

INTRODUÇÃO

A contaminação das águas subterrâneas, quando o esgoto é lançado no solo por infiltração, é um problema ambiental que necessita controle.

A técnica de simulação utilizando modelos matemáticos é uma alternativa à predição da concentração de poluentes em função do espaço e do tempo, desde que sejam conhecidos os parâmetros característicos do solo e dos elementos contaminantes.

Através das simulações, variando-se a condutividade hidráulica e o índice de mortalidade de bactérias, foi possível analisar o nível de poluição das águas no lençol freático considerando diferentes cargas de efluente na superfície.

O modelo matemático descreve satisfatoriamente os dados experimentais de Geldreich (1980).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para modelar o movimento da água no solo foi utilizada a Eq. [1], conhecida como equação de Richards.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K(\theta) \frac{\partial \Psi_m}{\partial z} \right) + \frac{\partial K(\theta)}{\partial z} \quad [1]$$

onde θ é o teor de água (adimensional),
 Ψ_m é o potencial matricial (cmH_2O),
 K é a condutividade hidráulica (cm/h),
 z é a altura de solo (cm),
 t é o tempo (h).

As condições de fronteira e inicial da Eq. [1] são dadas pelas Eqs. [2], [3] e [4].

$$\theta(0, t) = \theta_0 e^{-at} \quad [2]$$

$$\theta(0, t) = \theta_0(z) \quad [3]$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial z}(H, t) = 0 \quad [4]$$

onde θ_0 é o teor de água para $t = 0$ h,
 a_0 é um parâmetro (L/h).

O solo foi considerado sob condições isotérmicas. Para modelar a mobilidade será considerado apenas o gradiente de concentração bacteriana, com difusividade dependente do teor de água do solo.

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(R(\theta) \frac{\partial X}{\partial z} \right) + (\mu(\theta) - k(\theta))X \quad [5]$$

onde X é a concentração bacteriana (Número Mais Provável, NMP/100ml),
 R é a difusividade bacteriana no solo (cm^2/h),
 m é a taxa de crescimento específica (L/h) e
 K é a taxa de mortalidade específica (L/h).

A difusividade bacteriana é uma função do teor de água e será considerada uma função logística como dependência da difusão bacteriana e o teor de água do solo, de acordo com a Equação [6].

$$R(\theta) = R_M(1 - e^{-b\theta}) \quad [6]$$

As taxas de crescimento e mortalidade tem dependência do teor de água do solo, modeladas pelas Eqs. [7] e [8], respectivamente.

$$\mu(\theta) = a_c(\theta) + b_c \quad [7]$$

$$k(\theta) = a_m(\theta) + b_m \quad [8]$$

onde a_c e b_c são os coeficientes lineares (L/h) e a_m e b_m os coeficientes lineares (L/h).

As condições de fronteira da Eq. [5] descrevem a entrada de bactérias na superfície e o isolamento no fundo da coluna de solo, dadas pelas Equações [9] e [10], respectivamente.

$$X(0, t) = 1 - e^{-at} \quad [9]$$

$$\frac{\partial X}{\partial z}(H, t) = 0 \quad [10]$$

onde a é um parâmetro (L/s).

A condição inicial da Eq. [5], descreve a distribuição da concentração bacteriana em toda coluna de solo.

$$X(z, 0) = X_0(z) \quad [11]$$

As Eqs. [1] e [5] com suas respectivas condições de contorno, foram resolvidas simultaneamente pelo Método das Diferenças Finitas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra a curva do modelo matemático ajustada para os dados de Geldreich (1980). A Tabela 1 apresentada mostra os coeficientes obtidos a partir do ajuste da curva do modelo matemático aos dados obtidos por Geldreich.

