

IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO ITERATIVO DO GRADIENTE HIDRÁULICO COM A LINGUAGEM JAVA

Graciano Fernandes de Mendonça^{1}; Paulo Roberto Lacerda Tavares²; Mariano da Franca
Alencar Neto³ & Marco Aurélio Holanda de Castro⁴*

Resumo - Os modelos computacionais são amplamente usados em estudos de águas subterrâneas, devido a complexidade das equações que regem o fluxo. Entretanto, os valores gerados pelos modelos devem ser consistentes com os valores medidos em campo, e a calibração de parâmetros é a principal ferramenta para isso. A calibração proposta é diferente das tradicionais que utilizam os mínimos quadrados, usando a razão entre os gradientes hidráulicos para a calibração da condutividade, recebendo o nome de Método Iterativo do Gradiente Hidráulico Alternativo (MIGHA). O algoritmo de calibração, já antes implementado em delphi pelo programa UFC-MIGH, foi traduzido para linguagem java. As linhas potenciométricas após a calibração obtiveram um ótimo ajuste em comparação aos valores medidos. O novo programa reduziu os dados de entrada, tornando-o mais eficaz que sua antiga versão.

Palavras-Chave- MIGH, Calibração, Condutividade Hidráulica.

IMPLEMENTATION OF ITERATIVE METHOD OF HYDRAULIC GRADIENT WITH JAVA LANGUAGE

Abstract - Computer models are highly used on research of groundwater, due the complexity of the governing equations of flow. However, the results generated by the model must be consistent with the values measured in field, and the calibration of parameters is the main tool for it. The proposed calibration is different of the usual method that uses least squares, using the ratio between hydraulic gradients to calibrate the hydraulic conductivity, receiving the name of Alternative Iterative Method of Hydraulic Gradient (AIMHG). The calibration algorithm, already implemented in Delphi early, was translated for Java language. The hydraulic head distribution after the calibration achieved a great adjustment in comparison with the measured values. The new program reduced the entry data, making him more effective than his older version.

Keywords – MIGH, Calibration, Hydraulic Conductivity.

¹ Discentes do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará – *Campus Cariri*, Juazeiro do Norte – CE. Bolsistas CNPq. Fone: (88) 3572 7223. E-mail: g_fm0@hotmail.com

² Professor Adjunto II do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará – *Campus Cariri*, Juazeiro do Norte – CE. Fone: (88) 3572.7200, Ramal 7424. E-mail: prltavares@ufc.br

³ Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Av. Treze de Maio, 2081. Bairro Benfica. CEP: 60040-531, Fortaleza, Ceará. E-mail: mariano@ifce.edu.br

⁴ Professor Titular do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, CEP: 60445-760. Bloco 713, Fortaleza, Ceará. Fone: (85) 3366.9492. E-mail: marco@ufc.br

INTRODUÇÃO/ DESENVOLVIMENTO

As reservas subterrâneas são os principais reservatórios de água doce disponível para os seres humanos. No estudo do fluxo subterrâneo, é imprescindível o uso de modelos computacionais, pois esses possuem grande eficiência no uso dos dados disponíveis para análise de situações complexas. Hoje, ferramentas de modelagem de água subterrânea são caracterizadas por um poder, capacidade e sofisticação que eram impensáveis mesmo há poucos anos atrás (HUNT e ZHENG, 2012).

Um dos procedimentos dessa modelagem é a calibração de parâmetros hidrodinâmicos, para que o modelo seja compatível com as cargas medidas em campo. Conforme Schuster e Araújo (2004), a estimativa de parâmetros é uma etapa muito importante na modelagem de um sistema aquífero e consome o maior tempo no procedimento de simulação numérica. Inúmeras técnicas têm sido desenvolvidas e são discutidas nos trabalhos de Yeh (1986), Carrera e Neuman (1986), Carrera (1987), Sun (1994), McLaughin e Towley (1996), Guo e Zhang (2000) e Schuster e Araújo (2004).

O objetivo do presente trabalho é criar uma implementação na linguagem computacional Java, baseada no programa UFC-MIGH, que use o método iterativo do gradiente hidráulico alternativo (MIGHA) para a calibração da condutividade hidráulica horizontal em aquíferos porosos.

