



**Noelia Victoria Valderrama Cruz**

**Modelagem 3D de Pressão de Poros a partir de Dados de  
Poços**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para  
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio.

Orientador: Sergio Augusto Barreto da Fontoura

Rio de Janeiro, agosto de 2009



**Noelia Victoria Valderrama Cruz**

## **Modelagem 3D de Pressão de Poros a partir de Dados de Poços**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Sergio Augusto Barreto da Fontoura**  
**Orientador**

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

**Prof. Alberto Sampaio Ferraz Jardim Sayão**  
Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

**Luiz Alberto Santos Rocha**  
Petrobrás

**Prof. Paulo Couto**  
UFRJ

**Prof. José Eugenio Leal**  
Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 28 de agosto de 2009

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

**Noelia Victoria Valderrama Cruz**

Graduou-se em Engenharia Civil pela UNI Universidade Nacional de Engenharia - Peru em Dezembro 2005. Trabalhou em projetos e execuções de obras de construção civil. Como geotécnica desenvolveu projetos de estabilidade de barragens para rejeito de mineração.

Ficha Catalográfica

Valderrama Cruz, Noelia Victoria

Modelagem 3D de pressão de poros a partir de dados de poços / Noelia Victoria Valderrama Cruz; orientador: Sergio Augusto Barreto da Fontoura. – 2009.

82 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)– Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

Inclui bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Modelagem de bacias. 3. Gradiente de pressão de poros. 4. Subcompactação 5. Poços. 6. Método de Eaton. 7. Método de Bowers. I. Fontoura, Sergio Augusto Barreto da. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. III. Título.

CDD: 624

*Ao Señor de los Milagros*  
A minha mãe Emperatriz pelo apoio incondicional  
A minha irmã Emperatriz pela força e coragem  
A minha família toda, pelo seu apoio

## Agradecimentos

Ao professor Dr. Sergio Fontoura, pela orientação e pelo seu apoio.

Aos meus pais Emperatriz e Teobaldo que me apoiaram sempre em todos os momentos.

Aos meus irmãos pela força e carinho transmitido em suas mensagens e ligações Carlos, Salomón, Edwin, especialmente minha irmã Emperatriz.

A meu tio Cesar que, embora esteja no Peru me deu seu carinho e apoio para seguir com confiança em todo este tempo.

À Julien por seu carinho, companheirismo, calma nos momentos de angustia e pelo seu apoio incondicional.

À Vivian pelas sugestões durante a execução do trabalho e também pela paciência e amizade.

Aos meus amigos pelo seu carinho nos momentos de dificuldade, me fazendo sentir em casa embora esteja longe dela. Em especial a Natacha e Jackeline.

Aos amigos do GTEP, especialmente a Nelly, Shelly e Paul pelo apoio e amizade.

À Helena e à equipe do EDISE por fornecer os dados para este trabalho.

À *Knowledge Systems* pela disponibilidade da licença do programa.

A todos os professores do Departamento de Engenharia Civil pelos ensinamentos transmitidos.

Ao Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio, à ANP e ao GTEP pelo apoio financeiro.

## Resumo

Cruz, Noelia Victoria Valderrama; Fontoura, Sergio Augusto Barreto da. **Modelagem 3D de Pressões de Poros a Partir de Dados de Poços.** Rio de Janeiro, 2009. 82p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A modelagem tridimensional (3D) de gradiente de pressões de poros geralmente é feita utilizando dados sísmicos e calibrada com dados de poços, não sendo comum na indústria de petróleo a geração de modelos 3D baseados exclusivamente em dados de poços. A utilização de dados de poços para modelos unidimensionais do gradiente de pressão de poros, contudo, é trivial. Neste trabalho são apresentadas modelagens 3D de pressão de poros pelo método de Eaton e pelo método de Bowers, exclusivamente a partir de dados de poços (14) de um campo brasileiro. A metodologia utilizada foi baseada no programa Drillworks 3D, da Knowledge Systems, sendo considerado apenas o fenômeno da subcompactação como possível mecanismo gerador das sobrepressões. Embora os dados sísmicos sejam os mais usados na indústria de petróleo e gás para a modelagem 3D de pressão de poros, um estudo de caso apresentado neste trabalho mostra que o uso de dados de poços para a modelagem 3D de pressão de poros é satisfatório, atingindo-se erros inferiores a 1ppg para ambas as metodologias, em relação a medidas diretas de pressão de poros.

