

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE INFILTRAÇÃO DE GASOLINA E GASOLINA COM ETANOL UTILIZANDO VOLUMES FINITOS EM SISTEMA AXISSIMÉTRICO BIDIMENSIONAL

Marlene Tapia Morales¹; Eurípedes A. Vargas Jr.²; Velloso, R.Q.³

RESUMO

O presente trabalho propõe uma ferramenta numérica para a simulação de infiltração de gasolina e gasolina com etanol na zona não saturada do solo, empregando o método de volumes finitos em sistema axissimétrico e utilizando a função de Brooks e Corey e o modelo de Brooks-Core-Burdine para relacionar a permeabilidade em sistemas trifásicos. As soluções numéricas obtidas são comparadas qualitativamente com os resultados experimentais obtidos no trabalho de Barros [1].

Palavras chaves: Infiltração, fluxo multifásico, Gasolina, Gasolina C., Etanol, Volumes Finitos.

ABSTRACT

This paper presents a numerical tool in order to estimate gasoline and gasoline with ethanol (E-20) infiltration in vadose zone. This numerical tool uses finite volume methods under axisymmetric conditions. It also incorporates Brooks and Corey's and Brooks-Corey-Burdine's model for NAPL relative permeability in three-phase systems. The numerical solution obtained is compared with experimental results obtained from Barros [1].

Key words: Infiltration, multiphase flow, Gasoline, Gasoline with Ethanol, Finite Volume.

1 - INTRODUÇÃO

A presença de contaminantes de fase líquida não aquosa (NAPLs) no subsolo merece atenção, em particular, quando ocorre em zonas urbanas, pois pode criar um risco para a população. A gasolina é considerada um NAPL constituída de uma mistura de hidrocarbonetos voláteis (Poulsen, et al, [7]). A solubilidade dos hidrocarbonetos na gasolina pode ainda ser maior se a gasolina for misturada com solventes orgânicos oxigenados, como o álcool (Corseuil e Alvarez [4]). Entre os fatores que afetam o fluxo do NAPL em um meio poroso podem-se mencionar as propriedades químicas e físicas das

¹ Dep. de Eng. Civil, PUC-Rio, Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea, Rio de Janeiro, Brasil. Tel.: (55) 021 35271188. marlene.tm@gmail.com

² Dep. de Eng. Civil, PUC-Rio, Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea, Rio de Janeiro, Brasil. Tel.: (55) 02132571201. vargas@civ.puc-rio.br

³ Dep. de Eng. Civil, PUC-Rio, Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea, Rio de Janeiro, Brasil. Tel.: (55) 02132571201. raquelveloso@civ.puc-rio.br

superfícies e morfologia do espaço poroso (Charbeneau [3]), o volume de NAPL derramado, duração do vazamento, entre outros (Feenstra e Cherry [5]).

2 - FORMULAÇÃO PARA FLUXO MULTIFÁSICO

O fluxo multifásico é dado pela equação (1) baseada na conservação de massa e a lei de Darcy.

$$-K(h_{nw})(\nabla h_{nw}) = \eta \left(\frac{\partial S_{nw}}{\partial t} \right) \quad (1)$$

onde os subscritos w é água, n é NAPL, η é a porosidade e S é a saturação, $K(h_{nw})$ é a permeabilidade relativa a carga de pressão do NAPL e da água e pode ser reescrita em termos das variáveis de saturação. Utiliza se o modelo de Brooks e Corey [2] para relacionar a saturação com a carga de pressão e o modelo de Brooks-Corey-Bourdin para relacionar a saturação com a permeabilidade (K_{nw}), Oostrom [6]. Assume-se que S_w é constante é igual à saturação residual de água (S_{rw}) e S_m como a saturação residual do NAPL, finalmente tem-se que K_{nw} é dada pela equação:

$$K_{nw} = \frac{k}{\mu_n} \rho_n g \left(\frac{S_n - S_m}{1 - S_m} \right)^2 \left(\frac{S_n - S_{rw}}{1 - S_{rw}} \right)^{\varepsilon - 2} \quad \text{sendo } \varepsilon = 3 + 2/\lambda \quad (2)$$

onde ρ_n é a densidade, μ_n é viscosidade dinâmica do NAPL, g é a aceleração da gravidade. Substituindo a equação (2) na equação (1) temos:

$$K_{nw} \left(\frac{\partial h_n}{\partial S_n} \nabla(S_n) \right) = \eta \frac{\partial S_n}{\partial t} \quad (3)$$

3 - SOLUÇÃO NUMÉRICA PARA FLUXO MULTIFÁSICO

A metodologia numérica adotada é o método dos volumes finitos no sistema axissimétrico, o volume elementar é apresentado na figura 1 e a equação (4) descreve o movimento do fluxo multifásico em meios porosos.

