

## **DESENVOLVIMENTO DE UM CÓDIGO PARA A ESTIMATIVA DA COMBINAÇÃO IDEAL DE MATERIAIS OBTURANTES ADICIONADOS AOS FLUIDOS DE PERFURAÇÃO**

B. A. MOREIRA<sup>1\*</sup>, J. J. R. DAMASCENO<sup>2</sup>, J. R. GUIMARÃES<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Engenharia Química

<sup>2</sup>Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Química

<sup>3</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Física, Estatística e Matemática

\*e-mail: brunomoreira@utfpr.edu.br

### **RESUMO**

Durante a perfuração de um poço de petróleo, busca-se a obstrução rápida e precisa dos poros da formação para reduzir o influxo do fluido de perfuração para o interior do reservatório. A combinação otimizada de materiais que fornece a granulometria ideal dos materiais obturantes auxilia na obstrução dos poros formando um reboco fino e de baixa permeabilidade. Neste contexto, este trabalho desenvolveu um código para a determinação da combinação ideal dos obturantes. A modelagem foi baseada em métodos de inversão que minimizam as diferenças entre a distribuição de partículas obtida pela combinação de materiais e a distribuição ideal proposta por modelos de empacotamento ideal existentes na literatura. Os resultados mostraram que a ferramenta desenvolvida pode ser utilizada para obtenção da melhor combinação de materiais, sendo portanto indicada para auxiliar na resolução de problemas práticos associados a formação do reboco.

### **1 INTRODUÇÃO**

Uma função importante que os fluidos de perfuração exercem durante a etapa de perfuração de poços em rochas-reservatório é a formação do reboco. Nos casos em que os fluidos de perfuração são dotados de materiais obturantes, o influxo da parte líquida do fluido de perfuração (filtrado) para o interior da formação ocasiona a formação de uma torta de filtração comumente chamada de reboco. O reboco tem como principal objetivo, reduzir o influxo de filtrado no reservatório (MOREIRA, 2014; WALDMANN, 2005).

Desta forma, para a obstrução rápida e precisa dos poros da rocha e a formação de um reboco externo fino e de baixa permeabilidade, torna-se necessário estimar a concentração ideal e a melhor faixa

granulométrica dos materiais obturantes no fluido de perfuração.

Em 1977, Abrams mencionou o tamanho médio das partículas dos obturantes devem ser igual ou ligeiramente maior do que 1/3 do diâmetro médio de poros da formação rochosa.

Dick et al (2000), definiram a teoria do empacotamento ideal (TEI). A TEI consiste em uma aproximação gráfica para determinar a distribuição granulométrica otimizada dos obturantes para uma determinada formação rochosa. Tal técnica baseia-se no maior tamanho de poros dominante da formação ou fratura e na regra conhecida como  $D^{1/2}$ , proposta por Kaeuffer, 1973.

Em 2007, Wenqiang e Jienian complementaram a regra de Dick et al (2000) ao desenvolverem um software para a determinação da proporção em que três

materiais obturantes devem ser combinados para formar um reboco com a menor permeabilidade possível. Para isso, os autores basearam-se nas modelagens matemáticas de McGreay (teoria do empacotamento) e de Fuller.

Enbaia Dr e Ramdzani (2014) ao analisarem imagens, concluíram que a permeabilidade da formação rochosa não deve ser um parâmetro para especificar os materiais obturantes.

Visando contribuir no desenvolvimento de métodos que determinem a combinação ideal dos obturantes, este trabalho avaliou o uso da técnica de inversão com minimização de resíduos como ferramenta para a obtenção da granulometria ideal para a formação do reboco em um determinado reservatório.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A obtenção da proporção otimizada dos materiais obturantes pode ser feita a partir de métodos de combinação linear e procedimentos de inversão. Desta forma, assumindo uma relação linear entre duas funções:  $g(\varepsilon)$  e  $f(\varepsilon)$  tem-se:

$$g(\varepsilon) = \sum_{i=1}^N f_i(\varepsilon) c_i \quad (1)$$

em que  $g(\varepsilon)$  é a função que representa a distribuição de partículas ideal,  $f(\varepsilon)$  é a função que representa a distribuição granulométrica dos materiais obturantes,  $\varepsilon$  é o diâmetro das partículas,  $C_i$  indica a proporção de cada material na combinação.

