

Marcos Bolognini Barbosa



Doutorando em Hidrogeologia, Instituto de Geociências, USP.

Curriculum vitae: [20161230_172047.jpg](#)

O título de minha tese é: “DESENVOLVIMENTO DE TÉCNICAS E MÉTODOS DE CAMPO PARA A CARACTERIZAÇÃO DE AQUÍFEROS FRATURADOS: ESTUDO DE CASO DA ANTIGA ZUPI131, REGIÃO DO JURUBATUBA, SÃO PAULO - SP”, orientado pelo Prof. Reginaldo Antonio Bertolo.

Exercícios Resolvidos

[Exercícios](#)

Proposta de trabalho final

Plano A: Interpretação de ensaios hidráulicos de aquíferos pelo método de variação de carga instantânea (slug-test) Contextualização O ensaio de variação de carga instantânea é um dos principais métodos utilizados para obtenção do parâmetro de transmissividade de unidades hidrogeológicas, principalmente em estudos ambientais (Butler, 1998). O ensaio consiste em causar uma variação instantânea na carga hidrostática de uma unidade hidrogeológica em equilíbrio e acompanhar sua recuperação em função do tempo. Um dos principais métodos utilizados para interpretar este tipo de ensaio é Hvorslev (1951), que consiste em ajustar uma reta ao longo dos dados de variação da carga hidrostática, e utilizar a inclinação da reta, bem como e as características do poço e do meio, para calcular a transmissividade (Equação 1).



Onde:

- m - inclinação da reta
- A_x - área da seção do poço (L^2)
- r_o - raio de influência (L)
- r_w - raio do poço/perfuração (L)
- π - pi
- L - comprimento do intervalo ensaiado (L)

A escolha do número de pontos a ser utilizado na interpretação do ensaio deve corresponder ao melhor coeficiente de determinação para um modelo linear (Figura 1). Este processo de tratamento dos dados para obtenção da transmissividade pode ser feito por softwares comercializados ou por meio de planilhas de cálculos, que constituem uma tarefa trabalhosa e dispendiosa devido à quantidade de dados gerados e o número de ensaios a serem interpretados. Esta proposta tem como objetivo: 1) automatizar o processo de seleção dos dados que correspondem ao ensaio, gerados e registrados em formato .txt por um sistema de sensores e datalogger; 2) obter a inclinação da reta com base no melhor coeficiente de determinação, incluindo ao menos dados que representem 5% da recuperação total da carga hidrostática; e 3) calcular a transmissividade para o usuário. O usuário desta função poderá calcular este importante parâmetro hidrogeológico para poços com diâmetros variados, aquíferos livres e confinados (Hvorslev, 1951).



Figura 1 – Obtenção da inclinação da reta a partir do melhor coeficiente de correlação de um modelo linear par a um ensaio de variação de carga instantânea.

Planejamento da função

Entrada: Transmissividade (dados, diam, rinf, L, test)

- Item de lista não ordenadadados = conjunto de dados numéricos com a leitura do sensor de pressão (PSI), temperatura (°C) e data e hora
- diam = diâmetro do poço onde foi realizado o ensaio (mm)
- rinf = raio de influência do ensaio (m)
- L = comprimento do intervalo ensaiado (m)

Verificando os parâmetros:

1. dados\$data é uma data no formato YYYY-MM-DD HH:MM::SS? Se não escreve: “formato de data fora da especificação YYYY-MM-DD HH:MM:SS”
2. dados\$T_Int é numérico e maior que zero? Se não, escreve: “dados\$T_Int precisa ser numérico e > 0.”
3. dados\$T_Int contem NA ou NANS? Caso afirmativo contar o número de ocorrências e escrever: “conjunto de dados contém xxx valores de NA que serão removidos”
4. dados\$T_Temp é numérico e se encontra entre 0 e 100? Se não, escreve: “dados\$T_Temp precisa ser numérico e 0<dados\$T_Temp<100.”
5. diam é numérico e se encontra entre 25.4 e 305? Se não, escreve: “diam precisa ser numérico e 25.4<diam<305. “
6. rinf é um número inteiro e se encontra entre 1 e 1000? Se não, escreve: “rinf precisa ser numero inteiro entre 1 e 1000. “
7. L é numérico e maior que zero? Se não, escreve: “L precisa ser numérico e > 0. “

