



**Ernesto Marchioni Fleck**

**Agrupamento e Visualização de Dados Sísmicos Através  
de Quantização Vetorial**

**Tese de Doutorado**

Tese apresentada como requisito parcial para  
obtenção do título de Doutor pelo Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Elétrica da PUC-Rio.

Orientador: Carlos Eduardo Pedreira

Rio de Janeiro, novembro de 2004



**Ernesto Marchioni Fleck**

**Agrupamento e Visualização de Dados  
Sísmicos Através de Quantização Vetorial**

Tese de Doutorado apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Técnico Científico da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Dr. Carlos Eduardo Pedreira**  
**Orientador**

Departamento de Engenharia Elétrica - PUC-Rio

**Dr. Marcelo Gattass**  
Departamento de Informática –PUC-Rio

**Dr. Luiz Fernando Campos Ramos Martha**  
Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

**Dr. Ruy Luiz Milidiú**  
Departamento de Informática –PUC-Rio

**Dr. Luiz Pereira Calôba**  
UFRJ

**Dr. Paulo Marcos de Carvalho**  
PETROBRÁS

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

Rio de Janeiro, 23 de novembro de 2004

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

### **Ernesto Marchioni Fleck**

Ernesto Marchioni Fleck é engenheiro elétrico formado pela PUC-Rio e mestre em Tecnologia de Informação pela HEC de Montreal - Canadá. As áreas de interesse incluem sistemas inteligentes aplicados a classificações de padrões.

### Ficha Catalográfica

Fleck, Ernesto Marchioni

Agrupamento e visualização de dados sísmicos através de quantização vetorial / Ernesto Marchioni Fleck ; orientador: Carlos Eduardo Pedreira. – Rio de Janeiro : PUC-Rio, Departamento de Engenharia Elétrica, 2004.

70 f. : il. ; 30 cm

Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica

Inclui referências bibliográficas

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Dados sísmicos. 3. Agrupamento de dados. 4. Mediana. 5. Redes neurais. 6. Mapas sísmicos. 7. Quantização vetorial. 8. Distribuições assimétricas. I. Pedreira, Carlos Eduardo. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título.

CDD: 621.3

## **Agradecimentos**

Este trabalho contou com a equilibrada e eficaz supervisão do Professor Carlos Eduardo Pedreira, orientador desta tese de doutorado.

Durante o doutoramento, sempre me foi possível contar com a atenção dos professores e o apoio dos funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica, que mostraram competência e profissionalismo no convívio desta inesquecível experiência.

Meu reconhecimento aos professores, alunos e funcionários do Tecgraf/PUC-Rio. Especial referência se faz necessária ao Senhor Albino Tavares, Gerente Geral do Tecgraf/PUC-Rio e ao Professor Luiz Fernando Martha responsáveis pela minha introdução aos dados sísmicos.

Este trabalho contou com a colaboração inestimável da Petrobrás. O processo de aprendizado no decurso do doutorado foi ampliado com os ensinamentos dos vários profissionais desta empresa que me acolheram na busca do conhecimento da sísmica. O Consultor Rogério Santos me proporcionou acolhida especial.

O suporte, carinhoso e arrojado, de minha família foi decisivo na realização do doutoramento.

Meu reconhecimento e gratidão a todos.

Sou agradecido ao CNPq e à CAPES pelo auxílio financeiro.

## Resumo

Fleck, Ernesto Marchioni. **Agrupamento e visualização de dados sísmicos através de quantização vetorial**. Rio de Janeiro, 2004. 70 p. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Nesta tese é proposto um novo método de agrupamento de dados sísmicos para a visualização em mapas sísmicos. Os dados sísmicos (sinal + ruído) têm distribuições assimétricas. A classificação dos dados sísmicos é, atualmente, realizada através de métodos que induzem as referências dos grupos propostos às suas médias. No entanto, a média é sensível aos ruídos e aos “*butliers*” e as classificações com este estimador estão sujeitas a distorções nos resultados. Embora outros trabalhos sugiram o uso da mediana nos casos em que as distribuições são assimétricas – devido ao fato deste estimador ser robusto aos ruídos e aos “*outliers*” – em nenhum foi encontrado um método que induza as referências dos grupos propostos às medianas no tratamento dos dados sísmicos. O método proposto inclui um algoritmo que induz as referências dos grupos propostos às suas medianas. O tratamento iterativo dos dados sísmicos através da aplicação de uma função não linear adequada ao gradiente descendente gera resultados cujos erros médios quadráticos são inferiores aos dos resultados dos métodos que induzem à média. Um parâmetro existente no algoritmo, a constante de não linearidade, determina a maneira como os dados são induzidos, a partir da média, na direção da mediana. A convergência aos resultados requer poucas iterações no método proposto. O método proposto é uma ferramenta para o dimensionamento de reservatórios de petróleo e serve para a determinação de diferenças entre as propriedades de estruturas geológicas similares.