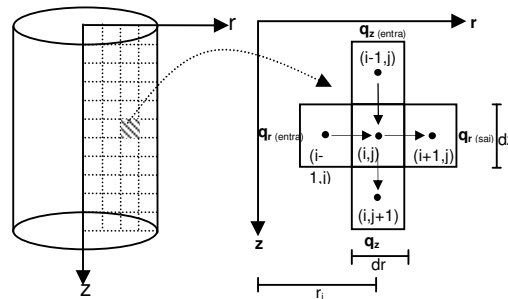


Figura 1 - Volume elementar e seus vizinhos no sistema axissimétrico bidimensional.

$$\frac{\partial}{\partial r} \left[K_{nw} \left(\frac{dh_n}{dS_n} \frac{\partial S_n}{\partial r} \right) \right] dA_r + \frac{\partial}{\partial z} \left[K_{nw} \left(\frac{dh_n}{dS_n} \frac{\partial S_n}{\partial r} - 1 \right) \right] dA_z = \eta \frac{\partial S_n}{\partial t} dVol \quad (4)$$

onde dA_r e dA_z são as diferenciais de e $dVol$ é o diferencial de volume. A não linearidade é resolvida mediante a técnica iterativa do método explícito. Para que a equação (4) tenha solução são necessárias as condições de contorno e as condições iniciais, definidas pelo modelo a ser simulado.

4 - RESULTADOS

Para a avaliação do programa numérico foram simulados ensaios de coluna realizados por Barros [1]. As Figuras 2 (a) e (b) apresentam os resultados da simulação para gasolina e gasolina com etanol comparado com os resultados experimentais.

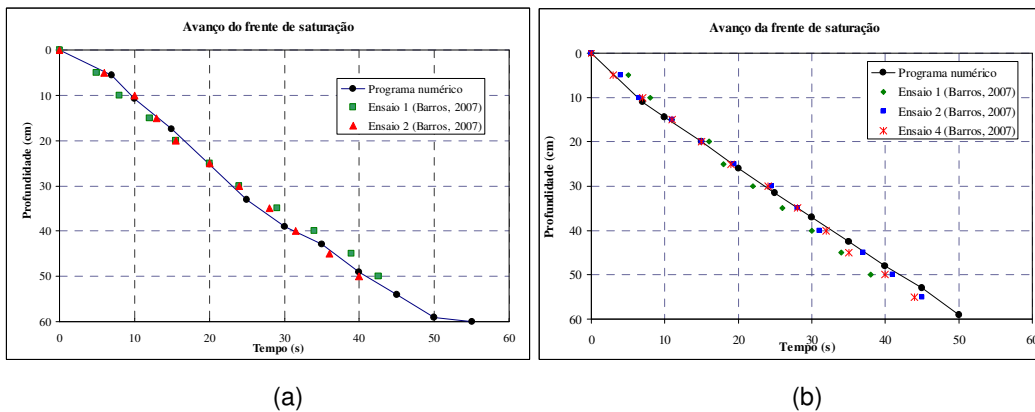


Figura 2 – Avanço da frente de saturação (a) gasolina, (b) gasolina com etanol.

A partir da saturação retida de gasolina e gasolina com etanol, pode-se estimar o volume de retido na coluna, conforme apresentados nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Saturação total retida.

	Ensaio de coluna Barros (2007)	Programa numérico
Saturação retida da Gasolina [%]	20,68	12,55 – 24,40
	15,60	
Saturação retida da gasolina com etanol [%]	18,73	12,96-26,25
	18,47	
	18,21	

Tabela 2- Volume de gasolina e gasolina com etanol retido.

	Ensaio de coluna Barros (2007)	Programa numérico
Volume de Gasolina retida [cm ³]	87.5	92.29
Volume de Gasolina com etanol retida [cm ³]	90.3	98.6

5 - CONCLUSÕES

Os resultados do presente trabalho mostram que o programa numérico para a previsão do avanço da frente de saturação da gasolina e da gasolina com etanol obteve resultados semelhantes aos obtidos nos experimentos realizados por Barros [1].

Verificou-se que o programa numérico previu com erros de aproximadamente 5% e 9 % para mais a quantidade de volume retido de gasolina e gasolina com etanol. No entanto, esses erros podem estar relacionadas à discretização dos elementos ou ser função de uma série de incertezas nos parâmetros medidos em laboratório como nos estimados a partir de dados da literatura.

6 - BIBLIOGRAFIA

- [1] BARROS, G., 2007, Estudo do fluxo e transporte de gasolina pura e misturada com etanol em meios porosos não saturados. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.
- [2] BROOKS, R. H. e COREY, A. T., Hydraulic Properties of Porous Media, Hydrology Paper 3, Civil Engineering Department, Colorado State University, Fort Collins, CO, 1964.
- [3] CHARBENEAU, R. J., Groundwater Hydraulics and Pollutant Transport, Prentice Hall, New Jersey, 2000, 592 p.
- [4] CORSEUIL, H.X. e ALVAREZ, P.J.J., 1996. Natural bioremediation of aquifer material contaminated with gasoline-ethanol mixtures, Rev. Microbiol., 27(1): 19-26.
- [5] FEENSTRA, S., AND J. A. CHERRY (1988), "Subsurface contamination by dense non-aqueous phase liquid (DNAPL) chemicals," in Proceedings of the International Groundwater Symposium, International Association of Hydrogeologists, May 1–4, Halifax, Nova Scotia, 62–69.
- [6] OOSTROM, M. and Lenhard, R. J. Comparison of relative permeability–saturation–pressure parametric models for infiltration and redistribution of a light nonaqueous-phase liquid in sandy porous media. Adv. Water Resour., 1998, 21, 145–157.
- [7] POULSEN, M.; Lemon, L.; Barker, J. F., 1992, "Dissolution of Monoaromatic Hydrocarbons into Groundwater from Gasoline – Oxygenate mixtures". Environ. Sci. Technol., Vol. 26, pp. 2483-2489.