



Filtragem Fuzzy, por Parâmetros Diferenciais, Aplicada a Dados de Perfis de Poço

Carlos E. Guerra, UFPA/CPGF, Santarém/Belém, Brasil
Ivnon J. Farias Lima, UFPA/CPGF, Belém, Brasil

Copyright 2009, SBGF - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, August 24-28, 2009.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 11th International Congress of the Brazilian Geophysical Society 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

We can characterize the signal processing as a set of techniques used to extract information from a signal. A signal can be described mathematically as a function of several variables (parameters), for example, time, distance, resistivity, radiance, among and so forth. The signal acquisition is usually made by one or more devices electric / electronic (analog and / or digital), as examples, a temperature sensor, a digital camera, a probe for resistivity, and so forth. From this point, the type of processing to be applied will depend on the nature of the signal and its information. During the acquisition process, the recorded signal may contain, in addition to the information desired, also a number of spurious information (no connection or interest) called noise. The presence of noise in the signals can impair the process of extracting the desired information, leading to ambiguous results and no link. Thus the goal of this work is to show a non-linear technique for noise removal (fuzzy logic and sets) and apply it to well logs.

Resumo

Podemos caracterizar o processamento de sinais como um conjunto de técnicas utilizadas para extrair informações de um sinal qualquer. Um sinal pode ser caracterizado matematicamente como sendo uma função de várias variáveis (parâmetros), como exemplo, tempo, distância, resistividade, radiancia, dentre outros. A aquisição de um sinal é normalmente feita por um ou mais dispositivos eletro/eletrônicos (analógicos e/ou digitais), como exemplos, um sensor de temperatura, uma câmera digital, uma sonda de resistividade, dentre outros. A partir deste ponto, o tipo de processamento a ser aplicado dependerá da natureza do sinal e da sua informação. Durante o processo de aquisição, o sinal registrado poderá conter, além da informação desejada, também uma quantidade de informação espúria (sem nexos ou interesse) denominada por ruído. A presença de ruídos nos sinais pode prejudicar os processos de extração de informação desejada, levando a resultados ambíguos e sem nexos. Assim o objetivo deste trabalho é mostrar uma técnica não linear para a extração de ruídos em perfis de poços utilizando a lógica FUZZY.

Introdução

O Processamento de Sinais consiste na análise e/ou modificação de sinais de forma a extrair informações dos mesmos e/ou torná-los mais apropriados para alguma aplicação específica. Este processamento pode ser feito de forma analógica ou digital. As técnicas de processamento de sinais podem ser de muita utilidade no controle e análise de sistemas físicos de interesse das mais diversas áreas, engenharia, economia, biologia, geociência, saúde, etc. A filtragem é uma das aplicações típicas do processamento de sinais, neste contexto, entende-se por filtragem a remoção de ruído visando melhorias na interpretação e utilização dos dados. Neste trabalho, abordaremos o processo de filtragem digital baseada na lógica fuzzy aplicada em dados sintéticos e reais de perfis de poço. Perfil de Poço é a forma de apresentação das variações das propriedades físicas mensuradas ao longo da profundidade de um poço. Originalmente, as medidas eram tomadas na forma analógica e o perfil apresentado na forma gráfica, diretamente no papel. Atualmente, as medidas são registradas na forma digital e armazenadas na forma de arquivos do tipo ASCII, como normatizado pela API (American Petroleum Institute). Estas medidas vem acrescidas por níveis de ruídos, devido à calibração das sondas, problemas mecânicos, speckle, interferências, dentre outros.

Para minimizar os efeitos dos ruídos nos perfis, existem algumas técnicas básicas, baseadas na análise Fourier e procedimentos de inversão, que conseguem obter alguns resultados (GUERRA, C. E., 1994). Entretanto, limitações de ordem tecnológicas (obtenção das funções respostas das ferramentas) e problemas numéricos (obtenção e uso das funções de transferências para os filtros, erros computacionais, estimativas da razão sinal-ruído,...) constituem problemas que nem sempre podem ser contornados satisfatoriamente. Desta forma, os algoritmos cognitivos, dentre os quais se encaixam os sistemas FUZZY, oferecem novas alternativas para o tratamento de dados que envolvam incertezas (Miranda, 1998; Russo & Ramponi, 1996) e ambigüidades (os perfis de poços, por exemplo) .

