

**Luiz Henrique Cerqueira Faustino**

**SIMULAÇÃO DE PERFIS SÔNICO DO CAMPO DE NAMORADO  
ATRAVÉS DA TÉCNICA DE DEFUZZIFICAÇÃO PARAMÉTRICA**

**Trabalho de Conclusão de Curso  
(Bacharelado Geologia)**

**UFRJ  
Rio de Janeiro  
2007**



UFRJ

**Luiz Henrique Cerqueira Faustino**

**SIMULAÇÃO DE PERFIS SÔNICO DO CAMPO DE NAMORADO ATRAVÉS DA  
TÉCNICA DE DEFUZIFICAÇÃO PARAMÉTRICA.**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, apresentado como requisito necessário para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador:

Jadir da Conceição da Silva

Rio de Janeiro

Março de 2007

LUIZ HENRIQUE, Cerqueira Faustino.

Simulação de Perfis Sônico do Campo de Namorado através da Técnica

de Defuzificação Paramétrica. Luiz Henrique Cerqueira Faustino -  
- Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2007.

xiii, 25 p. : il.; 30cm

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) –  
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências,  
Departamento de Geologia, 2006.

Orientador: Jadir da Conceição da Silva

1. Geologia. 2. Setor de Geofísica – Trabalho de Conclusão de  
Curso. I. Jadir, da Conceição da Silva. II. Universidade Federal do Rio  
de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em  
Geologia. III. Título.

Luiz Henrique Cerqueira Faustino

SIMULAÇÃO DE PERFIS SÔNICO DO CAMPO DE NAMORADO ATRAVÉS DA  
TÉCNICA DE DEFUZIFICAÇÃO PARAMÉTRICA.

Trabalho de Conclusão de Curso de  
Graduação em Geologia do Instituto de  
Geociências, Universidade Federal do Rio  
de Janeiro – UFRJ, apresentado como  
requisito necessário para obtenção do grau  
de Bacharel em Geologia.

Orientador:

Jadir da Conceição da Silva

Aprovada em:

Por:

---

Orientador: Prof. Dr. Jadir da Conceição da Silva (DEGEL/UFRJ)

---

Profa. Dra. Paula Lucia Ferruccio da Rocha (DEGEL/UFRJ)

---

Prof. Dr. José Mário Coelho (DEGEL/UFRJ)

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2007

Este trabalho é especialmente dedicado ao meu padrinho Aloisio José Alves e a minha irmã Renata Lúcia Vieira Alves , pelo apoio incondicional e irrestrito ao longo de todos esses anos. Mesmo sabendo das minhas limitações.

## **Agradecimentos**

A Deus, por ter me concedido saúde suficiente para terminar o curso

Ao meu professor orientador Prof. Dr. Jadir da Conceição da Silva por ter me orientado neste Trabalho de final de Curso.

Ao prof. José Agnelo Soares, pelo fornecimento de monografias de seus antigos alunos para me auxiliar nas pesquisas.

Ao Prof. Dr. Leonardo Borghi, por ter fornecido materias úteis a minha monografia e por nunca ter me negado assistência.

Ao Programa de capacitação de Recursos Humanos em Geologia do Petróleo (conv. UFRJ/PRH-ANP/MCT, n. 18).

À ANP, pela cessão gratuita dos dados de perfis de poços.

À minha segunda família: Aloísio José Alves, Rose Mary de Souza e Renata Lúcia Alves Vieira. Pelo apoio moral e financeiro.

## Resumo

FAUSTINO, Luiz Henrique Cerqueira. Simulação de perfis sônico do Campo de Namorado através da técnica de Defuzzificação Paramétrica. 2007. xiii, 25 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

A regra fuzzy é uma técnica numérica excludente de seleção e agrupamento de dados que apresentam certo grau de similaridade entre si, e cumprem certos padrões bem definidos. No caso das geociências, dizemos que cada dado no espaço de  $n$  dimensões pertence a uma fácies ou grupo, cujo grau de similaridade é especificado por uma matriz de pertinência. O agrupamento se processa a partir de um número ótimo de grupos (fácies) criteriosamente selecionado de acordo com o critério de mínimo valor da medida de “Validade Fuzzy”.

O objetivo desta monografia é simular através da técnica de defuzzificação paramétrica, os perfis sônicos sintéticos de onda compressional do Campo de Namorado, Bacia de Campos/Brasil, usando como dados de entrada os perfis de raios gama naturais (GR), resistividade profunda (ILD), porosidade neutrônica (NPFI) e densidade (RHOB).