METODOLOGIA/ RESULTADOS

A calibração consiste em realizar a estimativa de parâmetros de forma a representar um conjunto de observações realizadas. Ela consiste num problema inverso, logo também é um problema mal-posto. Isso significa que erros nas medições das cargas podem inferir em erros grandes nos resultados. Além disso, métodos iterativos requerem um valor inicial consistente com a realidade, pois ele não detecta inconsistências físicas, e seus resultados não serão representativos.

A maneira tradicional de se fazer a estimativa de parâmetros é através dos mínimos quadrados, que consiste em minimizar a função objetiva:

$$F_{obj} = \sum_{i=1}^N (h_i^{obs} - h_i^{calc})^2 \quad (1)$$

Que representa a diferença das cargas hidráulicas observadas e calculadas. O processo do Método Iterativo do Gradiente Hidráulico consiste na minimização da seguinte função objetiva:

$$F_{obj} = \int_R (\nabla h^{obs} - \nabla h^{calc})(\nabla h^{obs} - \nabla h^{calc}) dx dy \quad (2)$$

O procedimento para ambos os métodos consiste em usar a derivada da função objetiva em relação ao parâmetro para que o valor inicial da condutividade convirja. As cargas hidráulicas observadas são obtidas com interpolação dos valores medidos em campo.

O procedimento numérico do MIGHA (SCHUSTER e ARAÚJO, 2004) altera esse procedimento usual. A primeira etapa é o cálculo das cargas observadas e calculadas através do MODFLOW, com a estimativa inicial do parâmetro a ser calculada. As cargas observadas

consistem em rodar o MODFLOW com algumas cargas observadas em campo fixas no modelo, enquanto as calculadas consistem em simular sem fixar os valores dessas cargas medidas. Os próximos valores de condutividade, parâmetro que vai ser calibrado, são então dados pela fórmula:

$$K_j^{i+1} = K_j^i \frac{|\nabla h_j^i \text{ calc}|}{|\nabla h_j^i \text{ obs}|}, \quad (3)$$

Em que $|\nabla h_j^i \text{ calc}|$ é o módulo do gradiente hidráulico calculado e $|\nabla h_j^i \text{ obs}|$ é o módulo do gradiente hidráulico observado. Em cada ciclo também é calculado o ângulo ϕ formado entre os gradientes, pois uma estratégia de otimização é desconsiderar a iteração para as células onde o valor de ϕ ultrapassa 60° . O procedimento iterativo termina após um número de iterações determinados, quando o RMSEH (raiz do erro quadrático médio), dado em milímetros, atinge um valor mínimo, quando o critério de convergência atinge um valor estável, ou quando terminam um número de iterações predeterminado. O critério de convergência é a soma dos ângulos calculados, e o RMSEH é definido como:

$$RMSEH = \left[\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (h_{obs} - h_{calc})^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (4)$$

Esse processo, já implementado em linguagem computacional Delphi resultando na interface denominada UFC-MIGH, foi atualizado para a linguagem Java. A linguagem de programação Java, na sua mais atual versão é gratuita, diferente da linguagem Delphi.

