

# APLICAÇÃO DO MODELO DE FLUXO FLOWIADI AO AQUÍFERO BARREIRAS NA ÁREA DO POLO CLOROQUÍMICO DE ALAGOAS

**CARLOS MAURICIO ROCHA BARROSO**

M.Sc. Professor do Depto. de Geociências  
Universidade Federal de Alagoas - Campus A.C. Simões  
Tabuleiro do Martins, Km 14 - Maceió/AL - 57060-000 - Telefone:(082)322-2301

**SEEMANAPALLI V. K. SARMA**

Dr., Professor do Depto. de Engenharia Civil  
Universidade Federal da Paraíba - Campus II - Campina Grande/PB  
Caixa Postal 10.085 - Telefone:(083)333-1000

**HANS D. M. SHUSTER**

Dr., Professor do Depto. de Mineração e Geologia Universidade Federal da Paraíba - Campus  
II - Campina Grande/PB  
Depto. de Mineração e Geologia - Telefone:(083)333-1000

## RESUMO

O modelo de fluxo adotado, baseado no método das diferenças finitas, algoritmo IADI - FLOWIADI (Kinzelbach 1986), mostrou-se adequado para fins de simulações de fluxo bidimensionais em locais onde as informações são incipientes. Os valores dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero foram obtidos em consequência do aferimento do modelo. A velocidade média, linear, de propagação de fluxo no aquífero, de acordo com os parâmetros aferidos, é da ordem de 0,67 m/dia, sentido SE.

## ABSTRACT

The "flow model" adopted, based on the finite differences method, the algorithm of IADI - FLOWIADI (Kinzelbach, 1986), was found to be adequate for the purpose of simulating the two-dimensional flows in places where data is available. Values of hydrodynamic parameters of the aquifer were

obtained from the results model. The mean linear propagation velocity in the aquifer, based on the input values, was of the order of 0,67 m/day SE direction.

## 1. INTRODUÇÃO

Os modelos, de uma forma geral, são ferramentas utilizadas para o planejamento e previsão de situações reais. Como exemplo pode ser citado a aplicação dos mesmos para compreender e prever fenômenos de fluxo e de transporte em sistemas aquíferos. Portanto, modelos são representações simplificadas de uma situação real, e como tal, têm suas limitações. Logo, um modelo matemático será uma simplificação através de equações matemáticas. No caso da hidrogeologia, são utilizadas as equações que regem o fluxo subterrâneo.

Após a escolha de um modelo apropriado, deve-se calibrá-lo com dados de campo, que neste caso consistem de cargas observadas em diferentes locais da área e em



diferentes tempos. O modelador ajusta os parâmetros num modelo até que os dados observados sejam reproduzidos. Quando o modelo está calibrado e o modelador prever a distribuição da carga hidráulica para um tempo futuro, sem ajustar os parâmetros do aquífero (estes são considerados como propriedades constantes do aquífero), e os resultados mostram uma coincidência aproximada com os dados da época o modelo é considerado verificado.

Infelizmente, são poucas as agências do governo ou companhias privadas que destinam recursos para projetos envolvendo águas subterrâneas. Desta forma, são raros bancos de dados e, conseqüentemente, a maioria das modelações, que comparam as previsões do modelo com os dados observados em campo, só incluem a fase de calibração.

## **2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

A área estudada compreende o Polo Cloroquímico de Alagoas, situado no tabuleiro de Marechal Deodoro - AL, entre as lagoas Mundaú e Manguaba a sudoeste da cidade de Maceió, capital do Estado de Alagoas (Figura 1).

Geologicamente, a área encontra-se sobre os sedimentos da Bacia Sergipe - Alagoas, de natureza continental, sendo estruturalmente uma fossa tectônica do tipo "meio-graben". Localmente, o Polo apoia-se na unidade litoestratigráfica denominada de Grupo Barreiras, que é constituída por sedimentos pouco consolidados, areno-

argilosos, intercalado por camadas e lentes argilosas descontínuas, estando o mesmo horizontalizado e com uma espessura média de 85 metros.

A zona saturada, denominada como "Aquífero Barreiras" possui uma espessura média de 20 metros e é constituída por um "pacote" areno-argiloso onde as areias mostram uma granulometria variando de

média a grossa, localmente fina, intercalada por níveis descontínuos de material argiloso. Esta, caracteriza-se por uma zona livre superior estando limitada na base, por um leito argiloso de cor verde escuro da Formação Ponta Verde. O nível d'água nos poços de observação instalados situa-se entre 60 e 64 metros com gradiente de fluxo de 0.006. A figura 2, mostra uma seção geológica na direção W-E na porção norte da área.