Inicialmente foi feita a edição dos perfis geofísicos dos poços do Campo de Namorado, selecionando aqueles que apresentaram uma “suíte” completa de perfis convencionais, incluindo o perfil sônico. A este conjunto foram aplicados os critérios de treinamento e validação necessários, sendo que a etapa de treinamento foi aplicada em cerca de 80% dos poços onde existia o perfil sônico; e a etapa de validação, nos 20% restantes. A seguir aplicou-se a metodologia em alguns poços onde o perfil sônico estava ausente, gerando o chamado perfil sintético. Os resultados mostram que a técnica de defuzzificação paramétrica é uma excelente ferramenta para geração de curva sintética, independente da relação existente entre ela e os perfis de entrada, se linear ou difusa.

*Palavras-chave: Geologia do Petróleo | Geofísica | Perfilagem de Poços.*

## **Abstract**

FAUSTINO, Luiz Henrique Cerqueira. Simulation of Namorado Field Sonic Logs by the Defuzzification Parametric Technique. 2007. xiii, 25 P. Work of Conclusion of Course (Bachelor in Geology) - Department of Geology, Institute of Geosciences, Universidad Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

*The fuzzy logic is an outstanding numerical technique of data selection and grouping mainly for data presenting certain similarity grade among, and fulfills certain well definite pattern. In the case of the earth sciences, it means that that each data in the n-dimensional space belong to a cluster or group whose degree of similarity is specified by a membership grade matrix. The grouping is only accurately processed if an correct number of groups or clusters has been criteriously selected in accordance with the minimum value criteria established by a measurement of the fuzzy validity. The logs to be used as the input data are: Natural Gamma Ray (GR.), Deep Induction (ILD), Neutron Porosity (PHIN), Bulky Density (RHOB) and Interval Transit Time (DT). In order to elaborate this work, it was made the loading of the Namorado field well logs and chosen those ones presenting a complete log suit that was following applied to the selected fuzzy criteria. The fuzzy rule was trained in about 80% of the wells where the sonic log also exist and by proceeding the validation in the 20% remaining. The results show that the parametric defuzzification technique is a quite good tool for synthetic well log curves generation. The main goal of this technique is the fact that it does not depend on the relation among the input and output data, which means that this relation may be either linear or diffuse.*

**Key-Words:** Oil Geology; Geophysical; Well Log.

## Lista de figuras

Figura 1: Localização da Bacia de Campos.....	3
Figura 2: Localização do Campo de Namorado.....	6
Figura 3: Perfis geofísicos do poço NA04.....	11
Figura 4: Perfis geofísicos do poço NA11A.....	12
Figura 5: Perfis geofísicos do poço NA37D.....	12
Figura 6: Perfis de velocidade compressional do poço NA37D.....	13
Figura 7: Perfis de velocidade compressional do poço NA04.....	14
Figura 8. Perfis de velocidade compressional do poço NA11A.....	15
Figura 9: Perfis de velocidade compressional Fuzzy dos poços NA22 e NA46D.....	17

## Lista de Tabelas

Tabela 1: Relação poços do Campo de Namorado usados na simulação.....	10
---	----

## Sumário

Agradecimentos.....	vii
Resumo.....	viii
<i>Abstract</i> .....	ix
Lista de figuras.....	x
Lista de tabelas.....	x
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 BACIA DE CAMPOS.....	3
2.1 Localização.....	3
2.2 Arcabouço Geológico da Bacia de Campos.....	4
2.2.1 Estratigrafia e evolução tectono-sedimentar.....	4
2.2.1.1 Fase Riffe.....	4
2.2.1.1.1 Sequência de Lagos.....	4
2.2.1.1.2 Sequência Golfo.....	5
2.2.1.2 Fase Drifte.....	5
3 PERFIL SÔNICO.....	7
3.1 O Perfil Sônico como determinante da Porosidade.....	7
4 METODOLOGIA.....	8
4.1 Poços completos.....	10
5 VALIDAÇÃO DA REGRA FUZZY.....	13
6 RESULTADOS.....	16
6.1 Análise dos resultados.....	18
6.2 Comentário sobre a análise.....	20
7 CONCLUSÃO.....	21
Referências Bibliográficas.....	22
Apêndice A. Lógica Difusa Fuzzy.....	26
Apêndice B. Sistema petrolífero da bacia de Campos.....	35
Anexo A. Carta Estratigráfica da Bacia de Campos.....	38
Anexo B. Velocidade compressional sintética dos poços NA15D e NA16D.....	39
Anexo C. Velocidade compressional sintética dos poços NA26D e NA27D.....	40
Anexo D. Velocidade compressional sintética dos poços NA33D e NA35D.....	41
Anexo E. Velocidade compressional sintética dos poços NA49D e NA50D.....	42
Anexo F. Velocidade compressional sintética do poço NA51D.....	43

## 1 INTRODUÇÃO

A atividade de exploração de petróleo demanda altos riscos e grandes investimentos. A proposição de novas técnicas e até mesmo novas ferramentas, computacionais ou numéricas adicionais, que juntamente com outras já disponíveis no mercado, aumentam a confiabilidade na avaliação de reservatórios de petróleo e gás, reduzindo riscos sem adicionar altos custos, são de grande utilidade.

