

XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

VII FENÁGUA - Feira Nacional da Água

XVIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços

MODELAGEM ANALÍTICA DA INTRUSÃO SALINA EM AQUÍFEROS COSTEIROS

Rodrigo Menezes Raposo¹; Felipe Alves Rosa & Decio Tubbs Filho²

Resumo – Neste trabalho pretende-se comparar as metodologias conhecidas para a determinação da interface salina num aquífero costeiro. São abordados os princípios de Ghyben & Herzberg, Dupuit-Ghyben-Herzberg e de Glover, e assim estabelecer uma relação entre estes modelos analíticos e os respectivos parâmetros de entrada.

Abstract – This paper intend to evaluate the known methodologies for determining saline interface in coastal aquifers. For the modeling was used the principles of Ghyben & Herzberg, Dupuit-Ghyben-Herzberg and Glover, and thus establish a relation between these models and the input parameters.

Palavras-chave – Intrusão salina; modelagem analítica; aquíferos costeiros.

INTRODUÇÃO

No final do século XIX, Du Commum (1828), W. Baydon-Ghyben (1888) e A. Herzberg (1901) começaram os estudos para a determinação da relação entre o formato e a posição das diversas componentes do balanço hidrológico dos aquíferos costeiros (Bear e Cheng, 2010). O modelo conceitual proposto assumia um equilíbrio estático entre as pressões da água do mar e a do

¹ UFF/TCE/TEC - Setor de Geotecnia. Rua Passo da Pátria, 156, s.133 Bl.D São Domingos, Niterói – RJ CEP: 24.210-240, Tel. (21) 2629 5354 / (21)27183968, email: raposo@globo.com; felipealvesrosa@gmail.com,

² Departamento de Geociências UFRuralRJ, BR 465, Km 07 Seropédica/RJ, email: tubbs@ufrj.br.

aquífero, sendo o fluxo horizontal e as equipotenciais na vertical. Este princípio também pode ser entendido como o dos vasos comunicantes.

Foi observado por Ghyben & Herzberg que, em aquíferos livres, a profundidade do lençol freático abaixo do nível do mar era aproximadamente 40 vezes da profundidade do lençol freático até o nível do mar (Smith & Poehls, 2009). Porém, este princípio só pode ser aplicado em casos em que a água salgada e doce estão em equilíbrio (Fetter, 1994), isto é não sem fluxo.

Segundo Bear & Cheng (2010), a hipótese de que o fluxo ao se aproximar do mar é essencialmente horizontal também não é válida, princípio de Dupuit-Forchheimer, além disso, esta hipótese não prevê um escoamento sub-superficial de água doce para o mar.

Normalmente este princípio é aplicado conjugado com a equação de Dupuit-Forchheimer que descreve o fluxo estacionário em aquíferos costeiros (Smith & Poehls, 2009). Estes princípios conjugados geram então o chamado Modelo de Dupuit-Ghyben-Herzberg (Fetter, 1994), que considera apenas o fluxo unidimensional. Porém, esta hipótese ainda considera que a cunha salina intercepta a linha de costa, ou seja, não prevê um escoamento sub-superficial de água doce para o mar. Por isso foi desenvolvido um modelo por Glover(1964), em que se considera a descarga de água doce além da linha de costa.

METODOLOGIA

Para comparar os métodos analíticos, as equações 1 e 2 foram implementadas numa planilha eletrônica para a determinação da variação da interface salina com a profundidade de cada solução. A Equação 1 representa a solução de Dupuit-Ghyben-Herzberg e a Equação 2 a solução de Glover.

$$z = \sqrt{\frac{2qxG}{K}} \quad (1)$$

$$z = \sqrt{\frac{G^2q^2}{K^2} + \frac{2Gqx}{K}} \quad (2)$$

Onde:

- q é a descarga do aquífero na linha de costa (m^2/dia);
- K é Condutividade Hidráulica (m/dia);
- G é a relação $\frac{\rho_w}{\rho_s - \rho_w}$ (adimensional);

- x é a distância a partir da linha de costa (m);
- ρ_w é a densidade da água doce;
- ρ_s é a densidade da água salgada;

