

## Simulação do perfil sônico para poços do campo de Namorado utilizando lógica fuzzy

Marcos Vinícius Carvalho Leite, Abel González Carrasquilla, Jadir da Silva Conceição, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Universidade Federal do Rio de Janeiro

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

Nowadays the offshore industry depends on deepwater exploration that represents costs around thousand million dollars. New techniques of optimization are very welcome to save time and money for petroleum companies.

In this work we will show a new technique using fuzzy systems with real data from an offshore Brazilian field, called Namorado field.

Using this new technique we may simulate the sonic log in wells where we don't have these data. For this purpose we need other types of log data, like resistivity, gamma ray and sonic log from neighborhood wells.

### Resumo

Atualmente a indústria *offshore* depende da exploração de petróleo em águas profundas, o que representa custos da ordem de bilhões de dólares. Novas técnicas de otimização desta atividade são fundamentais para economizar divisas para as companhias de petróleo.

Neste trabalho será discutida uma nova técnica de simulação de perfil sônico utilizando conceitos de lógica *fuzzy* e dados de perfis de poços do campo de Namorado.

A partir da utilização da nova técnica pode-se simular o perfil sônico para poços onde não se tem tal perfil, desde que se tenham disponíveis outros perfis como os de resistividade e raios gama e se tenham dados de perfil sônico em poços de correlação.

### Introdução

Na atividade de perfuração, durante as fases de projeto e execução, o perfil sônico é uma informação fundamental para a tomada de decisões. Dentre os critérios para a escolha de brocas e parâmetros de perfuração como peso sobre broca (PSB) e rotação da coluna está a análise mecânica das litologias a serem atravessadas, propriedades estas calculadas a partir do perfil sônico.

Infelizmente o perfil sônico não está disponível em todos os poços de correlação escolhidos para se projetar o programa de perfuração, sendo necessário, em muitos casos, realizar tais projetos sem esta valiosa informação. Objetivando minimizar esta limitação, desenvolveu-se uma técnica computacional capaz de simular o perfil

sônico utilizando outros perfis como os de resistividade e de raios gama.

A técnica consiste em analisar as propriedades das rochas dos poços de correlação com o perfil sônico e os demais perfis disponíveis, estabelecendo padrões de comportamento entre perfil sônico, demais perfis e litologia. Possibilitando a simulação do perfil sônico em poços da área analisada que não apresentem tal perfil. Será mostrado, neste trabalho, a aplicação desta técnica em poços do campo de Namorado, na bacia de Campos.

### O Perfil Sônico

O perfil sônico tem grande utilidade na exploração e produção de petróleo na medida em que, a partir deste perfil é possível o cálculo da porosidade das rochas e sua compressibilidade, além de auxiliar na análise e interpretação de dados sísmicos.

A ferramenta sônica mede o tempo de trânsito das ondas sonoras emitidas por ela e que atravessam as formações rochosas, sendo medidas por um par de receptores da ferramenta (Figura 2). O tempo de trânsito é medido usualmente em microsegundos por pé.

A onda sonora gerada pelo transmissor da ferramenta origina vários tipos de ondas ao passar pela formação, cada uma delas com uma velocidade característica (Tittman, J., 1986). A onda mais veloz, a primeira a chegar aos receptores da ferramenta, é a compressional onde o movimento das partículas é paralelo à direção de propagação da onda. A segunda a chegar ao receptor é a onda de cisalhante, onde o movimento das partículas é perpendicular à direção de propagação da onda. As ondas que se seguem a estas principais são ruídos (pseudo-Rayleigh e Stoneley, como mostrado na Figura 1).

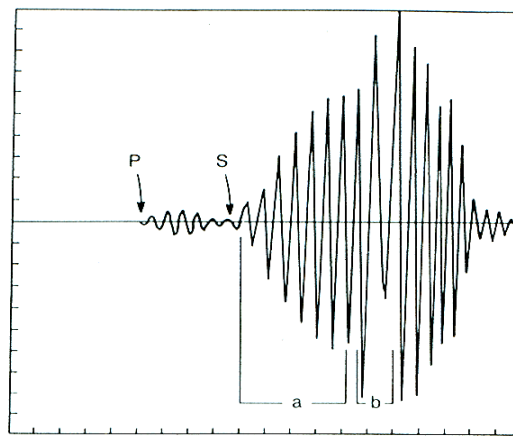


Figura 1 – Ordem de chegada das ondas sonoras à ferramenta de perfuração (Tittman, J., 1986).