Os perfis de poços têm grande aplicação na localização e avaliação de recursos minerais. Dentre eles, destacamos o petróleo, de exploração reconhecidamente mais onerosa, adicionado à difícil exploração. Embora a importância dos perfis de poços seja bastante óbvia, algumas restrições limitam sua aplicação extensiva na avaliação de formações. A principal delas é o fato de que alguns perfis nem sempre estão completos ao longo de um mesmo poço, ou ainda, inexistem em muitos deles em um mesmo campo. Um exemplo é o perfil sônico que devido às suas peculiaridades operacionais e físicas, como o “salto de ciclo”, normalmente tem algumas de suas medidas canceladas, gerando “buracos” que limitam análises e interpretações baseadas em uma “suite” mínima de perfis.

Das Gupta (1999) propôs um método que usa a Técnica de Agrupamento Fuzzy em um conjunto de perfil multi-eletrodo, para ser usado na exploração de carvão na Índia. Saggaf et al. (2000) aplicaram a regra fuzzy para predizer fácies deposicional num testemunho de poço em um ambiente carbonático marinho e comparou com os dados de saída da fácies derivadas da análise do testemunho. Finol et al. (2000) mostraram como um sistema baseado na regra fuzzy ajuda a predizer a permeabilidade em rochas sedimentares, usando as respostas de perfis de poços. A técnica de Aproximação baseada na Regra Fuzzy representa uma relação não linear global entre a permeabilidade e um conjunto de perfil como cadeia suave de finita família de submodelo flexível. Luchetta et al. (2002) aplicaram uma nova técnica para

predizer situações extrema e rara em níveis hidrométricos em bacias hidrogeológicas. A lógica fuzzy é estudada para agrupar entrada de dados e de modelo preventivo. Sun et al. (2002) desenvolveram um modelo de algoritmo fuzzy para determinar automaticamente números de agrupamento. Apresentaram, também, um novo algoritmo para determinar um novo índice de validade, medindo a qualidade do agrupamento. Pedrycz et al. (2003) estudaram o agrupamento fuzzy com o objetivo de diferenciar estrutura residente em dados (primeiramente, descoberto por mecanismo de agrupamento básico) daquelas formadas como estrutura. Frigui H. et al. (2003) introduziram um novo algoritmo que perfoma agrupamento e mede as feições, simultaneamente. São computacionais e implementáveis e compreende os diferentes conjuntos de tamanho de feição para grupos identificados.

Este projeto de pesquisa teve como objetivo a simulação através da defuzzificação paramétrica de perfis sônicos sintéticos no Campo de Namorado, Bacia de Campos/Brasil, tendo como dados de entrada os perfis de raios gama naturais (GR), resistividade profunda (ILD), porosidade neutrônica (NPHI) e densidade (RHOB).

## 2 BACIA DE CAMPOS

### 2.1 Localização

A Bacia de Campos situa-se entre as costas norte do Rio de Janeiro e sul do Espírito Santo. Delimita-se ao norte com a Bacia do Espírito Santo pelo Alto de Vitória e ao sul com a Bacia de Santos pelo Alto de Cabo Frio (Figura 1). Possui um pacote sedimentar emerso pouco significativo, tanto em área, com apenas 500 km<sup>2</sup>, quanto em espessura. (Esteves *et al.*, 1984).

A Bacia de Campos abrange cerca de 100.000 km<sup>2</sup>, tendo 44 campos petrolíferos conhecidos, sendo sete considerados campos gigantes, indo desde a linha de costa brasileira até a profundidade de 3.400 m.(Albuquerque, 2006).