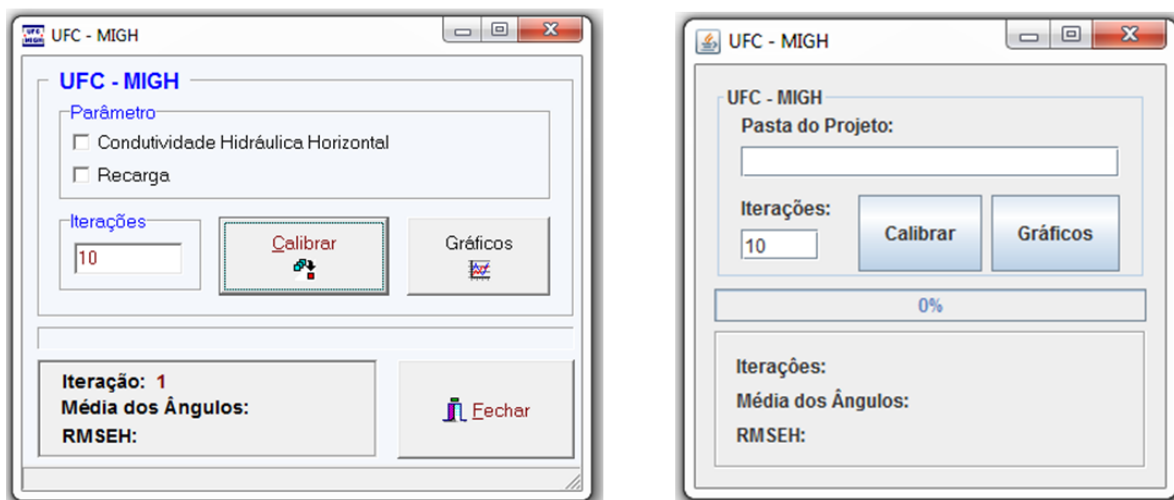


Figura 1 – Interface em Delphi e interface em Java, respectivamente

Para comparar os novos resultados, foi utilizado o seguinte caso hipotético, representado na Figura 2:

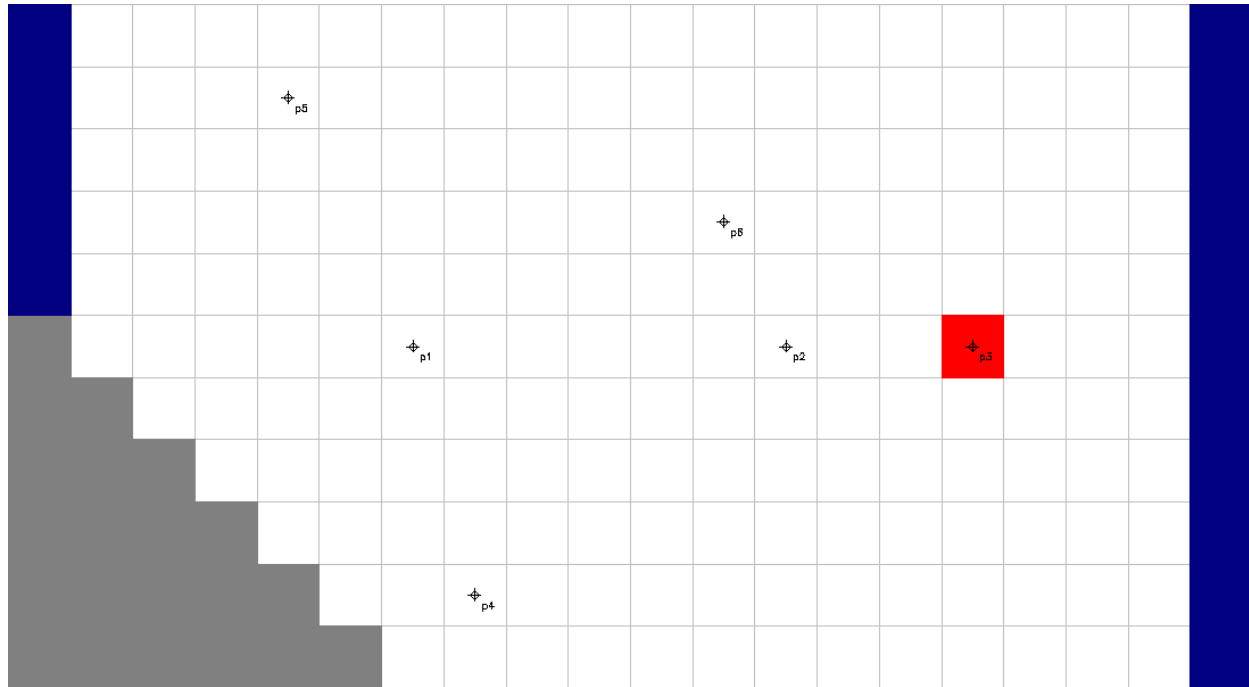


Figura 2 - Caso hipotético

A área hipotética constitui um aquífero não confinado, com porosidade efetiva de 0,25; extensão de 2000 m na direção Leste-Oeste, 1100 m na direção Norte-Sul e espessura, discretizado em células de 100 x 100 m.

O domínio é completamente impermeável na parte norte e em uma porção da parte sudoeste. Possui carga constante de 11,00 m na direção Oeste e 10,00 m na direção Leste. A célula vermelha representa uma descarga de 0,020 m³/s, e os poços de observação representados pelos pontos possui as seguintes cargas e localização:

Tabela 1 – Locais dos Poços de Observação e Cargas Hidráulicas Observadas

Poço	x[m]	y[m]	h[m]
P1	650	550	10,50
P2	1250	550	10,20
P3	1550	550	10,10
P4	750	150	10,40
P5	450	950	10,70
P6	1150	750	10,30

O valor inicial das condutividades hidráulicas em toda área foi constante de 0,008m/s.