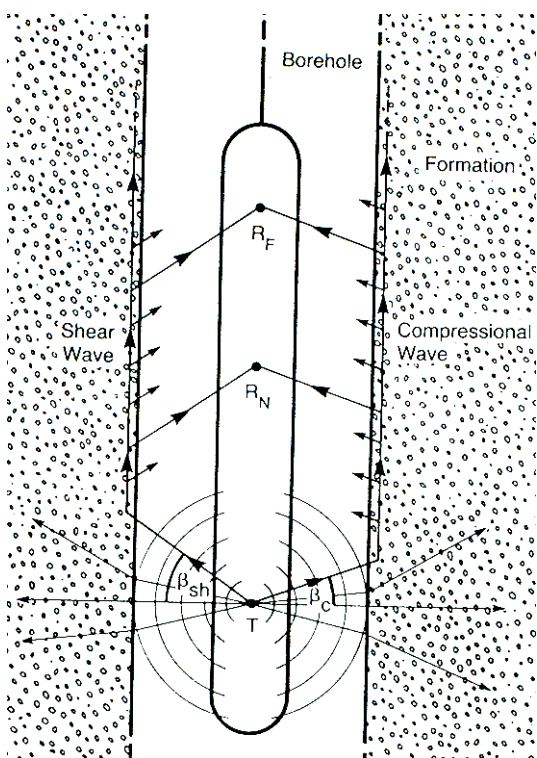


Figura 2 – Esquema do princípio de funcionamento de uma ferramenta de perfilagem sônica (Tittman, J., 1986).

As Equações 1 e 2 relacionam as velocidades das ondas compressional e cisalhante, respectivamente, com propriedades da rocha como o módulo bulk B, a densidade bulk  $\rho_b$  e o módulo de Poisson  $\mu$ .

$$v_c = \sqrt{\frac{B + 4(\mu/3)}{\rho_b}} \quad (1)$$

$$v_{sh} = \sqrt{\frac{\mu}{\rho_b}} \quad (2)$$

### A Lógica Fuzzy

A Lógica Fuzzy ou Lógica Difusa é um conjunto de métodos baseados no conceito de conjuntos difusos (fuzzy set) e operações difusas, que possibilitam o modelamento realista e flexível de sistemas.

A Teoria de Conjuntos Fuzzy foi introduzida por L.A. Zadeh com o objetivo de fornecer um ferramental matemático para o tratamento de informações de caráter impreciso ou vago. A Lógica Fuzzy, baseada nessa teoria, foi inicialmente construída a partir dos conceitos já estabelecidos de lógica clássica; operadores foram definidos à semelhança dos tradicionalmente utilizados e outros foram introduzidos ao longo do tempo, muitas vezes por necessidades de caráter eminentemente prático (Souza, F.J., 1999).

O aspecto mais notável dessa metodologia é a possibilidade de se capturar, em um modelo matemático,

conceitos intuitivos como graus de satisfação, conforto, adequação (Aguiar e Oliveira, H. J., 1999).

A lógica fuzzy permite a seu usuário separar um determinado volume de informações em conjuntos com características semelhantes, tendo cada um dos elementos destes conjuntos uma possibilidade de pertencer ao mesmo (Fuller, R.,1995). Pode-se compreender melhor a utilização da lógica fuzzy para petrofísica através do exemplo a seguir. Perfis de resistividade e raios gama foram divididos em dois conjuntos: A (conjunto de valores de resistividade e gama de arenito com óleo) e B (resistividade e gama do arenito com água). Porém, tem-se um problema: os dados de perfil da zona de transição do contato óleo-água pertencem ao conjunto A ou B? Para auxiliar na resolução deste tipo de problema a lógica fuzzy permite que se trabalhe com conceitos lingüísticos como mais, menos e mais ou menos, permitindo que a máquina processe os dados como se um intérprete humano analisasse as chances dos dados pertencerem a um ou outro conjunto, sendo possível ainda, através de técnicas de otimização, a criação, pelo próprio programa, de um terceiro conjunto C (zona de transição do contato óleo água).