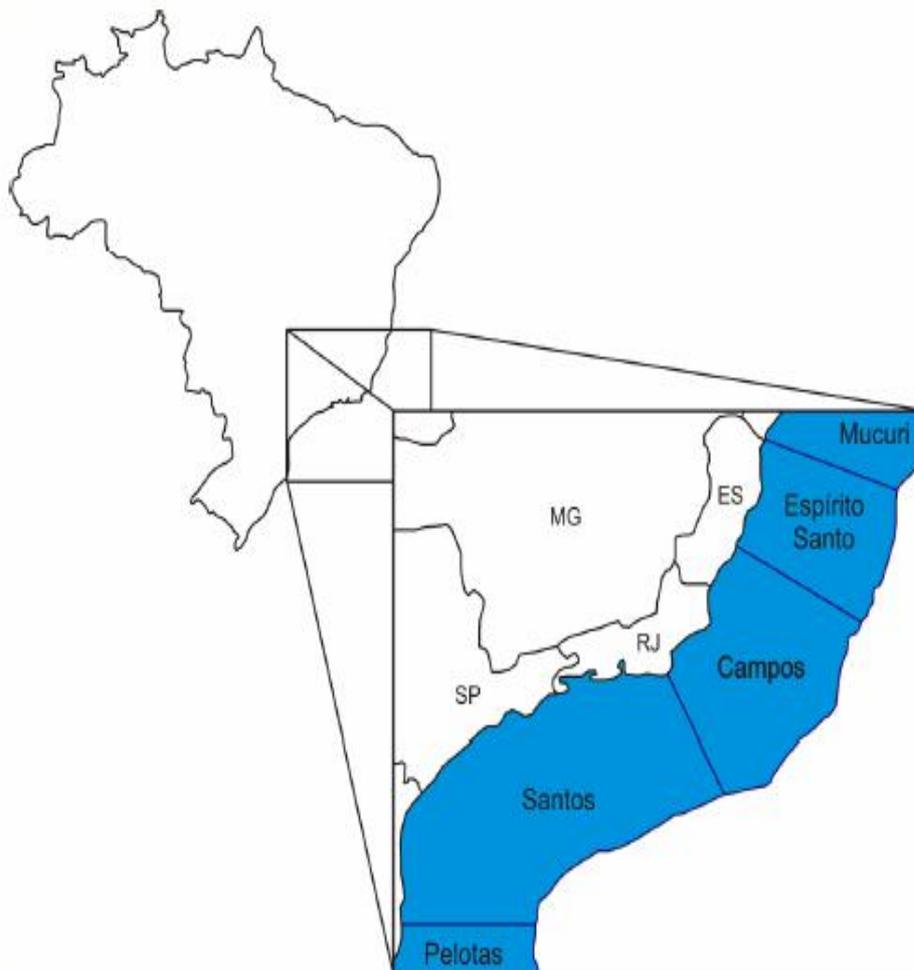


Figura 1: Localização da Bacia de Campos (Albuquerque, C. F.).

## **2.2 Arcabouço Geológico da Bacia de Campos**

### **2.2.1. ESTRATIGRAFIA E EVOLUÇÃO TECTONO-SEDIMENTAR**

É uma bacia típica de margem passiva, cuja evolução se iniciou com o extravasamento do basalto do Cretáceo Inferior sobre rochas cristalinas do pré-Cambriano. Ela evoluiu tectonicamente para um ambiente “rift” com sedimentação predominante lacustre rasa, seguida por uma fase transicional siliciclástica e evaporítica, esta última relacionada à abertura do Oceano Atlântico Sul. Esta fase tectono-sedimentar se propagou até o início do meso-Cretáceo. A instalação de um ambiente marinho ocorreu há aproximadamente 112 milhões de anos (Albiano Inferior) e se estende até hoje. Ela se iniciou com a deposição de carbonatos de água rasa seguida por siliciclásticos predominantes de água profunda. A evolução estratigráfica da bacia revela duas das três fases tectônicas: a fase rifte, representada pela formação Lagoa Feia e a fase drifte representada pela formação Macaé e pelo Grupo Campos( DIAS, et al. 1990).

#### **2.2.1.1 Fase Rifte**

##### **2.2.1.1.1 Sequência de Lagos**

Do Neojurássico ao Eocretáceo, junto com a separação das placas, ocorreu o desenvolvimento de fraturas extensionais de blocos rotacionados do embasamento. Estas zonas de fraqueza permitiram o desenvolvimento de um sistema de rifteamento orientado predominantemente na direção N-NE. Inicialmente ocorreram derrames basálticos Eocretáceos que constituem o assoalho de todo o preenchimento sedimentar da Bacia de Campos, correspondendo à Formação Cabiúnas (Rangel et al., 1994 ). Sobre os basaltos depositou-se o pacote da porção inferior da Formação Lagoa Feia, a qual inclui conglomerados com abundantes clastos de basalto, além de arenitos, folhelhos ricos em matéria orgânica e coquinas (Membro Coqueiros), definindo um contexto de sedimentação

lacustre. Os níveis de folhelhos ricos em matéria orgânica constituem a mais importante rocha geradora de hidrocarbonetos da bacia( DIAS, et al. 1990).

#### 2.2.1.1.2 Sequência Golfo

No segundo estágio, as primeiras incursões marinhas chegaram à bacia sobre uma superfície erosiva regional, quase plana, no topo da unidade sedimentar sinrifte. Foi depositada uma seqüência de conglomerados e folhelhos avermelhados de idade Aptiana recobertos por uma seção de evaporitos do Neoptiano (Membro Retiro) (Milani *et al.*, 2000), estes últimos compostos essencialmente por halita, hialina e anidrita branca (Rangel *et al.*, 1994) que representam a parte superior da Formação Lagoa Feia.

#### 2.2.1.2 Fase Drifte

Durante o Albiano-Cenomaniano, as condições marinhas passaram a prevalecer na bacia, ocorrendo a Formação Macaé, que consiste em carbonatos clásticos e oolíticos (Membro Quissamã) em sua porção inferior. Já a parte superior inclui calcilutitos, margas e folhelhos (Membro Outeiro), além de arenitos turbidíticos (Membro Namorado). Finalmente, conglomerados e arenitos pobremente selecionados (Membro Goitacás) constituem suas porções mais proximais (Milani *et al.*, 2000).