RESULTADOS

A partir das soluções analíticas implementadas, foram feitos estudos paramétricos de modo a comparar a influência da permeabilidade e da vazão do aquífero na forma da cunha salina gerada pelas duas soluções. Adotou-se o valor de condutividade hidráulica de 1,0 m/d em todos os casos. Os valores de vazão unitária variaram entre 0,1 e 0,01 m²/dia, resultando em valores de gradiente hidráulico entre 0,1 e 0,01. A Tabela 1 apresenta os valores de condutividade hidráulica, vazão unitária e gradiente hidráulico para os três casos utilizados na comparação. O gráfico da Figura 1 apresenta a profundidade da cunha salina calculada para os três casos nos dois modelos analíticos.

Tabela 1. Valores de k (condutividade hidráulica), q (vazão unitária) e i (gradiente hidráulico) utilizado nos Casos 1, 2 e 3.

CASO	K m/dia	q m ² /dia	i
CASO 1	1	0.1	0.1
CASO 2	1	0.05	0.05
CASO 3	1	0.01	0.01

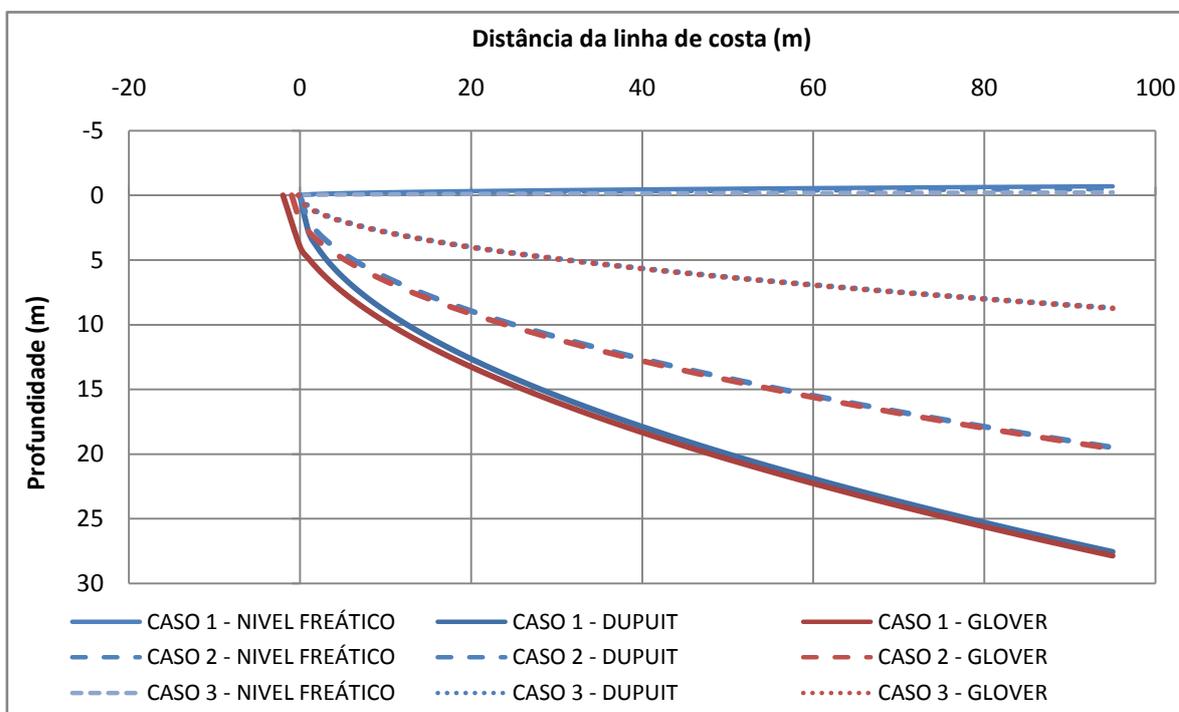


Figura 1. Resultados obtidos a partir das equações de Dupuit-Ghyben-Herzberg e Glover.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

O gráfico da Figura 1 ilustra que para valores de gradiente hidráulico igual ou inferior a 0,01 os dois modelos analíticos apresentam o mesmo resultado. Como era de se esperar, a diferença é maior quanto maior o gradiente hidráulico subterrâneo, i. e., quanto maior a vazão do sistema, pois a água tem maior energia para empurrar a cunha salina para fora. Em termos práticos, as duas soluções resultam nos mesmos valores, pois, em geral, o gradiente hidráulico de aquíferos costeiros é inferior a 0,01. Entretanto, a solução de Glover é mais elegante pois considera a descarga de água.