## Palavras-chave

Dados sísmicos, agrupamento de dados, mediana, classificação, redes neurais, mapas sísmicos, quantização vetorial, distribuições assimétricas

## Abstract

Fleck, Ernesto Marchioni. **Clustering and Visualization of Seismic Data using Vector Quantization**. Rio de Janeiro, 2004. 70 p. Ph.D. Thesis - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This thesis suggests the use of a new method of seismic data clustering that can aid in the visualization of seismic maps. Seismic data are primarily made of signal and noise and, due to its dual composition, have asymmetric distributions. Seismic data are traditionally classified by methods that lead the proposed groups' references to their mean values. The mean value is, however, sensitive to noise and outliers and the classification methods that make use of this estimator are, consequently, subjected to generating distorted results. Although other works have suggested the use of the median in cases where the distributions are asymmetric – due to the fact that the estimator is robust with respect to noise and outliers – none have proposed a method that would lead the groups' references to the median while treating seismic data. The method proposed in this work includes, therefore, an algorithm that leads the groups' references to their medians. The iterative treatment of seismic data through the use of a non-linear function that is adequate for the gradient descent generates results with mean-square errors inferior to those of results generated by the use of the mean value. The algorithm's non-linearity constant determines how the seismic data are led from the mean value towards the median. The proposed method requires little iteration for the results to converge. The proposed method can, therefore, be used as a tool in the sizing of petroleum reservoirs and can also be used to determine the differences between similar geological structures.

## Keywords

Seismic data, data clustering, median, classification, neural networks, seismic maps, vector quantization, asymmetric distributions.

## Sumário

1 Introdução	12
2 Dados Sísmicos	17
2.1 Ondas	17
2.2 Aquisição do dado sísmico	21
2.3 Tratamento dos dados sísmicos	22
2.3.1 Deconvolução	23
2.3.2 Análises de velocidade e empilhamento	24
2.3.3 Migração	25
2.4 Interpretação	26
2.5 Características dos dados sísmicos	27
2.6 Base de Dados	28
3 Agrupamento de dados	31
4 Método de indução das referências às medianas	38
4.1 Análise de $\mathbf{b}$	39
4.2. Indução à mediana	44
4.3. Tarefas pré-processamento do algoritmo	44
4.4. Tarefas pós-processamento do algoritmo	45
5 Resultados	46
5.1. Dados artificiais	46
5.1.1. Convergência à mediana e à média com dados artificiais	46
5.1.2. Análise de desempenho dos algoritmos	52
5.2. Dados sísmicos reais	55
5.2.1. Erro dos processos	55
5.2.2. Classificação do atributo adquirido	56
5.2.3. Identificação de Estruturas fantasmas	62

5.2.4. Visualização da Continuidade entre camadas	63
6 Conclusão	67
7 Referências Bibliográficas	69



## Lista de figuras

Figura 1 – Composição do dado sísmico	13
Figura 02 – Interligação dos capítulos da tese	16
Figura 4 – Frentes e raios de ondas (Gadallah, 1994)	18
Figura 5 – Lei de Snell aplicada sobre a onda P	19
Figura 6 – Traço sísmico (Gerhardt, 1998)	20
Figura 7 – Ilustração da aquisição de dados sísmicos (Gerhardt, 1998)	21
Figura 8 – Ilustração de um <i>Common Midpoint (CMP)</i> (Gerhardt, 1998)	22
Figura 9 – Deconvolução (Gadallah, 1994)	24
Figura 10 – NMO de um refletor plano (Gadallah, 1994)	25
Figura 11 – Migração - esquema (Robinson e Treitel, 1980)	26
Figura 12 – Histograma dos dados reais – assimetria	28
Figura 03 – Distribuição das amplitudes dos dados reais	29
Figura 13 – Interligações dos assuntos da tese – capítulo 2	30
Figura 06 – Interligações dos assuntos da tese – capítulo 3	37
Figura 6 – Representação gráfica do fator <b><i>b</i></b> para misturas de distribuições normais	40
Figura 7 – Representação gráfica das derivadas do fator <b><i>b</i></b> para misturas de distribuições normais	41
Figura 12 – Mapa sísmico – Kohonen	58
Figura 13 – Mapa sísmico - proposto	58
Figura 14 – Camada 3 – Algoritmo Kohonen	59
Figura 15 – Camada 3 – Algoritmo proposto	59
Figura 16 – Camada 1 – Algoritmo SOM Kohonen	61
Figura 17 – Camada 1 – Algoritmo proposto	61
Figura 18 – Área selecionada – SOM Kohonen	61
Figura 19 – Área selecionada – Algoritmo proposto	62
Figura 20 – Estruturas fantasmas	62
Figura 21a – Continuidade entre camadas – grupo 3 camada 4	64
Figura 21b – Continuidade entre camadas – grupo 3 camada 5	64

Figura 21c – Continuidade entre camadas – grupo 3 camada 6	65
Figura 21d – Continuidade entre as camadas 4, 5 e 6	65

## Lista de tabelas

Tabela 3 – Valores de erros de processos	56
Tabela 1 – Dados da classificação do algoritmo SOM de Kohonen	60
Tabela 2 – Dados da classificação do algoritmo proposto	60
Tabela 4 – Distribuição dos elementos por grupos e por camadas	63