O Grupo Campos representa o preenchimento desta bacia marginal durante a fase final de subsidência térmica e basculamento do substrato para leste. Este pacote é representado por sedimentos proximais areno-conglomerático-carbonáticos (Formação Emborê) que gradam para folhelhos e margas nas porções distais (Formação Ubatuba). A Formação Ubatuba compreende também intercalações de arenitos turbidíticos (Membro Carapebus) (Milani *et al.*, 2000), resultantes da atuação de correntes de turbidez em ambiente de talude e bacia, do Turoniano ao Holoceno (Rangel *et al.*, 1994).

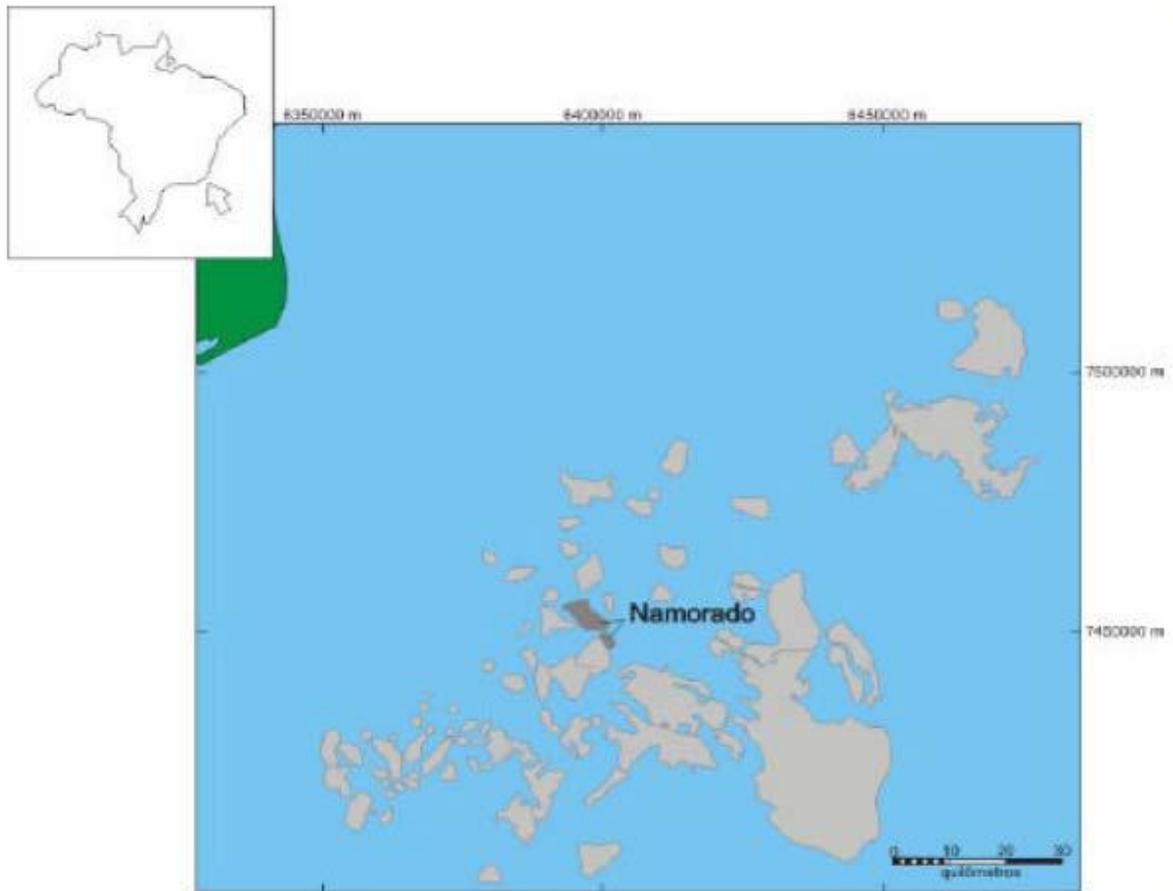


Figura 2: Localização do Campo de Namorado (Albuquerque, C. F. 2006).

### 3 PERFIL SÔNICO

O conjunto de perfis, genericamente, chamado de “Perfil Sônico” engloba todos os perfis que investigam as velocidades de propagação de ondas de deformação de um meio elástico. O nome “sônico” provém do perfil de onda P que corresponde à onda sonora. A velocidade do som varia segundo o meio no qual ele se propaga. Ela é mais rápida nos sólidos que nos líquidos e gases. Velocidade de propagação maior significa tempo menor. Assim, o tempo gasto por uma onda sonora nos sólidos, para percorrer uma mesma distância fixa, é bem menor que nos líquidos e que nos gases. Ao se considerar duas rochas semelhantes, aquela que contiver maior porosidade apresentará um tempo de trânsito maior do que aquela de menor porosidade. Conseqüentemente, há uma relação direta entre o perfil sônico (tempo de trânsito ou Dt) e a porosidade ( $\emptyset$ ) de uma rocha.