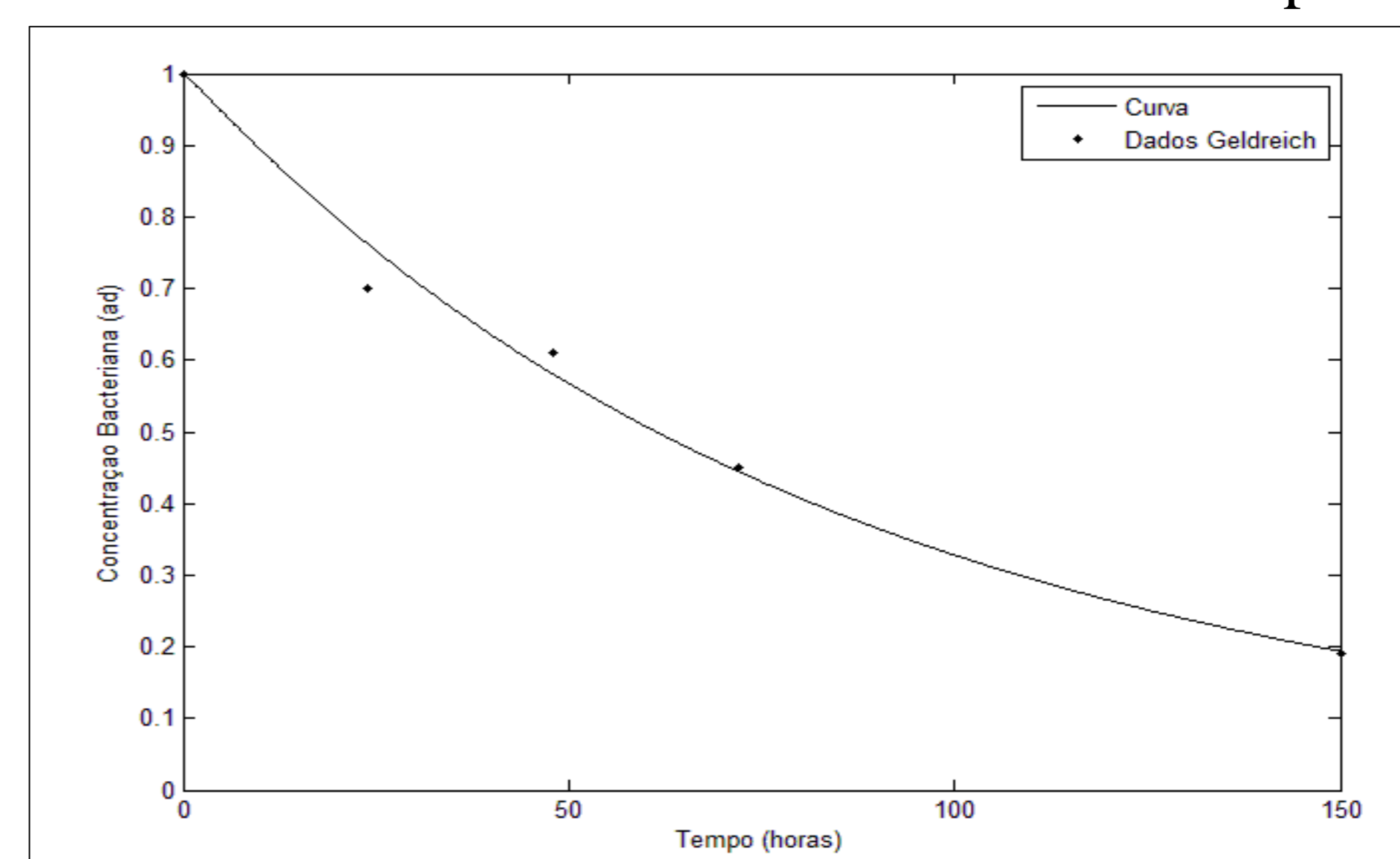


Figura 1 – Curva obtida pelo ajuste aos dados obtidos por Geldreich (1980).

A Figura 2 mostra a dispersão de bactérias no solo em função do tempo através da aplicação dos coeficientes obtidos pelo ajuste da curva. A curva de $z = 5cm$ ilustra, aproximadamente, a condição de fronteira na superfície, simulando o crescimento bacteriano de um valor mínimo, tendendo a um máximo, no tempo aproximado de 100 h.