É importante notar que através da lógica fuzzy, uma vez reconhecidos os padrões, um determinado elemento pode ou não ser englobado em um determinado conjunto.

### Metodologia

A fim de simular o perfil sônico foram seguidas as seguintes etapas:

1. Escolha dos poços do campo de Namorado que contêm os principais perfis de resistividade, raios gama e sônico: NA1, NA3, NA4, NA5, NA7, NA8, NA11, NA13, RJS-19, RJS-42, RJS-234 (Figura 3)

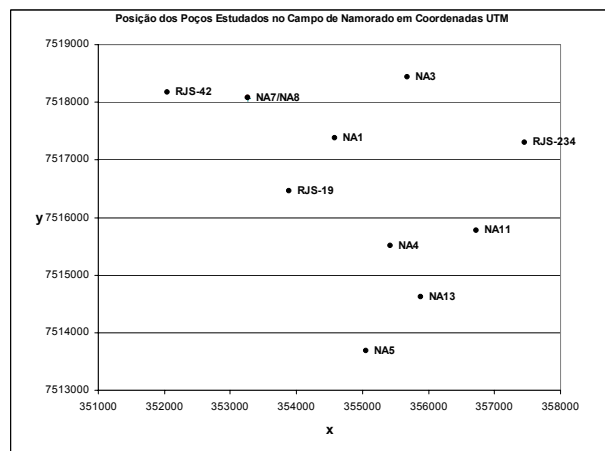


Figura 3 - Poços estudados no campo de Namorado em coordenadas UTM.

2. Com a finalidade de identificar os principais conjuntos fuzzy que correlacionam as propriedades de resistividade e raios gama ao perfil sônico foram analisados os seguintes poço: NA1, NA3, NA5, NA11, NA13, RJS-19, RJS-42, RJS-234.

Observou-se tendência linear entre o perfil sônico x resistividade e sônico x raios gama. (Figuras 4 e 5).

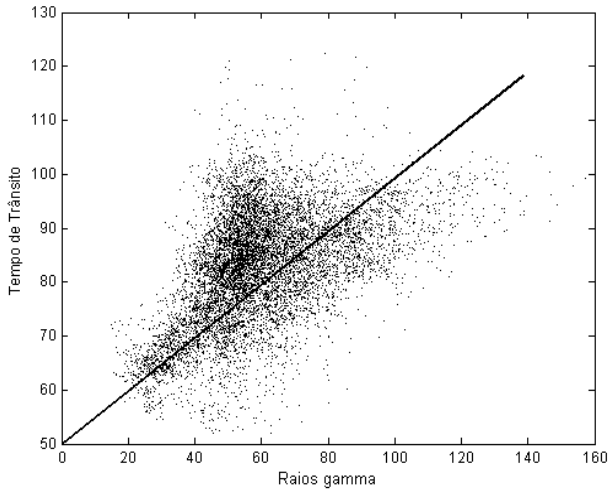


Figura 4 - Perfis sônicos(μs/ft) x Perfil de raios gama (MeV)

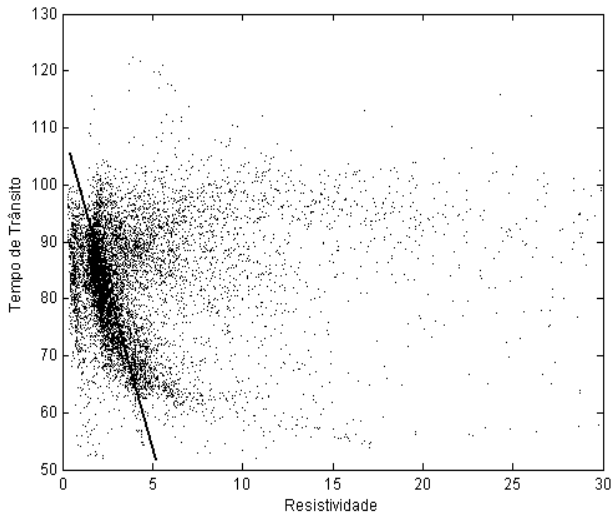


Figura 5 - Perfis sônicos(μs/ft) x Perfil de resistividade (Ω x m)