## **3. MODELO DE FLUXO UTILIZADO E CALIBRAÇÃO DO MESMO COM DADOS DE CAMPO**

A simulação foi executada mediante a aplicação do modelo numérico bidimensional FLOWIADI, desenvolvido por Kinzelbach (1986). Este, efetua a resolução numérica por diferenças finitas da equação de fluxo subterrâneo em regime transitório ou permanente, para aquíferos livres e confinados, isotrópicos ou anisotrópicos.

O modelo concebido utilizou os dados do relatório da Paranaguá (1991), segundo o qual foi construído um poço de produção (TP-1), um poço de observação (PZ-1) e um poço de monitoramento (MW-1A). O TP-1, foi bombeado por 6:30 hs com uma vazão constante de 40 m<sup>3</sup>/h, cujo resultado do monitoramento encontra-se na tabela 1.

## **4. CONDIÇÕES DE APLICAÇÃO DO MODELO**

Os rebaixamentos observados nos poços TP-1, MW-1A e PZ-1, foram aferidos através de simulações com o modelo acima mencionado. Para tal, a área simulada foi discretizada em uma malha quadrada, com nove nós na direção X e 9 nós na direção Y, com espaçamento regular e constante de 20 metros (figura . 3).

As simulações processadas pelo modelo tomou o aquífero como livre,



heterogêneo, isotrópico e com espessura local de 18 metros. Uma descarga de 40 m<sup>3</sup>/h, constante, foi imposta a coordenada central (5,5), para um único intervalo de bombeamento, durante 6:30 hs, admitindo-se o estado de equilíbrio alcançado, conforme divulgado no relatório da empresa supra citada. A superfície potenciométrica inicial foi de 25 m e as recargas provenientes da precipitação pluviométrica não foram consideradas.

As tabelas 2 e 3 mostram, respectivamente, os resultados da calibração do modelo e os parâmetros resultantes.

A calibração efetuada pressupõe que o poço de produção tenha alcançado sua eficiência máxima. Entretanto, o mesmo mostra um rebaixamento excessivo e não havendo dados disponíveis sobre o ensaio de

bombeamento, foram efetuadas simulações, com o modelo supostamente calibrado, atribuindo-se descargas ao TP1 e observando-se seus rebaixamentos (tabela 4), com o intuito de se obter sua equação característica.

Segundo Rorabaugh (1953), o rebaixamento total em um poço pode ser expresso em função das componentes Sf e Sw como:

$$S_t = S_f + S_w = C_f Q + C_w Q_n \quad (1)$$

onde Sf e Cf representam os coeficientes de perdas do rebaixamento pertencente a formação, e Sw e Cw o coeficiente de perdas pertencente ao poço. Em aquífero livre, devido a progressiva redução da

**Tabela 1 - Dados de Monitoramento do Poço de Produção**

Poço Bombeado	Poço Observado	Distância (m)	Rebaixamento (m)	K* (m/s)
TP-1	TP-1	0,00	15,75	-----
	PZ-1	25,00	0,38	6,2 E-5
	MW-1A	40,50	0,24	4,3 E-4

FONTE: Paranaguá - Consultoria Ltda (1991);

\* Permeabilidade

**Tabela 2 - Calibração do Modelo de Fluxo**  
Rebaixamentos (m) Tempo em Dias : 0,25

25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
25,00	25,00	25,00	24,90	24,80	24,90	25,00	25,00	25,00
25,00	25,00	25,00	24,60	23,70	24,60	24,90	25,00	25,00
25,00	25,00	24,80	23,70	9,25	23,70	24,76	25,00	25,00
25,00	25,00	24,90	24,62	23,70	24,60	24,90	25,00	25,00
25,00	25,00	25,00	24,90	24,80	24,90	25,00	25,00	25,00
25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00

TP-1 - 9,25 m ; PZ-1 - 24,62 m ; MW-1A - 24,76 m



**Tabela 3 - Parâmetros Obtidos com a Calibração do Modelo de Fluxo**

Poço	Rebaixamento Observado (m)	Rebaixamento Obtido (m)	K (m/s)	Ne	Raio de Influência (m)
TP - 1	15,75	15,75	1,6 E-5	0,036	65,00
PZ - 1	0,38	0,38	4,9 E-5	0,048	-----
MW1A	0,24	0,24	7,2 E-5	0,043	-----

K - Permeabilidade

Ne - Porosidade efetiva

**Tabela 4 - Descargas e Respective Rebaixamentos no poço de produção Obtidos Através de Simulações no Modelo de Fluxo.**