Os sistemas FUZZY baseiam-se em operações que envolve conjuntos e lógica nebulosa (Aguiar & Oliveira, 1999). A lógica fuzzy, por exemplo, difere da lógica clássica, no que se refere ao mapeamento dos valores "verdade" e "falso". Na teoria clássica do conjuntos, se um elemento pertence a um conjunto ou não, i. é, o fator de pertinência pode assumir somente valores 0 ou 1. O valor 0 indica uma completa exclusão e um valor 1 representa uma completa pertinência. Logo, dado um

universo U e um elemento particular $x \notin U$, a função de pertinência $\mu_A(x)$ com respeito a um conjunto $A \subseteq U$, é dada por (Barron, 1993):

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{se } x \in A \\ 0 & \text{se } x \notin A \end{cases} \quad (1)$$

Por outro lado, um conjunto fuzzy A , definido no universo de discurso X é caracterizado por uma função de pertinência μ_A , a qual mapeia os elementos de X para o intervalo $[0,1]$:

$$\mu_A(x) \rightarrow [0, 1] \quad (2)$$

Desta forma, a função de pertinência associa a cada elemento x pertencente a X um número real $\mu_A(x)$ no intervalo $[0,1]$, que representa o grau de pertinência do elemento x ao conjunto A , isto é, o quanto é possível para o elemento x pertencer ao conjunto A :

$$\begin{aligned} \mu_A(x) = X \rightarrow [0, 1], \mu_A(x) = 0 \\ 0 < \mu_A(x) < 1 \\ \mu_A(x) = 1 \end{aligned} \quad (3)$$

$$A = \{(x, \mu_A(x)) / x \in X\}$$

Finalmente, a lógica fuzzy busca uma generalização da lógica clássica, flexibilizando-a para assumir valores no intervalo $[0,1]$.

Metodologia

Os sistemas fuzzy's foram projetados para trabalharem com dados que carregam um certo grau de incertezas, imprecisões e/ou ambiguidades. Como exemplo, podemos citar as incertezas relacionadas as medidas de porosidade nos perfis de densidade (Gabriel et al, 2005). A presença de ruídos nas medidas de perfilagem aumenta ainda mais estas incertezas. Diante destas características citadas anteriormente, foi desenvolvido um algoritmo fuzzy, para a remoção dos ruídos presentes em perfis de poços, obedecendo aos seguintes passos:

1-Seleção de variáveis: foram selecionadas as variáveis de entrada (diferenciais de propriedades petrofísicas do perfí) e uma variável de saída (fator pontual de correção). Na **Figura 1** temos o gráfico das funções de pertinências associadas ao parâmetro diferencial à esquerda.

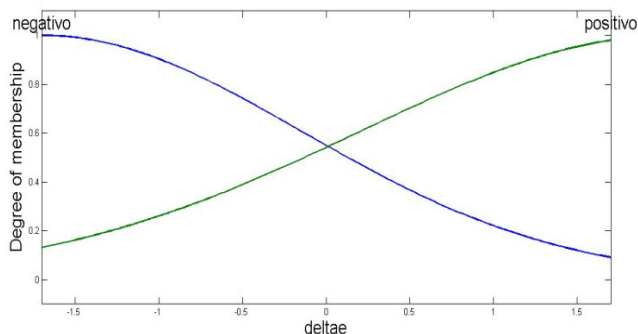


Figura 1: Funções de pertinências associadas ao parâmetro diferencial à esquerda.