O perfil sônico mede o menor tempo percorrido por uma onda sonora a medida de um pé de rocha. Os transmissores e os receptores consistem de transdutores feitos de cristais, cerâmica ou bobinas magnéticas. Eles têm a função de produzir uma deformação mecânica em resposta a um sinal elétrico (caso seja um transmissor) ou produzir um sinal elétrico quando ele se deforma (caso seja um receptor). As ondas compressionais (P) se propagam mais rapidamente que as de cisalhamento (S). Os últimos registros correspondem às ondas diretas vindas pela lama. Este registro total é denominado de trem de onda (Nota de aula, Agnelo,2006).

#### 3.1 O Perfil Sônico como determinante da Porosidade

Antigamente este perfil era utilizado apenas como uma ferramenta auxiliar da Sísmica. Foi estudando a correlação que existe entre o tempo de trânsito e a porosidade das rochas e foi demonstrado que esse perfil pode ser usado para a determinação da porosidade intergranular dos reservatórios com bastante sucesso. Outras utilizações do perfil sônico existem, tais

como: cálculo das constantes elásticas das rochas e auxílio na escolha de brocas de perfuração(Nota de aula, Soares, 2006).

#### 4 METODOLOGIA

Primeiramente gerou-se a matriz de dados necessária aos processos de fuzzificação:

$$data = \begin{bmatrix} GR_1 & \log ILD_1 & PHIN_1 & RHOB_1 & Vp_1 \\ GR_2 & \log ILD_2 & PHIN_2 & RHOB_2 & Vp_2 \\ M & M & M & M & M \\ GR_N & \log ILD_N & PHIN_N & RHOB_N & Vp_N \end{bmatrix}$$

e estabeleceu-se o modelo linear abaixo para o processo de defuzzificação,

$$Vp = a_0 + a_1.GR + a_2.log(ILD) + a_3.PHIN + a_4.RHOB,$$

onde  $a_0, a_1, a_2, a_3$  e  $a_4$  são os parâmetros a serem determinados.

Em seguida fuzzificou a matriz **data** para 6 grupos, utilizando a função intrínseca *fc* do aplicativo MATLAB. Note que o modelo linear produz o seguinte sistema matricial:

$$\begin{bmatrix} Vp_1 \\ Vp_2 \\ M \\ Vp_M \end{bmatrix}^g = \begin{bmatrix} 1 & GR_1 & \log ILD_1 & PHIN_1 & RHOB_1 \\ 1 & GR_2 & \log ILD_2 & PHIN_2 & RHOB_2 \\ M & M & M & M & M \\ 1 & GR_M & \log ILD_M & PHIN_M & RHOB_M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix}^g$$

onde  $g$  é o número do grupo, sendo  $g= 1,2, \dots,6$ .

Chamando-se o vetor de  $Vp$ 's de  $\mathbf{y}$ , matriz de perfis de  $\mathbf{A}$  e vetor de parâmetros ( $a_0, a_1, \dots, a_4$ ), sendo denominado  $\mathbf{p}$ , chega-se a forma geral

$$\mathbf{y} = \mathbf{A}\mathbf{p},$$

Como  $\mathbf{A}$  não é uma matriz quadrada, a inversão recai no inverso generalizado

$$\mathbf{p} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{y}.$$

De posse dos valores centrais  $v_{ij}$  (matriz *center* da função *fcm* do MATLAB) de cada grupo (*i*) e cada perfil (*j*) de, procedeu à defuzzificação paramétrica usando a funções de pertinência gaussiana e suas respectivas variâncias.

Para desenvolver o trabalho, escolheu-se cinco poços entre os dezoito existentes (Tabela 1). Sendo que dos cinco escolhidos, três são completos e os outros dois restantes são incompletos, faltando o perfil sônico. De acordo com a Tabela 1, página 11, há 18 poços. Destes 18, apenas 7 estão completos e são denominados de poços completos. Nos outros 11 poços faltam o perfil sônico e são denominados de poços incompletos.