Desta maneira é possível correlacionar linearmente o perfil sônico (DT) com os perfis de resistividade ( $R_t$ ) e raios gama (GR), onde a, b e c são constantes determinadas através da regra fuzzy.

$$DT = a GR + b R_t + c \quad (3)$$

3. Após identificar as correspondências entre os perfis de resistividade, gama e sônico foram utilizados os seguintes poços de validação: Na4, Na7, Na8.
4. Os perfis de resistividade e raios gama dos poços de validação são agrupados em conjuntos de acordo com suas características, as constantes a, b e c são determinadas para cada um destes conjuntos.
5. O perfil sônico pode ser simulado.
6. Compararam-se os perfis sônicos simulados com os perfis sônicos reais em cada poço listado na etapa 3, validando a técnica.

### Resultados

Os perfis sônicos simulados apresentaram um erro relativo máximo em relação aos perfis reais da ordem de 10 %, um erro aceitável para fim de cálculo de compressibilidade das rochas atravessadas pelos poços. Os erros maiores de 10% se devem a erros de aferição da ferramenta e problemas de poço como cáliper maior que o desejado, por exemplo.

A seguir pode-se visualizar os resultados dos poços de validação, onde a linha contínua representa o perfil sônico real e os pontos o perfil simulado:

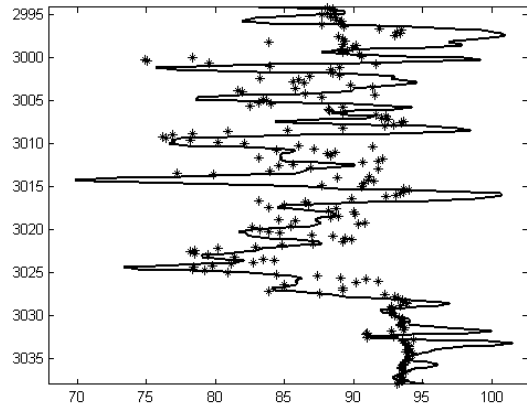


Figura 6 – Profundidade (m) x Tempo de transito (μs/pé) no poço NA4.

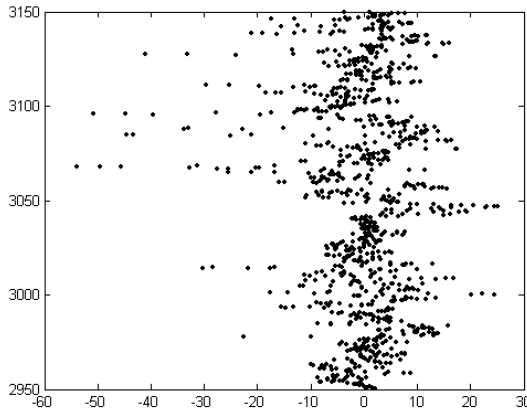


Figura 7 - Profundidade (m) x Erro% no poço NA4.

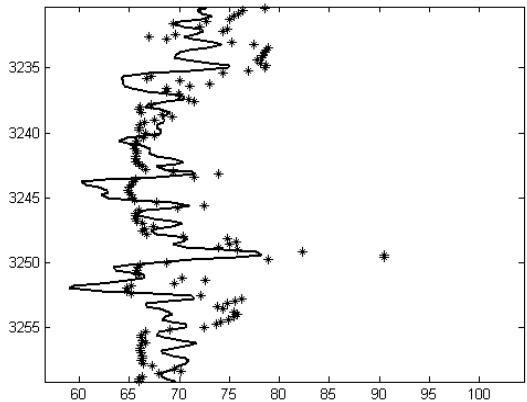


Figura 8 - Profundidade (m) x Tempo de transito (μs/pé) no poço NA7.