O gráfico da Figura 2 apresenta um detalhe da cunha salina mais próxima da zona costeira. Na solução de Glover observa-se a saída de água subterrânea numa profundidade de 2,0 m abaixo no nível do mar para um gradiente de 0,05 (CASO 2) e a 4,0 m de profundidade para um gradiente de 0,1 (CASO 1). Observa-se também a linha do nível freático em maior detalhe nos três casos.

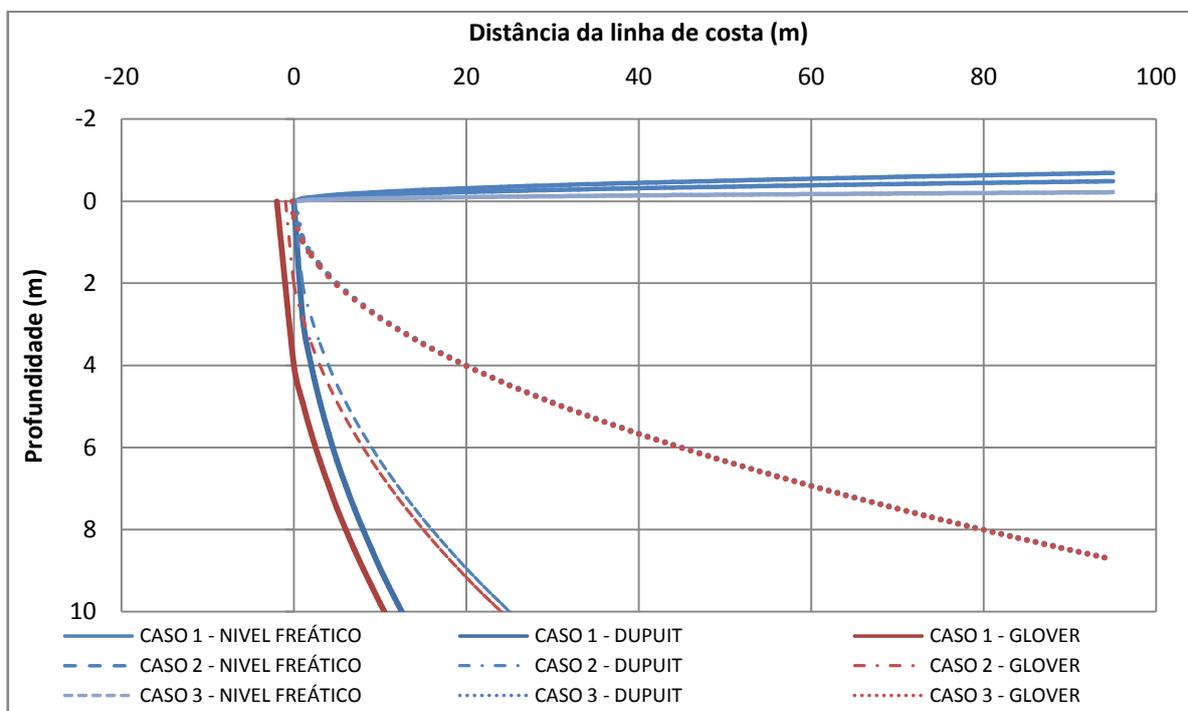


Figura 2. Síntese dos resultados encontrados para cada Caso

BIBLIOGRAFIA

Bear, J. ;Cheng, A.H.D., 2010. Modeling Groundwater Flow and Contaminant Transport. Editora: Springer. 834p.

Fetter, C. W., 1994. Applied Hydrogeology, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 376 pp.,.