2-Inicialização do filtro fuzzy: é o processo de Fuzzificação, etapa na qual as variáveis lingüísticas da logica fuzzy são definidas de forma subjetiva, bem como as funções membro (funções de pertinência); engloba também, análise do problema, definição das variáveis, definição das funções de pertinência e criação das regiões. Na definição das funções de pertinência para as variáveis, foi utilizada a Função “Sino Generalizada (Ortega, 2001; Gomide et al, 1994) ”cujo modelo matemático é dado por:

$$f(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}}, a, b > 0 \quad (4)$$

Onde os parâmetros definem a forma e a posição da curva. A seguir aplica-se a Inferência Fuzzy, neste caso o tipo Mamdani (**Figura 2**). E finalmente a Defuzzificação, etapa na qual as regiões resultantes são convertidas em valores para a variável de saída do sistema. Neste modelo utilizamos a técnica de defuzzificação por centróide.

3-Filtragem Fuzzy: é o processo que implementa o fator de correção no perfil, extraindo ou atenuando o ruído dos sinais, melhorando assim, a qualidade e interpretação dos dados. O fator de correção pode ser aditivo ou subtrativo dependendo do efeito do ruído no sinal.

4- Calculo dos novos parâmetros de entrada do filtro para uma nova iteração: Nesta etapa o perfil filtrado é avaliado quanto aos níveis de correção aplicados. Este procedimento é necessário para a re-calibração do sistema FUZZY e a execução de uma nova iteração.

O funcionamento deste filtro é extremamente simples e baseia-se na suposição de que os ruídos podem ser aditivos (aumenta o nível do sinal) ou subtrativos (diminui o nível do sinal), desta forma, os ruídos são encarados como descontinuidades no sinal. Os parâmetros diferenciais de entrada funcionam como um “detector” para estas descontinuidades, e também como um estimador do nível de ruído.

Em cada ponto do perfil, calculamos um diferencial à esquerda e outro à direita. A continuidade do sinal é então avaliada testando-se os sinais dos diferenciais, através das regras de inferências. Diferenciais com sinais opostos indicam continuidade do perfil, enquanto que diferenciais com mesmo sinal indicam um salto no ponto considerado. Como resultado do processo de defuzzyficação gera-se um fator de correção de forma a eliminar ou atenuar este salto.

O algoritmo deste filtro permite o estabelecimento do nível de filtragem, através do número de iterações. Uma vez que não é possível separar, a priori, o sinal do ruído, deve-se ter o cuidado ao se implementar níveis altos de filtragem, uma vez que existe a possibilidade de perda de informação.

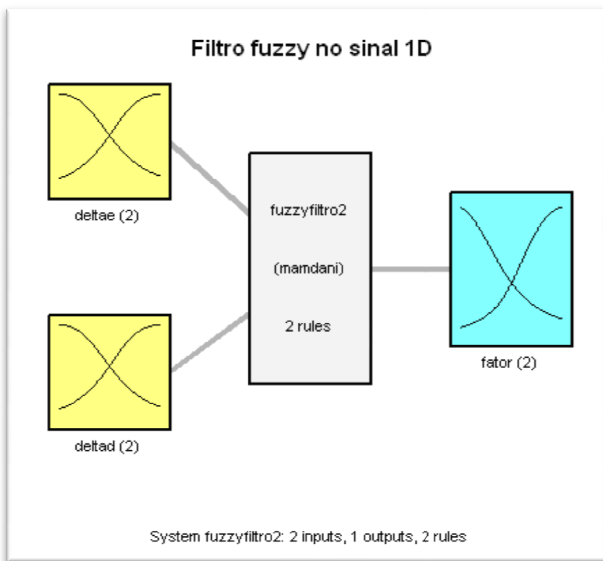


Figura 2: Sistema Fuzzy para filtragem de ruídos. Observa-se em amarelo os parâmetros diferenciais de entrada. No centro, o tipo de inferência utilizada, e na saída em azul, o parâmetro de correção

Análise dos Resultados

O processo de filtragem foi aplicado em perfis sintéticos e reais, de forma a obter a extração de ruídos presentes nestes sinais.