A primeira etapa consistiu no treinamento da Regra Fuzzy. Para isto, foram escolhidos dois dos três poços completos para aplicar a Regra Fuzzy e o outro para validação, alternando-se as escolhas dos poços, de forma a gerar e validar os perfis sônicos sintéticos nos três poços. Primeiramente, fez-se o carregamento dos dados dos perfis dos poços completos (NA04, NA11A e NA37D) e dos poços incompletos (NA22 e NA46D). Os três poços completos foram colocados um sobre o outro, de modo que formasse uma coluna única de perfis. Em seguida, aplicou-se a Regra Fuzzy nos dois primeiros poços, ou sejam, NA04 e NA11A, e foi feita a validação no último poço (NA37D) (Figura 13). Em seguida, a Regra Fuzzy aplicada nos dois últimos poços (NA11A e NA37D), fazendo-se a validação no primeiro (NA4A) (Figura 14). Por último, aplicou-se a Regra Fuzzy no primeiro poço (NA4A) mais o último poço (NA37D), validando-se o resultado no poço do meio (NA11A) (Figura 15). Em todo os poços, o tempo de trânsito da onda P foi convertido em velocidade de propagação da onda P. A velocidade compressional de cada poço foi plotada em um perfil e sobre ela foi plotada a velocidade compressional real correspondente, a fim de observar as curvas.

Após ter feito isto, terminou a primeira etapa. Em que consistiu na aplicação da Regra Fuzzy em dois poços completos e a validação em um outro, também, completo utilizando os

perfis raio gama (GR), indução profunda (ILD), porosidade (PHIN) e densidade neutrônica (RHOB) para gerar o perfil sônico sintético para os mesmos. Seguido da comparação com o perfil sônico real existente. Portanto, na primeira etapa, os perfis dos poços completos foram usados para treinamento da Regra Fuzzy e validação da técnica de defuzzificação paramétrica. Na segunda etapa, esses perfis foram usados para gerar perfis sônicos sintéticos nos dois poços ausentes de perfil sônico. Nela, consistiu a aplicação da Regra Fuzzy nos três poços completos (NA04, NA11A e NA37D) seguido da geração dos perfis sônicos sintéticos nos poços incompletos (NA22 e NA46D). Da mesma forma que foi feito no treinamento, esses perfis sônicos sintéticos foram convertidos em perfis de velocidade compressional. Este processo foi repetido diversas vezes, a fim de gerar perfis sônicos sintéticos para os treze poços incompletos.

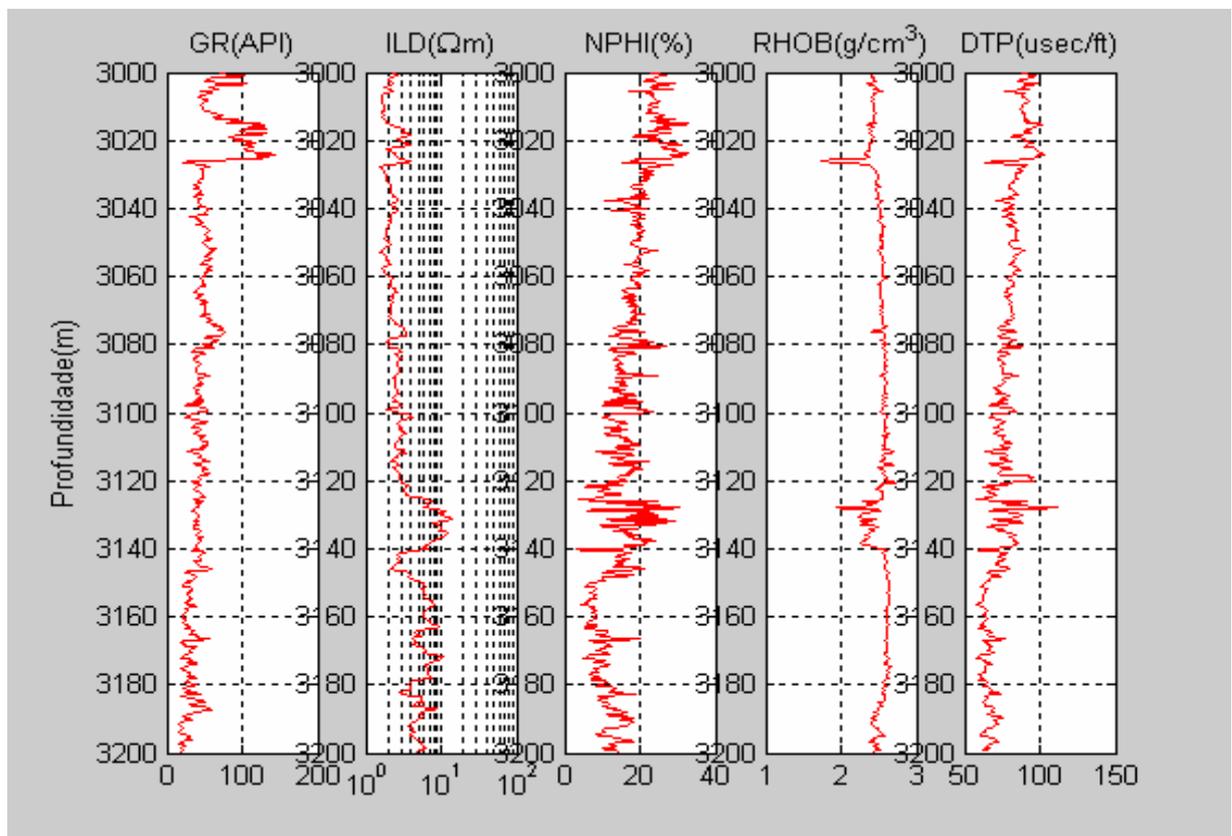
**Tabela** – Relação de poços do campo de Namorado usados na simulação