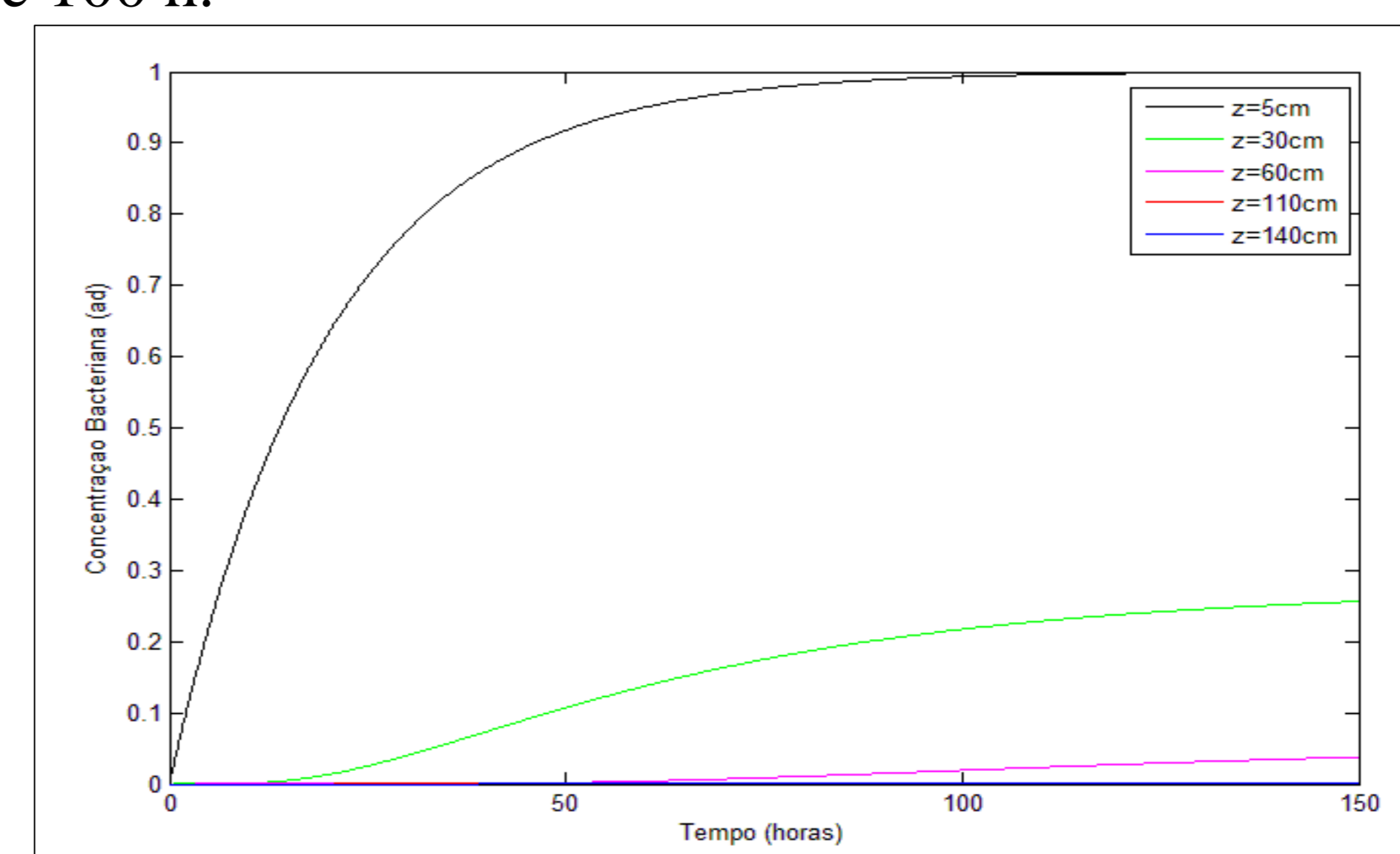


Figura 2 – Distribuição da concentração bacteriana: $a_m = 0,0015$, $b_m = 0,0001$ e $R_M = 10,0$.

REFERÊNCIAS

VAN GENUCHTEN, M. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. v.44, n.5, p.892-898, 1980.

SOUZA, Alberto Alves de. Contaminação microbológica do perfil do solo com esgoto sanitário. v.33, n.1, p.5-8, 2011.

GELDREICH, E. E. BEST, L. C. KENNER, B. A. VAN DONSEL, D. J. The Bacteriological Aspects of Stormwater Pollution. Journal (Water Pollution Control Federation) Vol. 40, No. 11, Part I (Nov., 1968), pp. 1861-1872.