## Palavras-chave

Modelagem de bacias, gradiente de pressão de poros, subcompactação, poços, método de Eaton, método de Bowers.

## Abstract

Cruz, Noelia Victoria Valderrama; Fontoura, Sergio Augusto Barreto da (Advisor). **3D Pore Pressure Modeling from Well Data**. Rio de Janeiro, 2009. 82p. Msc. Dissertation - Department of Civil Engineering, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Tridimensional (3D) modeling of pore pressure gradient is usually based on seismic data and calibrated with well data. Tridimensional models based exclusively in well data are not common in the oil industry. However, well data are regularly used to derive unidimensional models of the pore pressure gradient. The current work presents 3D models of pore pressure gradient using the Eaton method and Bowers method, derived from 14 wells data in a Brazilian field. The methodology used was based in the software Drillworks 3D, from Knowledge Systems. The undercompaction mechanism was considered as the overpressure generator. Although the seismic data are the most commonly used in oil and gas industry for 3D pore pressure modeling, a case study presented herein shows that using wells data for 3D pore pressure modeling is satisfactory, with errors less than 1ppg in both methods in respect to direct measurements of pore pressure.

## Keywords

Basin modeling, pore pressure gradient, undercompaction, well data, Eaton method, Bowers method.

# Sumário

|  |    |
|--|----|
| 1 Introdução   | 14 |
| 1.1. Objetivo  | 15 |
| 1.1.1. Escopo da Dissertação                                 | 15 |
| 2 Revisão Bibliográfica                                      | 17 |
| 2.1. Pressões de Poros Anormais                              | 17 |
| 2.2. Generalidades de Pressão de Poros                       | 19 |
| 2.3. Modelagem 3D de Pressões de Poros                       | 20 |
| 2.3.1. Modelagem com medidas sísmicas                        | 22 |
| 2.3.2. Modelagem com dados de poços                          | 26 |
| 2.3.3. Modelagem de Bacias                                   | 28 |
| 3 Análise e preparação dos dados                             | 35 |
| 3.1. Características Gerais do Campo                         | 36 |
| 3.2. Dados Disponíveis                                       | 39 |
| 3.3. Preparação de dados                                     | 42 |
| 3.3.1. Suavização de Perfis                                  | 42 |
| 3.3.2. Tratamento dos Perfis                                 | 43 |
| 3.4. Medições diretas de pressão de poros                    | 47 |
| 3.5. Seleção de poços para a modelagem 3D                    | 49 |
| 3.6. Escolha de poços para validação do modelo               | 52 |
| 4 Análise de pressão de poros                                | 55 |
| 4.1. Análise de gradiente de pressão de poros unidimensional | 55 |
| 4.1.1. Gradiente de Sobrecarga                               | 56 |
| 4.1.2. Curva Virgem de Bowers                                | 58 |
| 4.1.3. Gradiente de Pressão de Poros (GPP)                   | 59 |
| 4.1.4. Calibração  | 62 |
| 4.2. Análise de gradiente de pressão de poros 3D             | 66 |
| 4.2.1. Geração do Cubo de Dados                              | 67 |
| 4.2.2. Cálculo do Gradiente de Sobrecarga 3D                 | 68 |
| 4.2.3. Geração da Curva Virgem 3D                            | 69 |



|   |    |
|---|----|
| 4.2.4. Gradiente de Pressão de Poros 3D | 69 |
| 4.3. Validação dos resultados           | 76 |
| 5 Conclusões e Sugestões                | 78 |
| Referencias Bibliográficas              | 80 |