As Figuras 2 e 3 representam os mapas potenciométricos das cargas observadas e calculadas sobrepostas, do programa original e da reescrita em Java, após 10 iterações. As linhas em vermelhos são das cargas observadas, e as linhas em azul das cargas calculadas.

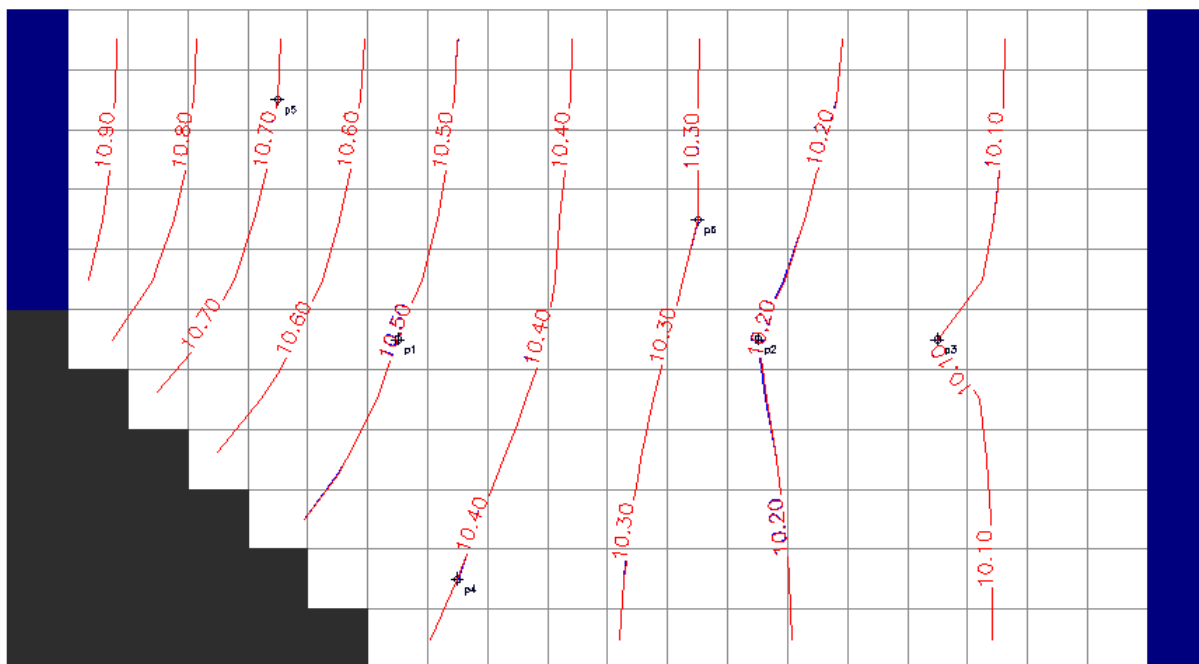


Figura 3 - Linhas potenciométricas na 10ª iteração, do programa UFC-MIGH

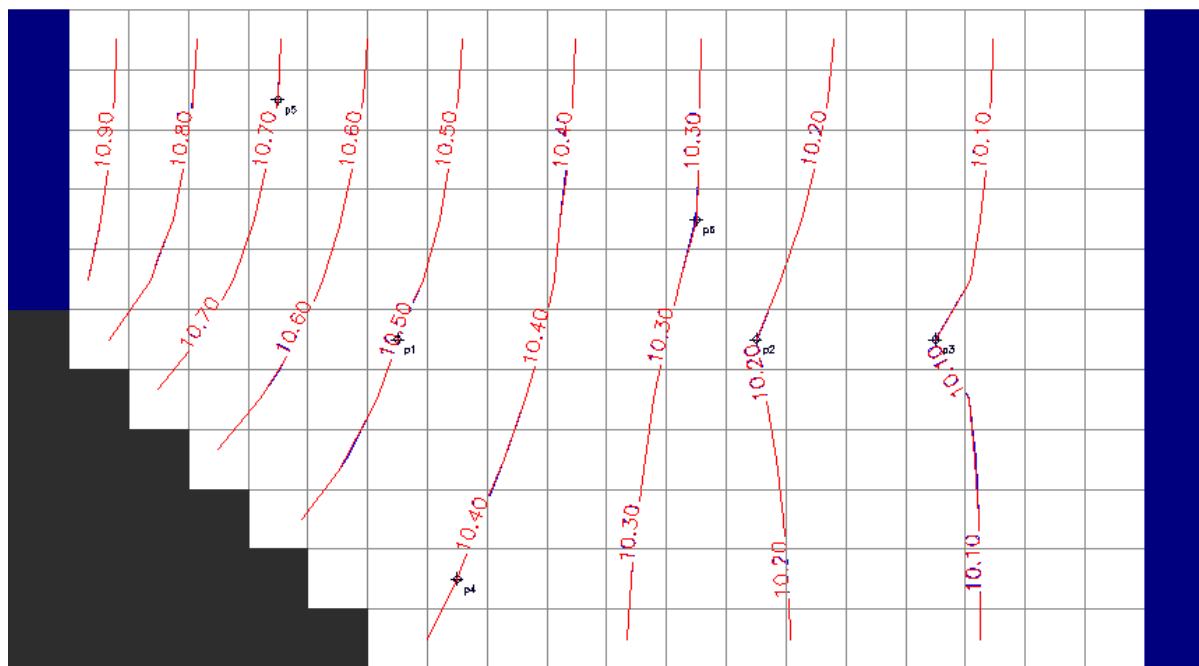


Figura 4 - Linhas potenciométricas na 10ª iteração, do programa em linguagem Java.

O programa UFC-MIGH e a nova implementação em Java apresentaram resultados idênticos para o RMESH, ambos atingindo um valor de 0,000 mm a partir da sexta iteração, representando nas Figuras 3 e 4 linhas sobrepostas, indicativo de boa calibração. Observa-se, ainda, que os valores de condutividade encontrados foram diferentes entre os dois programas, apesar dos resultados de ambos atingirem a compatibilidade proposta entre as cargas observadas e calculadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O novo programa apresenta resultados bons, o que o capacita para substituir o UFC-MIGH original. Além disso, a quantidade de arquivos de entrada do programa foi reduzida. A nova linguagem adotada apresenta maior compatibilidade com os sistemas operacionais atuais e maior suporte técnico. Com esses fatores a favor, o novo programa apresenta melhores condições para servir como base para implementação de novas funcionalidades e otimizações, e trabalhar em conjunto com outros programas a serem desenvolvidos.