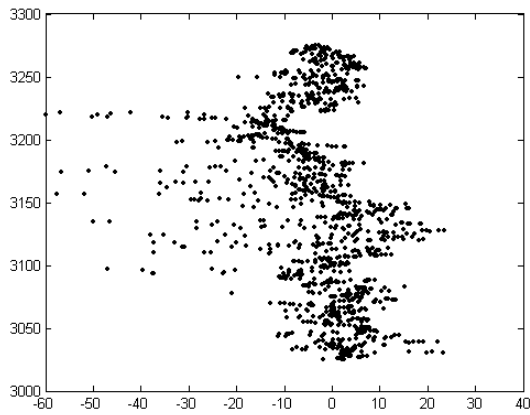


Figura 9 - Profundidade (m) x Erro% no poço NA7

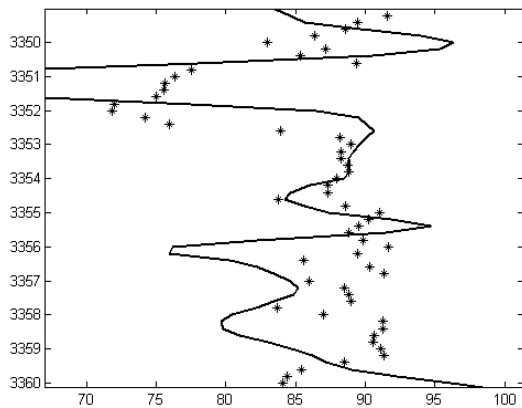


Figura 10 - Profundidade (m) x Tempo de transit ( $\mu\text{s}/\text{pé}$ ) no poço NA8.

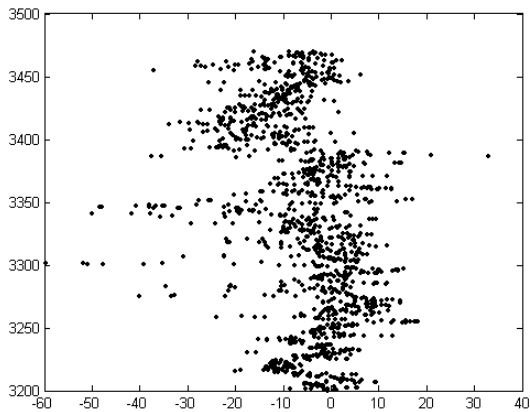


Figura 11 - Profundidade (m) x Erro% no poço NA8

## Conclusão

Através do presente trabalho pôde-se validar e demonstrar a viabilidade da técnica de simulação de perfis sônicos utilizando Lógica Fuzzy.

Os seguintes pontos devem ser ressaltados:

1. A criação de uma técnica de pronta utilização na indústria petrolífera, em especial pela perfuração.
2. A nova técnica enriquece os estudos de mecânica de rochas a realizar-se nas fases de projeto e execução de perfuração de poços.
3. Minimiza as limitações impostas pela ausência do perfil sônico em poços de correlação para que se calcule a compressibilidade de rocha dos trechos perfurados.
4. A simulação do perfil sônico tem maior aplicabilidade em poços de desenvolvimento na medida em que já se têm os dados de perfis necessários à simulação nos poços exploratórios do campo. Até mesmo em poços exploratórios, em que a sísmica indica boa correlação, a técnica pode ser empregada com bons resultados.
5. A economia gerada pela simulação dos perfis sônicos deve ser levada em consideração, na medida em que se reduz a necessidade de uso do perfil sônico em poços de desenvolvimento, sendo necessários, no entanto, os perfis de resistividade e raio gama.
6. É importante lembrar que a técnica de simulação do perfil sônico depende dos dados existentes em cada campo, ou seja, os estudos devem ser realizados campo a campo.

## Agradecimentos

À ANP por liberar os dados do campo de Namorado ao meio científico nacional para estudos e ao CNPQ pela bolsa de produtividade em pesquisa de um dos autores (Abel González Carrasquilla).

## Referências

### Aguiar e Oliveira, H. J.

1999, Lógica Difusa: aspectos práticos e aplicações: Interciência Ltda, p 1 - 188

### Fullér, R.

1995, Neural Fuzzy Systems, Turku Center for Computer Science, p. 1 - 251

### Souza, F.J.

1999, Modelos Neuro-Fuzzy Hierárquicos: Tese apresentada ao departamento de Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

### Tittman, J.

1986, Geophysical Well Logging, Excerpted from Methods of Experimental Physics: Geophysics, vol. 24 p 1 - 175