Para os dados sintéticos, foram gerados perfis de Indução baseado no fator geométrico g de DOLL (Doll, 1949; Serra, 1984; Ellis, 1987), simulando uma ferramenta com duas bobinas, com afastamento L igual, taxa de amostragem de $0.2m$ e profundidade inicial z_i igual a $100m$. Como modelo de distribuição de condutividades, adotou-se uma função contínua por partes, onde o domínio representa as profundidades e os intervalos imagens representam as camadas com os respectivos valores de condutividades. A seguir, o perfil de condutividades resultante foi contaminado por um ruído gaussiano (**Figura 3**).

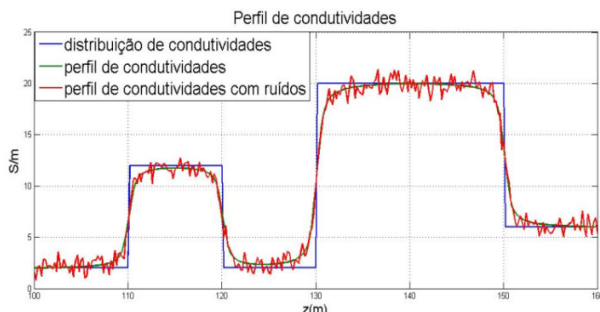


Figura 3: Perfil de condutividade sintético, sem ruído (verde), com ruído (vermelho) e a distribuição de condutividades (em azul).

Na **Figura 4** temos um exemplo de aplicação do filtro fuzzy no perfil de condutividade sintético considerado. No exemplo mostrado, foram utilizadas duas iterações fuzzy. Para efeito de comparação foi aplicado-se também um filtro de mediana clássica com três pontos. Podemos observar uma significativa redução dos níveis de ruído após a aplicação do filtro fuzzy. Uma vez que cada iteração significa um procedimento de filtragem, aumentando-se o número de iterações temos um aumento do nível de filtragem. Entretanto, níveis altos de filtragem podem ocasionar perda de sinal.

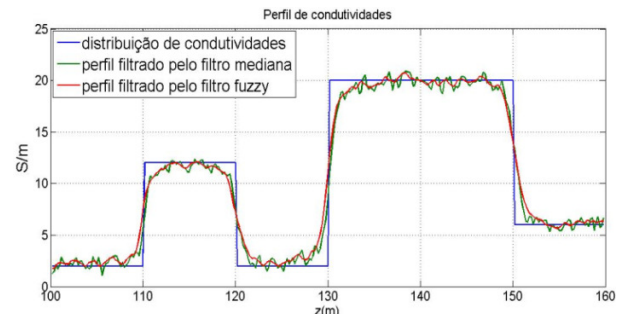


Figura 4: Perfil filtrado com o filtro de mediana (verde), filtrado com filtro FUZZY (vermelho) e a distribuição de condutividades (em azul).

Na **Figura 5** destacamos um trecho do perfil filtrado para comparar o desempenho do filtro fuzzy com relação ao filtro de mediana (Loupas & Allan, 1999). Podemos observar que o filtro fuzzy com duas iterações foi muito mais efetivo no que diz respeito às atenuações das oscilações provocadas pelos ruídos. O filtro de mediana com dois pontos não foi capaz de remover estas oscilações.

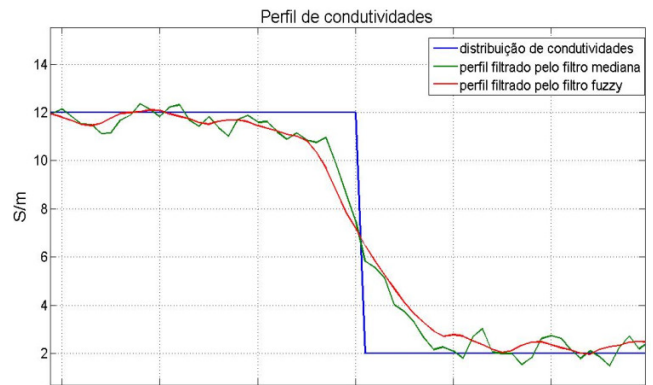


Figura 5: Detalhes do Perfil filtrado com o filtro de mediana (verde), filtrado com filtro FUZZY (vermelho) e a distribuição de condutividades (em azul).