Q (m3/h)	10,00	20,00	30,00	40,00
Rebaixamento (m)	2,50	8,00	13,00	15,75

**Tabela 5 - Calibração do Modelo de Fluxo Levando em Consideração as componentes das Perdas Localizadas no Poço**

Rebaixamentos (m)      Tempo em Dias : 0,25

25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
25,00	25,00	25,00	24,90	24,70	24,90	25,00	25,00	25,00
25,00	25,00	24,90	24,50	23,50	24,50	24,90	25,00	25,00
25,00	25,00	24,70	23,40	13,70	23,40	24,76	25,00	25,00
25,00	25,00	24,90	24,62	23,40	24,50	24,90	25,00	25,00
25,00	25,00	25,00	24,90	24,70	24,90	25,00	25,00	25,00
25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00
25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00

TP-1 - 13,70 m ; PZ-1 - 24,62 m ; MW-1A - 24,76 m

**Tabela 6 - Parâmetros Obtidos com a Calibração do Modelo de Fluxo levando em Consideração as Perdas Localizadas**

Poço	Rebaixamento Observado (m)	Rebaixamento Obtido (m)	K (m/s)	Ne	Raio de Influência (m)
TP - 1	11,30	11,30	6,3 E-5	0,048	65,00
PZ - 1	0,38	0,38	3,2 E-5	0,048	-----
MW1A	0,24	0,24	5,4 E-5	0,048	-----

K - Permeabilidade

Ne - Porosidade Efetiva



espessura saturada próximo ao poço,  $n$  varia habitualmente entre 2 e 3, podendo chegar a 3,5 (Lenox, 1966).

Com a equação (1) e os dados da tabela 4, obtêm-se os valores de  $n = 2,274$ ,  $C_f = 0,2825$  e  $C_w = 0,001012$ . Desta forma, a equação geral do poço toma a forma:

$$St = 0,2825 Q + 0,001012 Q^{2,274} \quad (1.1)$$

Tomando-se a vazão de 40 m<sup>3</sup>/h a equação (1.1) fornece um rebaixamento total igual a:  $St = S_f + S_w = 11,30 + 4,45 = 15,75$  m ou seja, 28% do rebaixamento assinalado no campo deve-se as perdas ocasionadas no poço. Desta forma, uma nova calibração do modelo de fluxo foi efetuada, tomando-se, agora, um rebaixamento de 11,30 m no TP-1. As tabelas 5 e 6 mostram os novos resultados obtidos.

## 5. VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE FLUXO

A velocidade real,  $VR$ , também chamada de velocidade de poros, foi determinada através da equação de Darcy,  $VD$ , associada a porosidade efetiva (equação 2).

$$VR = \frac{VD}{Ne} = \frac{K i}{Ne} \quad (2)$$

onde  $VR$  é a velocidade de poros (m/d),  $K$  a permeabilidade (m/d),  $i$  o gradiente hidráulico (m/m) e  $Ne$  a porosidade efetiva (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>). Com um Gradiente hidráulico de 0,006, uma permeabilidade de 5,44 m/d e uma porosidade efetiva de 0,048, valores mais representativos para a área, Cavalcante (1982), a equação (2) fornece uma velocidade média de propagação na matriz de 0,67 m/d com sentido SE.

## 6. CONCLUSÕES

Na zona saturada o potencial das águas subterrâneas é totalmente controlado pela superfície potenciométrica da zona livre. Isto significa que trata-se de um aquífero livre.

A equação geral do poço de produção além de confirmar que o aquífero comporta-se como livre - através do valor determinado para  $n$ , indica uma baixa eficiência para o mesmo provavelmente devido a problemas construtivos.

O modelo de fluxo da água subterrânea, FLOWIADI - (Kinzelbach, 1986), adotado no presente estudo, ao aferir os valores para a permeabilidade e porosidade efetiva, retrata, de maneira categórica, a complexidade hidrogeológica do meio

As proximidades entre os valores dos parâmetros aferidos pelo modelo e os valores para os aplicados mesmos utilizados com maior frequência nos trabalhos publicados para o Aquífero Barreiras na região de Maceió, colaboram com a veracidade do modelo.



## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação da Área de Engenharia de Recursos Hídricos da Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande - Pb, pelo apoio na condução destes estudos, a Universidade Federal de Alagoas e ao Excelentíssimo Sr. juiz da Comarca de Marechal Deodoro - Al, pela orientação quanto a obtenção de dados de relatório.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROSO, C.M.R., **Contaminação do Aquífero Barreiras por Organo Clorados na Área do Polo Cloroquímico no Estado de Alagoas, Brasil.** Dissertação de Recuperação de Área Contaminada com Vazamentos Acidentais de Produtos Químicos, no Polo Cloroquímico de Alagoas. Relatório Final, Paranaguá, Dezembro de 1991.
- CAVALCANTE, A.T., **Potencialidade das Águas Subterrâneas na Área de Maceió - AL.** II Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 1982, Salvador - Ba.
- CLEARY, R., **Águas Subterrâneas em Engenharia Hidrológica.** Coleção ABRH de Recursos Hídricos. rio de Janeiro, 1989.
- BOUWER, H., **Groundwater Hydrology.** Mc Graw-Hill Book Co, Inc. 1978.
- KINZELBACH, W., **Groundwater Modelling, An Introduction with Sample Programs in Basic,** Development in Water Sciences, 26 - Elsevier, Amsterdam, 1986.



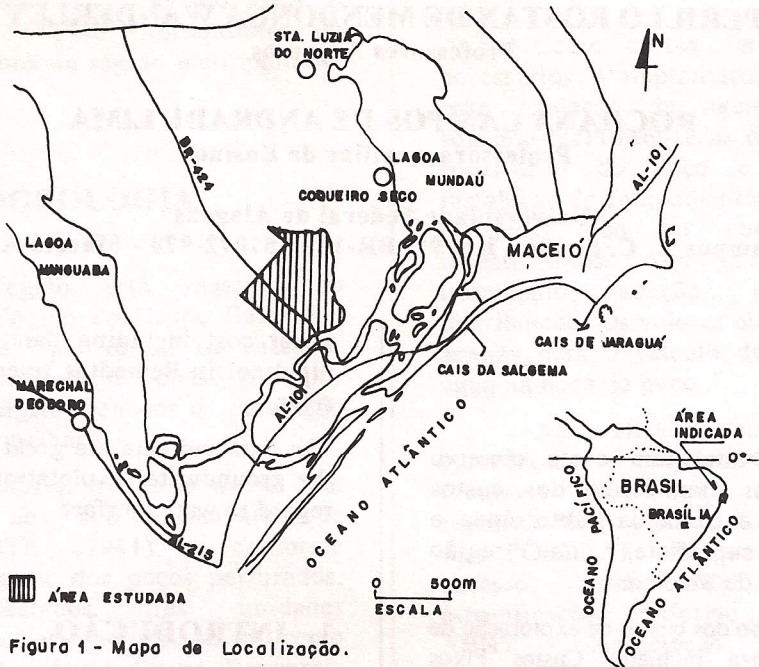


Figura 1 - Mapa de Localização.

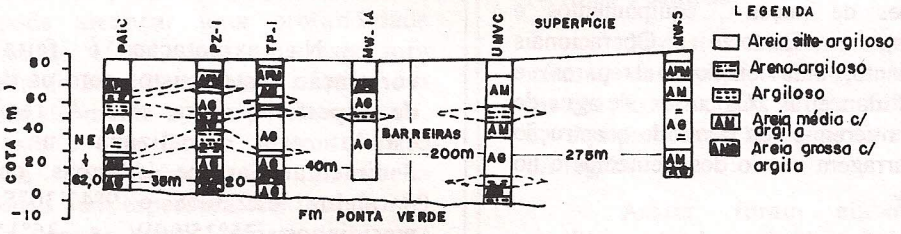


Figura 2 - Corte geológico seguindo direção W-E

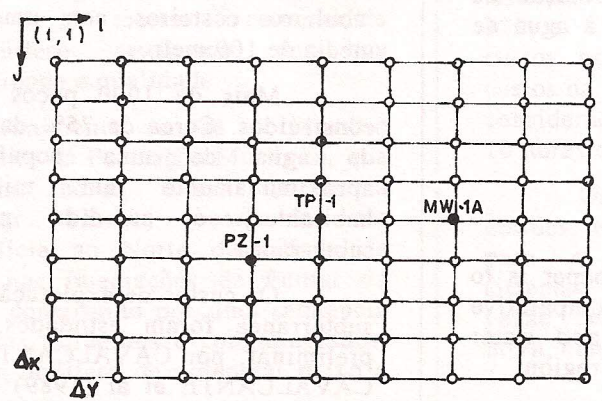


Figura 3 - Rede de diferenças finitas para simulação de fluxo de água subterrânea na Área do Polo Cloroquímico de Alagoas, mostrando a disposição dos poços de monitoramento.