Pseudo-código:

1. Cria os objetos que vão receber o resultado e serão utilizados para realizar as operações numéricas
2. Carrega o arquivo de dados que é gerado pelo datalogger e salva os campos de interesse em um objeto (data/hora, pressão, temperatura), excluindo os campos com NA
3. Faz a conversão dos dados de pressão em PSI para metro de coluna de água levando em consideração a densidade da água em função da temperatura
4. Identifica o trecho dos dados que contem o ensaio de variação de carga instantânea usando o “FOR” e testes lógicos “IF” e salva em um outro objeto
5. Normaliza a variação da pressão a partir do deslocamento inicial
6. Calcula o ln da variação da pressão normalizada
7. Encontra o conjunto de dados que apresente o melhor coeficiente de correlação para gerar o modelo linear
8. Gera o modelo linear
9. Calcula a transmissividade a partir da inclinação da reta e dos dados de entrada da função

Saída:

1. Gráfico com todos os dados de pressão (mH2O) pelo tempo do arquivo original

2. Gráfico contendo: todos os dados do ensaio; os dados que correspondem ao melhor coeficiente de correlação; reta do modelo linear desse conjunto de dados; valor do coeficiente de correlação e da inclinação da reta
3. Tabela contendo o valor calculado para a transmissividade, raio de influencia utilizado, diâmetro do poço, tempo de duração do ensaio e deslocamento máximo do ensaio

Vitor Rios

Marcos, sua proposta está confusa. Você quer ajusta uma regressão linear a um dado claramente não-linear (segundo a imagem que vc postou)? Como você determina quais dados usar para ajustar o modelo? Porque não usar todos os dados ou um modelo não-linear? Principalmente no item 4 do seu pseudocódigo (Identifica o trecho dos dados que contem o ensaio de variação de carga instantânea usando o "FOR" e testes lógicos "IF" e salva em um outro objeto), não está claro o que vc quer fazer. Seria um subset dos dados totais, com uma condição do tipo ensaio == TRUE? E no item sete (Encontra o conjunto de dados que apresente o melhor coeficiente de correlação para gerar o modelo linear) como vc vai fazer isso? Aliás, eu não conheço a sua área e posso ter entendido errado, mas "escolher os dados que apresentem o melhor ajuste da reta" me parece conceitualmente muito, muito errado [Vitor Rios](#)

Marcos Barbosa

Vitor,

Concordo, a proposta está um pouco confusa, mas no que diz respeito à interpretação do ensaio posso te garantir que estou seguindo a melhor solução numérica e gráfica para determinar a transmissividade por meio de ensaios hidráulicos do tipo slug. Vou explicar de maneira sucinta o porque da regressão linear e do melhor coeficiente de correlação mas se quiser entender melhor, qualquer livro de hidrogeologia básico trata deste tema (Butler, 1998 é a principal referência). O ensaio de pulso (slug) tem um tipo de resposta que muda conforme se dá a recuperação da carga hidrostática e para determinar a transmissividade é necessário descartar parte dos dados que já se encontram próximos do equilíbrio, cerca de 63% da diferença de carga gerada no ensaio é o máximo de dados que são representativos. Portanto, é importante selecionar apenas os dados do intervalo mais representativo, e o coeficiente de correlação é um dos melhores critérios para fazer o subset dos dados que serão utilizados para traçar a reta, sendo que a inclinação da reta é utilizada para o cálculo da transmissividade. Tendo em vista o exposto acima e que meu doutorado contempla a realização e interpretação de dezenas desses ensaios, gostaria de dar sequência nesta primeira proposta, uma vez que será de grande utilidade para mim e para o grupo de pesquisa ao qual estou ligado.