## Lista de figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.1. Ocorrências de sobrepressões no mundo (Fertl e Chilingarian, 1977).  | 18 |
| Figura 2.2. Cubo de Gradiente de Pressão de Poros estimada: (a) usando velocidade <i>stacking</i> , (b) usando velocidade tomográfica. Modificado de Sayers e Johnson (2000).  | 24 |
| Figura 2.3. Estimativa da pressão de poros usando inversão tomográfica no Golfo do México, modificado de Dutta, 2002 <i>appud</i> Lee <i>et al.</i> , 1999.  | 25 |
| Figura 2.4. Fluxo de trabalho para previsão de pressão de poros. Modificado de Lopez <i>et. al.</i> (2004).  | 25 |
| Figura 2.5. Fluxo de Trabalho para estimativa de pressão de poros (Cuvillier <i>et al.</i> , 2000).  | 28 |
| Figura 2.6. Exemplo de seção sísmica interpretada (acima), e a conseqüente previsão de pressão de poros (abaixo). Modificado de Huffman (2002).  | 29 |
| Figura 2.7. Utilização da modelagem de bacias na análise de migração de fluidos na Bacia de Congo (Modificado de Schneider <i>et al.</i> , 2000).  | 30 |
| Figura 2.8. Comparação de atributos de amplitude e Poisson no setor sudeste d'área em estudo (Alfhild <i>et al.</i> , 2002).   | 30 |
| Figura 2.9. Fluxo de trabalho para estimativa de pressão de poros com dados integrados. Modificado de Dutta e Khazanehdari (2006).   | 31 |
| Figura 2.10. Pressão de poros 3D usando velocidade sísmica de alta resolução. (Modificado de Dutta e Khazanehdari, 2006).  | 32 |
| Figura 2.11. (a) Modelo da sequência estratigráfica e estrutural da área de estudo, incluindo os poços disponíveis, (b) Seção do modelo de velocidade (ft/s) de alta resolução com dados sísmicos e de poços. Modificado de Bachrach <i>et al.</i> (2007). | 33 |
| Figura 2.12. Estimativa da pressão de poros (a) velocidade sônico <i>upscaled</i> e velocidade normal, (b) pressão de poros 1D e (c) pressão de poros (psi) 3D. Bachrach <i>et al.</i> (2007).   | 34 |
| Figura 3.1. Seção geológica esquemática da bacia SLM.  | 36 |
| Figura 3.3. Perfis de Litologia de alguns poços no campo SLM. (Extraído para visualização do software Petrel)  | 38 |
| Figura 3.4. Trajetórias dos 24 poços a partir da mesa rotativa (topo) e variação   |    |