Para os dados reais, foram utilizados perfis de poços cedidos pela Petrobrás (Campo Namorado) junto com trechos de perfis litológicos. Para a aplicação da metodologia foram considerados perfis de raios gama (GR) e perfis de resistividade profunda do tipo indução (ILD).

Na **Figura 6** observa-se um trecho perfil GR (à direita em azul) com o perfil litológico no intervalo considerado. O trecho situado entre as profundidades de 3016m e 3024m está associado a um único folhelho. Entretanto, o perfil GR neste intervalo apresenta uma oscilação que não pode ser atribuída às mudanças de litologias. Isto pode significar presença de ruídos.

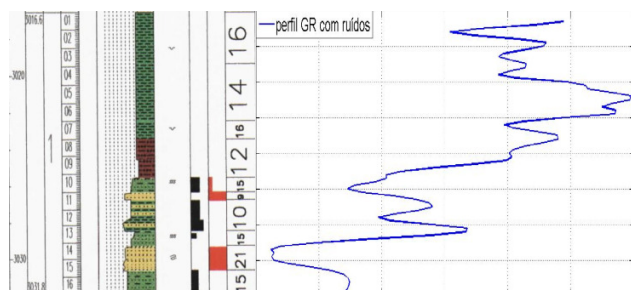


Figura 6: Perfil de raios gama (GR) com ruído (azul). À esquerda do perfil temos o perfil de litologias correspondente.

Para entender como o filtro fuzzy atua no perfil sem danificar a informação litológica basta observar a **Figura 7**, que mostra o perfil GR filtrado (verde) o GR ruído e o perfil dos fatores de correções (vermelho). Todos os perfis foram normalizados para caberem na mesma janela gráfica. A figura mostra que os maiores níveis de correção são aplicados nos trechos onde as oscilações (possivelmente ruídos) são maiores.

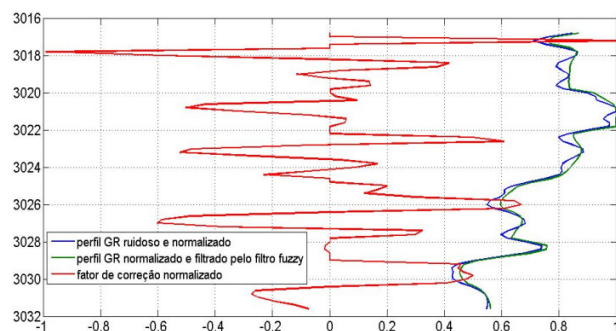


Figura 7: Perfil de raios gama normalizado (GR) com ruído (azul); perfil GR normalizado e filtrado com o filtro FUZZY (verde) e fatores de correção normalizados (vermelho).

Na **Figura 8** temos o resultado da aplicação do filtro fuzzy com duas iterações, juntamente com o obtido através de um filtro de mediana com 4 pontos. Pode-se observar claramente que o filtro fuzzy obteve melhores resultados, atenuando as oscilações observadas no perfil GR. A **Figura 9** mostra em detalhes a superioridade do filtro fuzzy com relação ao filtro de mediana. Em vermelho temos o perfil GR praticamente sem oscilações, enquanto que perfil GR, filtrado pela mediana, as oscilações ainda permanecem no sinal. A vantagem da utilização do filtro fuzzy fica evidente quando percebemos que os valores de correção dependem apenas de três pontos, i.é., o ponto considerado, o ponto anterior e o ponto posterior. Os valores de correção são obtidos pelo mapeamento dos diferenciais e não pelo cálculo do ponto mediana, como ocorre com o filtro de mediana. Isto evita

um possível deslocamento dos pontos do perfil (note na **Figura 9**, a curva em verde) quando há valores discrepantes no conjunto de pontos considerados para o cálculo da mediana.