Dei uma arrumada no pseudo código, apresentado a seguir:

1. Cria os objetos que vão receber o resultado e serão utilizados para realizar as operações numéricas
2. Abre o arquivo que contém os dados brutos gerados pelo datalogger e salva os campos de

interesse em um objeto (data/hora, pressão, temperatura), excluindo os campos com NA

3. Faz a conversão dos dados de pressão em PSI para metro de coluna de água levando em consideração a densidade da água e temperatura
4. Abre um ciclo
 - * Identifica o trecho dos dados que contem o ensaio de variação de carga instantânea usando um ciclo que compara os dados de pressão. O início do ensaio é marcado por uma variação brusca em que a pressão se eleva em questão de dois ou três segundos mais de 20 cm.
 - * Salva a hora do início do ensaio e o momento pré ensaio em um objeto
5. Fecha o ciclo
6. faz um subset dos dados a partir do início dos dados até que a carga hidrostática do ensaio tenha sido recuperada até 70% da diferença entre o pré ensaio e o início do ensaio
7. Normaliza os dados do ensaio com base no valor pré ensaio
8. Gera um gráfico com os dados do pré ensaio até o fim do ensaio (70%)
9. calcula o coeficiente de correlação dos dados a partir de 10% de recuperação da carga hidrostática até os 63%
10. gera uma série de dados no mesmo gráfico com os dados do início do ensaio até o melhor coeficiente de correlação encontrado na etapa anterior
11. plota no gráfico a equação da inclinação da reta (modelo linear) e o maior valor do coeficiente de correlação
12. calcula a transmissividade com base nos dados de entrada e a equação da reta e armazena em um objeto
13. apresenta para o usuário a transmissividade

Posso prosseguir com esta proposta? [Marcos Barbosa](#)

#####

Plano B: Uma função que demonstre para hidrogeólogos e consultores quais as chances de se escolher locais adequados para a coleta de amostras de água em meios fraturados sem conhecer as propriedades hidráulicas locais. Escolher trechos de poços profundos para amostrar sem conhecer bem seu comportamento hidráulico é uma prática ainda muito comum entre profissionais que atuam no campo da hidrogeologia e gerenciamento de áreas contaminadas no Brasil. Um dos principais motivos disso é a idéia errada de que não vale a pena gastar o devido recurso com a etapa de caracterização do poço. Apesar de ser fácil elencar e explicar os motivos pelos quais esta abordagem é inadequada e ineficiente, muitas vezes explicações técnicas são pouco compreendidas e a mensagem não é bem assimilada. Pensando em melhorar essa comunicação e ilustrar o problema de

maneira lúdica, esta proposta tem como objetivo criar uma função para simular resultados possíveis de uma amostragem sem critérios. O usuário desta função terá a possibilidade de entrar dados básicos de um poço e o número de amostras com suas respectivas profundidades. Por meio da equação de balanço hidráulico de Sokol (1963) (Equação 1) a função estabelece o sentido e magnitude do fluxo, que seguem um padrão, e compara com as profundidades amostradas. A resposta que o usuário obtém é de onde veio a água coletada (pode ser de mais de um ponto, proporcional à capacidade hidráulica) e um gráfico mostrando o sentido do fluxo e os trechos selecionados para amostragem.

✖ Equação 2

Onde:

- Hbl = nível d'água do poço (m)
- T_i = Transmissividade da fratura i (m^2/s)
- H_i = carga hidráulica da fratura i (m)
- r_0 = raio de influência (m)
- r_w = raio do poço (m)

Planejamento da função Entrada: amostrar (amostras, L, Hbl, rpoco, rinf, N, ghid)

1. amostras = conjunto de dados numéricos com as profundidades amostradas (número)
2. L = comprimento do poço sem revestimento
3. Hbl= nível d'água do poço
4. rpoco= raio do poço (mm)
5. rinf = raio de influência do ensaio (m)
6. N = número de zonas hidraulicamente ativas (número inteiro)
7. ghid = maior diferença de carga entre fraturas de um mesmo poço

Verificando os parâmetros:

1. Algum dos parâmetros possui NA ou NANS? Caso positivo, escreve: algum dos parâmetros não é número.
2. amostras é numérico e maior que zero? Se não, escreve: "amostras precisa ser numérico e > 0."
3. L é um número inteiro maior que 10? Se não, escreve: "L precisa ser um número inteiro > 10."
4. Hbl é numérico e maior que zero? Se não, escreve: "Hbl precisa ser numérico e > 0."
5. rpoco é numérico e se encontra entre 12 e 150? Se não, escreve: "raio precisa ser numérico e $12 < rpoco < 150$. "
6. rinf é um número inteiro e se encontra entre 1 e 1000? Se não, escreve: "rinf precisa ser numero inteiro entre 1 e 1000. "
7. N é um número inteiro e se encontra entre 1 e 10? Se não, escreve: "N precisa ser numero inteiro entre 1 e 10. "
8. ghid é um número inteiro e se encontra entre 1 e 10? Se não, escreve: "N precisa ser numero inteiro entre 1 e 10."

Pseudo-código:

1. Cria os objetos que vão receber o resultado e serão utilizados para realizar as operações numéricas
2. Distribui de maneira aleatória o N no intervalo de 0 a L
3. Entra em um ciclo de FOR

4. Atribui valores de transmissividade ao N seguindo uma distribuição normal
5. Atribui valores de carga hidráulica com valores crescentes que podem ser repetidos mas nunca menor que o valor atribuído ao anterior
6. calcula a Hbl teórica para um cenário de fluxo descendente com base na transmissividade e carga hidráulica: fluxo descendente (saída de água próxima ao L).
7. Dentro do ciclo do for usa a condicionante IF para verificar se a Hbl teórica está até 10% próxima da Hbl entrada, se positivo sai do ciclo, se negativo retorna p ciclo
8. Sai do ciclo for
9. Utilizado os dados do ciclo for anterior para representar o mesmo cenário anterior ao contrário, fluxo ascendente (saída de água próxima ao L -L)
10. Soma todos os valores de transmissividade e calcula o peso de cada uma das zonas (N) sobre o fluxo

Saída:

1. Gera dois gráficos, fluxo descendente e ascendente, com todos os trechos hidraulicamente ativos sendo o eixo y a profundidade (de 0 a L) e o eixo x a carga hidráulica.
2. Plota nos gráficos os pontos das amostras
3. Gera uma tabela com os pontos de maior transmissividade (elimina todos os valores de transmissividade que tenham contribuição inferior a 15%) acima de cada trecho amostrado para o fluxo descendente
4. Gera uma tabela com os pontos de maior transmissividade (elimina todos os valores de transmissividade que tenham contribuição inferior a 15%) abaixo de cada trecho amostrado para o fluxo ascendente

Referências

Butler, J.J., Jr., Duffield, G.M. and D.L. Kelleher, 2011. Field Guide for Slug Testing and Data Analysis, Midwest Geosciences Group Press.

Hvorslev, M.J., 1951. Time Lag and Soil Permeability in Ground-Water Observations, Bull. No. 36, Waterways Exper. Sta. Corps of Engrs, U.S. Army, Vicksburg, Mississippi, pp. 1-50. [pdf]

Sokol D (1963) Position and fluctuations of water level in wells perforat- ed in more than one aquifer. J Geophys Res 68(4):1079-1080

Vitor Rios

A proposta também está pouco clara, principalmente no pseudo código, porém eu gostei do propósito didático da função, mas não ficou claro como a saída dela se liga ao seu propósito. Eu sugiro você seguir com ela, mas seria bom vc reestruturar as duas e me mandar um email pra eu dar mais uma olhada antes de meter a mão na massa [Vitor Rios](#)

Links para o trabalho final

Com o aval do monitor Vitor Rios segui com o plano A. Conforme já explicado anteriormente, minha função calcula a transmissividade hidráulica de aquíferos ou porções destes a partir de ensaios tipo slug e pelo método de interpretação de Hvorslev.

- Link para a página da minha função: [Arquivo da Função](#)

From:

<http://ecor.ib.usp.br/> - **ecoR**

Permanent link:

http://ecor.ib.usp.br/doku.php?id=05_curso_antigo:r2018:alunos:trabalho_final:marbbar:start 

Last update: **2020/08/12 06:04**