De forma equivalente:

$$G = FC \quad (2)$$

A diferença entre a distribuição desejada  $G$  e a distribuição resultante dos diferentes materiais  $FC$  é denominada de resíduo ( $R$ ) e deve ser idealmente igual à zero:

$$R = G - FC \quad (3)$$

Aplicaremos aqui a metodologia do estimador de mínimos quadrados para encontrar o melhor conjunto para o vetor  $C$ . Este procedimento minimiza a norma absoluta ( $Q$ ), escrita a seguir:

$$Q = \sum_j \left[ g(\varepsilon_j) - \sum_i f_i(\varepsilon_j) c_i \right]^2 \quad (4)$$

Para minimizar a norma, aplicaremos o procedimento de minimização:

$$\frac{\partial Q}{\partial c_k} = 0 \quad (5)$$

que resulta em:

$$0 = \sum_j \left[ g(\varepsilon_j) - \sum_i f_i(\varepsilon_j) c_i \right] f_k(\varepsilon_j) = \sum_j r_j f_k(\varepsilon_j) \quad (6)$$

Na forma matricial a Equação (6) é escrita como:

$$0 = R^T F \quad (7)$$

ou, na sua forma transposta:

$$0 = F^T R \quad (8)$$

Substituindo a relação da Equação (3) na Equação (8) temos:

$$0 = F^T (G - FC) \quad (9)$$

Com isso, encontra-se a relação que fornece a melhor estimativa para os valores de  $C$ :

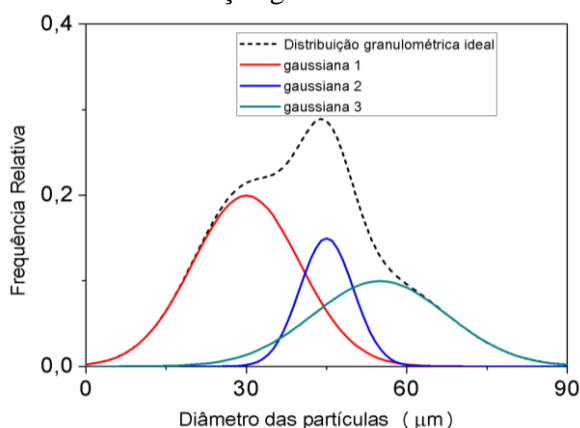
$$C = (F^T F)^{-1} F^T G \quad (10)$$

Os princípios desta metodologia são amplamente empregados em problemas de inversão em geofísica, aplicações da mesma podem ser encontradas Silva et al. (2010); Barbosa et al. (2011).

O procedimento descrito foi implementado para combinação de uma quantidade qualquer de materiais. Neste trabalho, a mistura dos materiais foi realizada a partir da combinação linear de três gaussianas idealizadas ( $f(\varepsilon)$ ) como um estudo de caso. A distribuição de tamanho de partículas de um material pulverulento pode ser descrita de forma bastante satisfatória por  $f(\varepsilon)$ , o que justifica o seu uso neste estudo.

Na Figura 1 pode-se observar as três gaussianas. Tais funções representam a distribuição granulométrica de três materiais obturantes. As gaussianas são combinadas de forma a produzir com o mínimo de erro a distribuição granulométrica ideal (também idealizada para a realização deste estudo).

**Figura1** – Curva de distribuição de frequência em função do diâmetro para os três materiais idealizados por este trabalho, juntamente com a curva da distribuição granulométrica ideal.

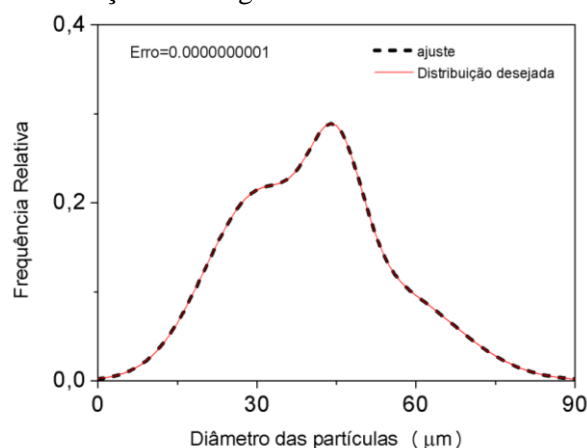


## 4 RESULTADOS

Os resultados da combinação entre as três gaussianas que forneceu a melhor aproximação em relação a distribuição desejada estão mostradas na Figura 2. A distribuição granulométrica desejada

representou neste trabalho a melhor distribuição de tamanhos de partículas que forma um reboco fino e de baixa permeabilidade.

