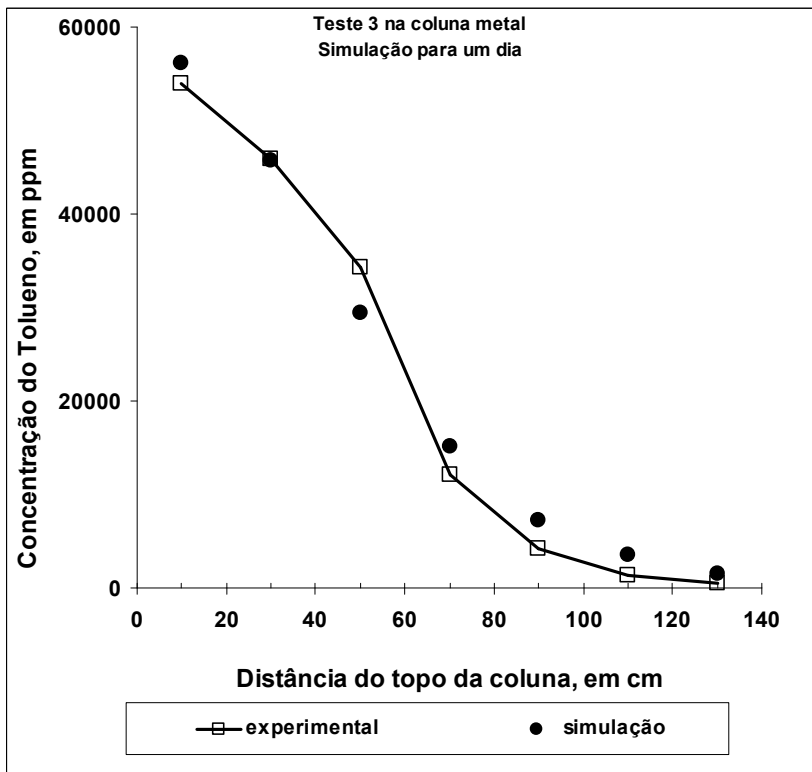


Figura 8. Simulação para o tempo de um dia para o teste 3.

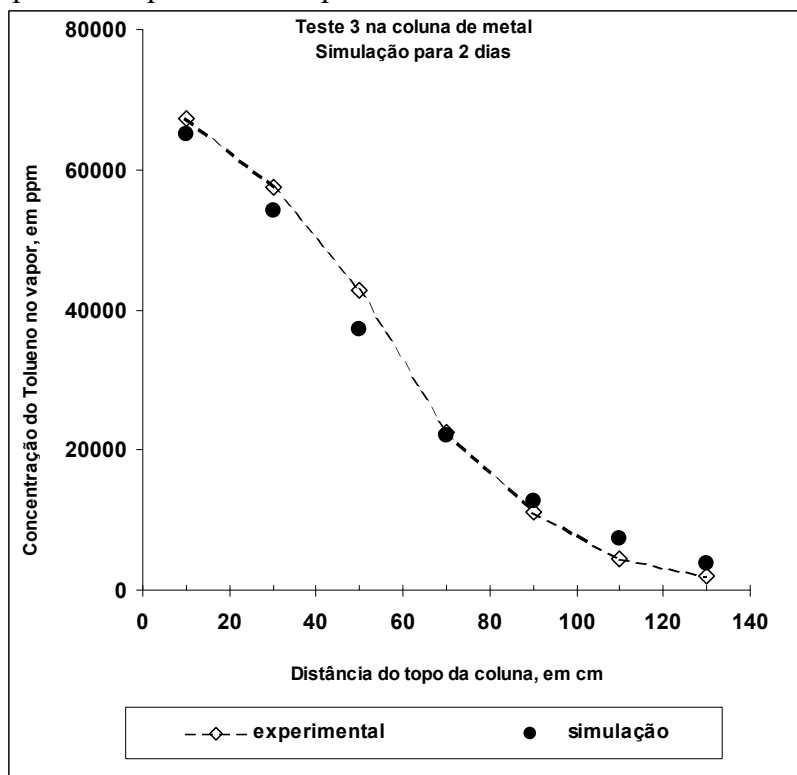


Figura 9. Simulação para o tempo de 2 dias para o teste 3.



## 5. DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Os resultados dos testes 1 e 2 mostram valores mais baixos de concentração para o composto Tolueno a partir do quarto dia no teste 1 e sexto dia no teste 2 (valores abaixo de 10000 ppm). Enquanto que, o teste 3, com a coluna soldada no topo, mantém mais altos valores de concentração até o décimo quinto dia. Os perfis de concentração também foram diferentes para a coluna vedada com o gesso e com a tampa soldada. Os perfis de concentrações parabólicos dos testes 1 e 2 mostram um escape do Tolueno no Topo da coluna, enquanto o teste 3 mostra um perfil exponencial, com a coluna isolada no topo. Os resultados das simulações mostram boa concordância e deverão ser realizadas análises estatísticas.

## 6. CONCLUSÕES

Esta pesquisa está desenvolvendo a avaliação experimental de concentração para compostos de frações de petróleo na zona não-saturada do solo. Os experimentos mostrados são o desenvolvimento da técnica aplicada ao composto Tolueno. O procedimento experimental apresentado mostrou-se adequado para obtenção de valores de concentração de compostos de hidrocarbonetos na fase gasosa em colunas simulando a zona não-saturada do solo.

Outros testes deverão ser realizados e modelos matemáticos serão aplicados para termos mais conclusões da pesquisa.

## 7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do CNPQ (projeto: PROCESSO Nº: 476858/2006-2), do Laboratório de Processamento Mineral da UFRGS, e da universidade Uni Lasalle.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- SANTOS, A. H. P. Simulação Composicional para Transporte de Hidrocarbonetos em Aquíferos, Dissertação de Mestrado, Unicamp, 1998.
- CORDAZZO, J. Modelagem e Simulação Numérica do Derramamento de Gasolina Acrescida de Álcool em Águas Subterrâneas, Dissertação de Mestrado, UFSC, 2000.
- PENNER, G. C. Estudo Laboratoriais da Contaminação do Solo com Gasolina com o Uso de um Detetor de Fotoionização, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.
- BEHRENDT, H. SNAPS/SOIL - water, heat, material transport in soil, 1996. Disponível em: <http://www.gsf.de/UFIS/ufis/modell17/modell.html>, 2005.
- GRATHWOHL, P.; WANG, G.; BREDERODE, S.; RECKHORN, F. Volatile Organic Compounds Volatilization from Multicomponent Organic Liquids and Diffusion in Unsaturated Porous Media, *Vadose Zone Journal*, v. 2, p. 602-701, 2003.
- JURY, W. A.; GARDNER, W. R.; GARDNER, W. H. *Soil Physics*, 6th Edition (Wiley), 2005.