Ainda quando comparados a outros programas de parametrização, a poder do UFC-MIGH se constitui na capacidade de apresentar valores de condutividade para todas as células discretizadas.

REFERÊNCIAS

CARRERA, J. State of the art of the inverse problem applied to the flow and solute transport problem. *Groundwater Flow and Quality Modeling*, NATO ASI Ser.: 549-585, 1987.

CARRERA, J.; NEUMAN, S. P. Estimation of aquifer parameters under transient and steady conditions: Uniqueness, stability and solution algorithms. *Water Resources Research*, v. 22, n. 2, p. 211-227, 1986.

GUO, X; ZHANG, C.-M.. Hydraulic gradient comparison method to estimate aquifer hydraulic parameters under steady-state conditions. *Ground Water*. v. 38, n. 6, p. 815-826, 2000.

MCLAUGHIN, D; TOWNLEY, L. R. A reassessment of the ground-water inverse problem. *Water Resources Research*. v. 32, n. 5, p. 1131-1161, 1996.

SCHUSTER, H. M. D.; ARAÚJO, H. D. B. Uma formulação alternativa do método iterativo de gradiente hidráulico no procedimento de calibração dos parâmetros hidrodinâmicos do sistema aquífero. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 9, n. 2, p. 31-37, 2004.

SUN, N.-Z. Inverse problem in groundwater modeling. Norwell, Massachusetts: Kluwer Acad, 1994.

YEH, W. W.-G. Review of parameter identification procedure in groundwater hydrology: Inverse problem. *Water Resources Research*, v. 22, n. 2, p. 95-108, 1986.

ZHENG, C.; HUNT, R.J. The Current State of Modeling. *Ground Water*, v. 50, n. 3, p. 330-333, 2012