**Figura2** – Distribuição de frequência em função do diâmetro das partículas obtida pela combinação de três gaussianas.



Observa-se na Figura 2, que os valores da combinação das três gaussianas aproximaram-se da distribuição desejada com um erro próximo de zero. Desta forma, pode-se concluir que o uso da técnica de inversão com minimização de resíduos mostrou-se altamente satisfatória.

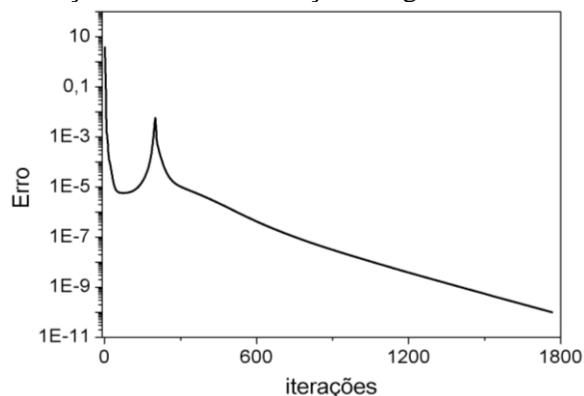
As porcentagens em massa das gaussianas 1, 2 e 3 que combinadas geraram na Figura 2 a curva de ajuste foram respectivamente de 50%, 19% e 31%. Também pode-se observar que a utilização de apenas três materiais foi suficiente para realizar a aproximação desejada.

O baixo valor do erro entre a distribuição de tamanhos desejada e a alcançada com a combinação das gaussianas foi conseguido após diversas iterações sucessivas. A redução do erro no desenvolvimento do processo iterativo está mostrada na Figura 3.

Verifica-se na Figura 3 que o código desenvolvido mostrou uma minimização dos erros de forma bastante rápida, confirmando a eficácia da metodologia utilizada para a

resolução dos problemas tratados neste trabalho.

**Figura 3** – Minimização do erro entre a distribuição de tamanhos desejada e a alcançada com a combinação das gaussianas.



## 5 CONCLUSÕES

A técnica de inversão com minimização de resíduos como método para determinar a distribuição granulométrica ideal dos agentes obturantes, mostrou-se satisfatória. A partir da combinação de três materiais diferentes foi possível verificar um erro próximo de zero entre a curva ideal e a obtida com a combinação dos materiais.

A ferramenta desenvolvida neste trabalho pode ser utilizada também em campo para auxiliar na determinação da proporção em que diferentes materiais obturantes devem ser combinados para a formação de um reboco de baixa permeabilidade.

## REFERÊNCIAS

- ABRAMS, A. Mud Design to Mike Rock Impairment due to Particle Invasion. **Journal of Petroleum Technology**, p. 586-592, 1977.
- BARBOSA, V. C. F.; SILVA, J. B. C.; VASCONCELOS, S. S. e OLIVEIRA, S. F. Entropic Regularization to Assist a Geologist in Producing a Geologic Map. **Entropy**, vol. 13, p. 790-804, 2011.
- DICK, M. A.; HEINZ, T. J.; SVOBODA, C. F.; ASTON, M. Optimizing the Selection of Bridging Particles for Reservoir Drilling Fluids, **International Symposium on Formation Damage**, SPE 58793, Louisiana, EUA, 2000.
- ENBAIA Dr, A. E.; RAMDZANI, I. A. B. A. Pore size geometry of reservoir rocks used as key factor for drilling and completion fluid design of oil wells. **European Scientific Journal**, p. 102-113, 2014.
- KAEUFFER, M. Determination de L'Optimum de Remplissage Granulometrique et Quelques Proprietes S'y Rattachant, In: Congress International de l'A.F.T.P.V., **Anais...** Rouen, 1973.
- MOREIRA, B. A. **Estudo da sedimentação em suspensões de fluidos com características reológicas pseudoplásticas**. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil, 2014
- SILVA, J. B. C.; VASCONCELOS, S. S.; BARBOSA, V. C. F. Apparent-magnetization mapping using entropic regularization. **Geophysics**, vol. 75, p. 39-50, 2010.
- WALDMANN, A. T. A. **Mecanismos que governam a efetividade de agentes obturantes no controle da invasão de fluidos de perfuração na rocha reservatório de petróleo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - PUC-RIO, Rio de Janeiro-RJ, Brasil, 2005.
- WENQIANG, F; JIENIAN, Y. Designing Drill-in Fluids by Using Ideal Packing Technique, **Petroleum Science**, Vol. 4, n. 2, p. 44-51, 2007.