|  |    |
|--|----|
| da LDA de 900m até 2000m. (Extraído para visualização do software Petrel).   | 40 |
| Figura 3.5. Localização dos 24 poços com dados disponíveis para estimativa de pressão de poros.  | 41 |
| Figura 3.6. Suavização dos perfis GR (esquerda) e DT (direita) do poço SLM 2DP.  | 43 |
| Figura 3.7. Comparação dos perfis para descartar trechos com possíveis leituras erradas.   | 44 |
| Figura 3.8. Discriminação da litologia de rochas argilosas com perfil GR para os poços (a) SLM 1DA, (b) SLM 02DP, (c) SLM 16D e (d) SLM 23.                                      | 45 |
| Figura 3.9. Criando o perfil indicador de porosidade (a) perfil GR com a LBF, (b) perfil sônico com os pontos marcados de rochas argilosas e (c) sônico discriminando suavizado. | 46 |
| Figura 3.10. Estimativa do perfil densidade ao longo da trajetória do poço, (a) perfil densidade original, (b) perfil sintético e (c) Perfil densidade composto.                 | 47 |
| Figura 3.11. Medidas de pressões de poros com TFC no campo SLM.  | 48 |
| Figura 3.12. Poços selecionados para trabalhar na modelagem 3D do campo SLM.   | 51 |
| Figura 3.13. Histograma da população (rosa) e do modelo (azul) da (a) densidade e (b) sônico, para a análise do poço SLM 19D.  | 53 |
| Figura 3.14. Histograma da população (rosa) e do modelo (azul) da (a) densidade e (b) sônico, para a análise do poço SLM 4.  | 53 |
| Figura 4.2. Gradiente de Sobrecarga (GS) nos Poços SLM 1DA, SLM 5, SLM 41 e SLM 44 de esquerda à direita.  | 57 |
| Figura 4.3. Curva Virgem inicial com A e B de 14,2 e 0,724 respectivamente.  | 59 |
| Figura 4.4. Estimativa de GPP pelo método de Eaton, (a) usando a curva virgem (vermelho) como curva de compactação normal e, (b) usando o TCN (azul).                            | 61 |
| Figura 4.5. Calibração do poço SLM 27D (a) antes da calibração (A=14,2) e (b) após a calibração (A=16,8).  | 62 |
| Figura 4.6. Gradiente de pressão de poros pelos métodos de Eaton e Bowers para os poços (a) SLM 4 e (b) SLM 19D.   | 63 |
| Figura 4.7. Curva Virgem após a calibração para o campo SLM (A=16,35; B=0,724 e $Dt_{mi}=189\mu s/ft$ ).   | 65 |
| Figura 4.8. Curva virgem: análise de dispersão de dados da curva virgem (a)  |    |

|   |    |
|---|----|
| considerando todos os poços, coeficiente de correlação de 0,15 e, (b) coeficiente de correlação 0,65 sem os poços SLM 8DA e SLM 18.                   | 66 |
| Figura 4.9. Fluxo de trabalho para a modelagem 3D de GPP para os métodos Eaton e Bowers.  | 67 |
| Figura 4.10. Cubos de dados gerados a partir de 14 poços (a) Densidade e, (b) Sônico de rochas argilosas.   | 68 |
| Figura 4.11. Cubo de Gradiente de Sobrecarga 3D.  | 68 |
| Figura 4.12. Curva virgem 3D usando $A=16,35$ , $B=0,724$ e $Dt_{ml}=189\mu s/ft$ .   | 69 |
| Figura 4.13. Cubo de GPP pelo método de Eaton   | 70 |
| Figura 4.14. Cubo de GPP pelo método de Eaton. (a) subpressões e (b) sobrepressões.   | 71 |
| Figura 4.15. GPP pelo método de Bowers  | 72 |
| Figura 4.16. Cubo de GPP pelo método de Bowers. (a) subpressões e, (b) sobrepressões.   | 72 |
| Figura 4.17. GPP na profundidade de 2740m (a) Eaton e, (b) Bowers.  | 73 |
| Figura 4.18. Corte na profundidade de 2740m dos modelos de sônico de rochas argilosas (esquerda) e do registro sônico normal (curva virgem, direita). | 74 |
| Figura 4.19. Sobrepressões no campo SLM pelos métodos de Eaton (esquerda) e Bowers (direita).   | 75 |
| Figura 4.20. GPP dos poços de validação SLM 4 e SLM 19D pelo método de: (a) Eaton e, (b) Bowers.  | 77 |

## Lista de tabelas

Tabela 1. Seção geológica esquemática da bacia SLM. 37

Tabela 2. Lista dos 24 poços analisados com respectivos registros de perfis e medições diretas de PP.40

Tabela 3. Lista do Expoente X (Eaton) e parâmetros A, B e  $Dt_{ml}$  (Bowers) dos 14 poços. 63

Tabela 4. Erros pelos métodos de Eaton e Bowers para os poços SLM 4 e SLM 19D. 64

Tabela 5. Erros pelos métodos de Eaton e Bowers 3D para os poços SLM 4 e SLM 19D 76