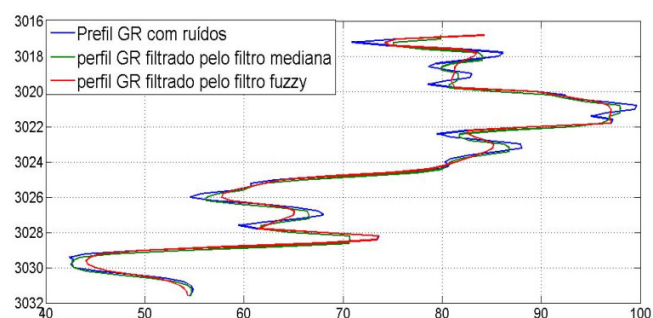


Figura 8: Perfil de raios gama (GR) com ruído (azul); perfil GR filtrado com o filtro mediana (verde) e o perfil GR filtrado com o filtro FUZZY (em vermelho).

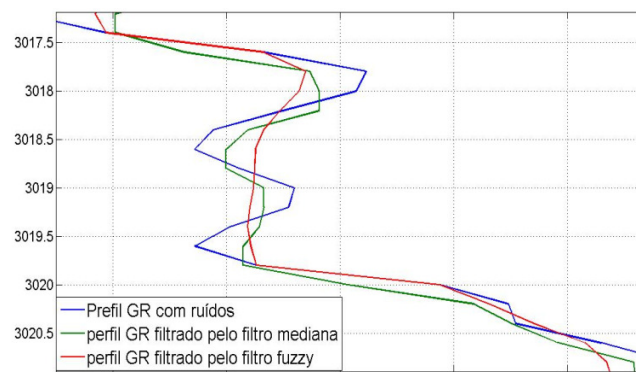


Figura 9: Detalhando um pequeno trecho do perfil, temos o GR com ruído (azul); perfil GR filtrado com o filtro mediana (verde) e o perfil GR filtrado com o filtro FUZZY (em vermelho).

Na **Figura 10** temos mais um exemplo de aplicação da metodologia em um perfil de indução (ILD), no mesmo poço e trecho de litologias considerado (**Figura 5**).

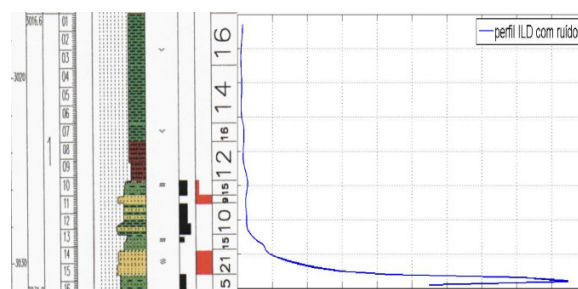


Figura 10: Perfil de indução ILD no trecho de litologias considerado. Observa-se o baixo nível de ruído para este perfil.

Nota-se que o perfil ILD (**Figura 11**) apresenta-se pouco ruído, e como resultado, o sistema fuzzy quase não modifica o perfil. Esta é talvez a grande vantagem de se usar as regras de inferências baseadas em parâmetros

diferenciais. O sistema fuzzy só produzirá fatores de correção significativos se houver saltos de descontinuidades.

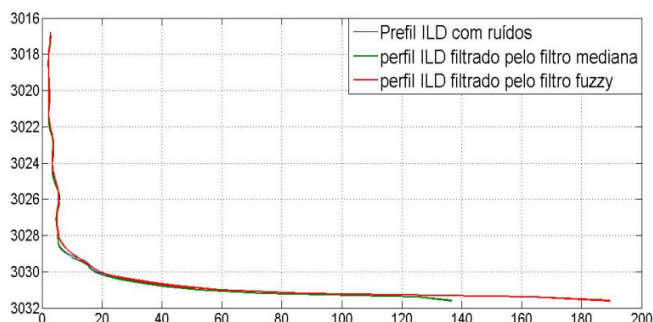


Figura 11: Perfil de indução ILD tratado pelos filtros de mediana e fuzzy, considerando o trecho de litologias. Observa-se o baixo nível de ruído para este perfil.

Conclusões

A metodologia funcionou satisfatoriamente bem quando aplicada em dados sintéticos e reais, produzindo uma atenuação significativa dos níveis de ruídos. Foram necessárias apenas duas iterações para se chegar a um bom resultado, o que mostra a convergência do algoritmo. Nota-se que tanto para os dados Sintéticos quanto para os Reais, a escolha do número de iterações do processo é fundamental no sentido de diminuir o nível de ruídos e manter a integridade do sinal, i é, a informação litológica. Outro ponto importante da metodologia é o fato de que o processo de filtragem não produz deslocamentos no perfil filtrado. Já a definição dos parâmetros diferenciais como entrada do sistema fuzzy e como objetos de inferência, foi importante no sentido de avaliar a continuidade do sinal-perfil e os níveis de ruído; evitando filtragens desnecessárias e perda de sinal. Em trabalhos futuros uma melhor definição dos parâmetros de entrada, de inferências, das funções de pertinências e de critérios para a escolha do número de iterações serão necessários para a simplificação e otimização do algoritmo de filtragem fuzzy, principalmente no que se refere aos dados reais.

Agradecimentos

Agradecemos a Universidade Federal do Pará, Ao Programa de Pós-Graduação em Geofísica, ao Laboratório de Sensoriamento Remoto (LASERS) e a Petrobrás pelo apoio e suporte dados para a realização deste trabalho

Referências Bibliográficas

- Aguiar, H., Oliveira, Jr.,** 1999. *Lógica Difusa – Aspectos Práticos e Aplicações*; Editora Interciência, 1a Edição.
- Barron, J. J.,** 1993, *A Lógica Fuzzy em Foco*, Byte No 06, pág. 94 – 100.
- Doll, H. G.,** 1949, *Introduction to Induction Logging and Application to Well Drilled with Oil Mud*: Journal of Petroleum Technology, vol. 1, no. 6, p. 148-162.
- Ellis, D.V.,** 1987, *Well Logging for Earth Scientists*. Amsterdam, Elsevier. 532p.
- Gabriel A. C. Lima; Alexandre C. Vidal; Saul B. Suslick,** Estimativa da incerteza na porosidade presente em dados de petrofísica e geofísica de poço. XXVI IBERIAN LATIN AMERICAN CONGRESS ON COMPUTATIONAL METHODS IN ENGINEERING, Guarapari, ES, Brazil, 2005.
- Guerra, C. E.,** "Deconvolução de Perfis de Poços Através do Ajuste de Energia", Belém, Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências. 80p. Tese (Mestrado em Geofísica), Curso de Pós-Graduação em Geofísica, Centro de Geociências, 1994.
- Gomide, F.A. Campos; Gudwin, Ricardo R.,** 1994, *Modelagem, Controle, Sistemas e Lógica Difusa*; SBA Controle & Automação/ vol.4.
- Loupas, T. W. McDicken, P. Allan.,** 1989, An adaptive weighted median filter for speckle suppression in medical ultrasonic images, *IEEE Trans. Circuits Syst.*
- Miranda, V.,** 1998, *Fundamentos de controle difuso (fuzzy control)*. Texto básico para a disciplina 'Controle Difuso e Redes Neurais, do curso de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, DEEC – Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores. Portugal.
- Ortega, N.R.S.** 2001, *Aplicação da Teoria de Conjuntos Fuzzy a Problemas da Biomedicina*. Tese (Doutorado em Física) - Instituto de Física da Universidade de São Paulo. São Paulo, 152 f.
- Russo, F., G. Ramponi.,** 1996, "A Fuzzy Filter for Images Corrupted By Impulse Noise", *IEEE Signal Processing Letters*, No. 6, pp. 168-170.
- Serra, O.,** 1984, *Fundamentals of Well-Log Interpretation*. Amsterdam, Elsevier. 432p.