Poço	DPTH(m)	GR	ILD	PHIN	RHOB	DT
NA04	OK	OK	OK	OK	OK	OK
NA06D	OK	OK	OK	OK	OK	OK
NA11A	OK	OK	OK	OK	OK	OK
NA15D	OK	OK	OK	OK	OK	
NA16D	OK	OK	OK	OK	OK	
NA17D	OK	OK	OK	OK	OK	OK
NA21D	OK	OK	OK	OK	OK	OK
NA22	OK	OK	OK	OK	OK	
NA26D	OK	OK	OK	OK	OK	
NA27D	OK	OK	OK	OK	OK	
NA33D	OK	OK	OK	OK	OK	
NA35D	OK	OK	OK	OK	OK	
NA37D	OK	OK	OK	OK	OK	OK
NA46D	OK	OK	OK	OK	OK	
NA49D	OK	OK	OK	OK	OK	
NA50D	OK	OK	OK	OK	OK	
NA51D	OK	OK	OK	OK	OK	.....,k
RJS234	OK	OK	OK	OK	OK	OK

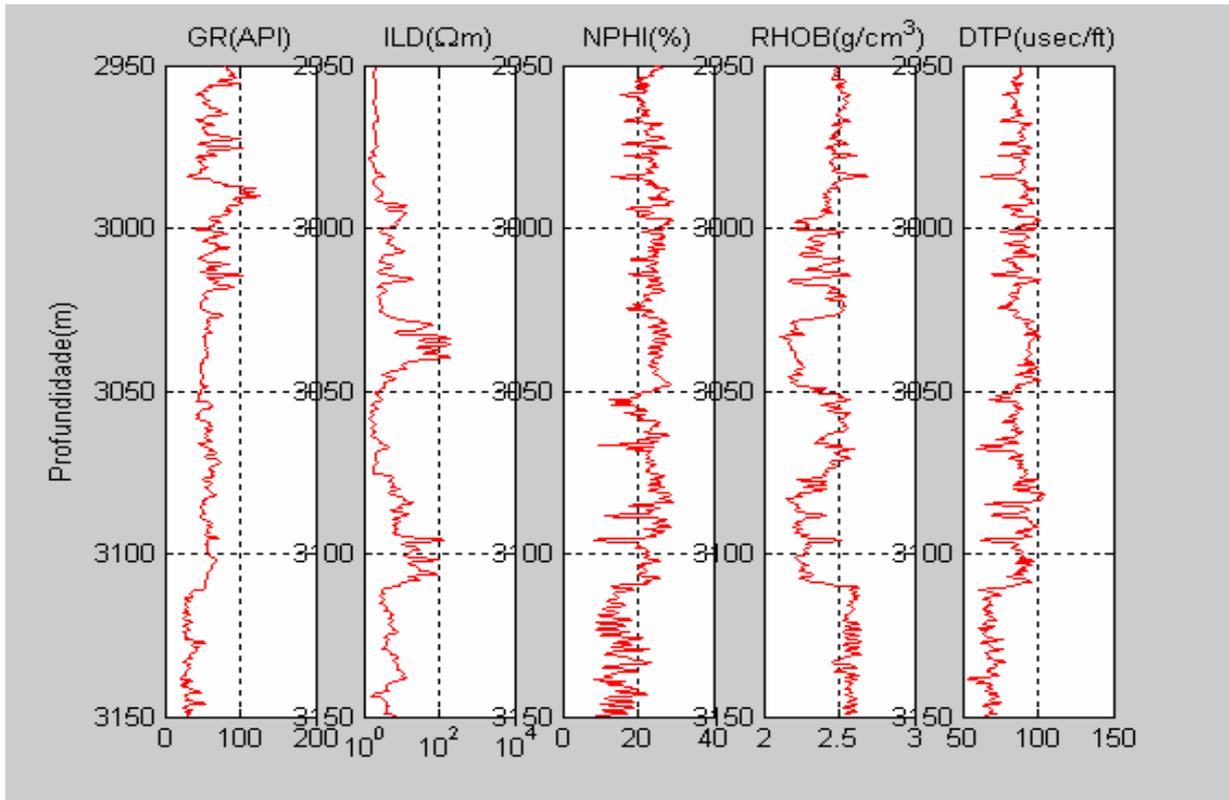
**Tabela 1.(ANP, 2006)**

#### 4.1 Poços completos

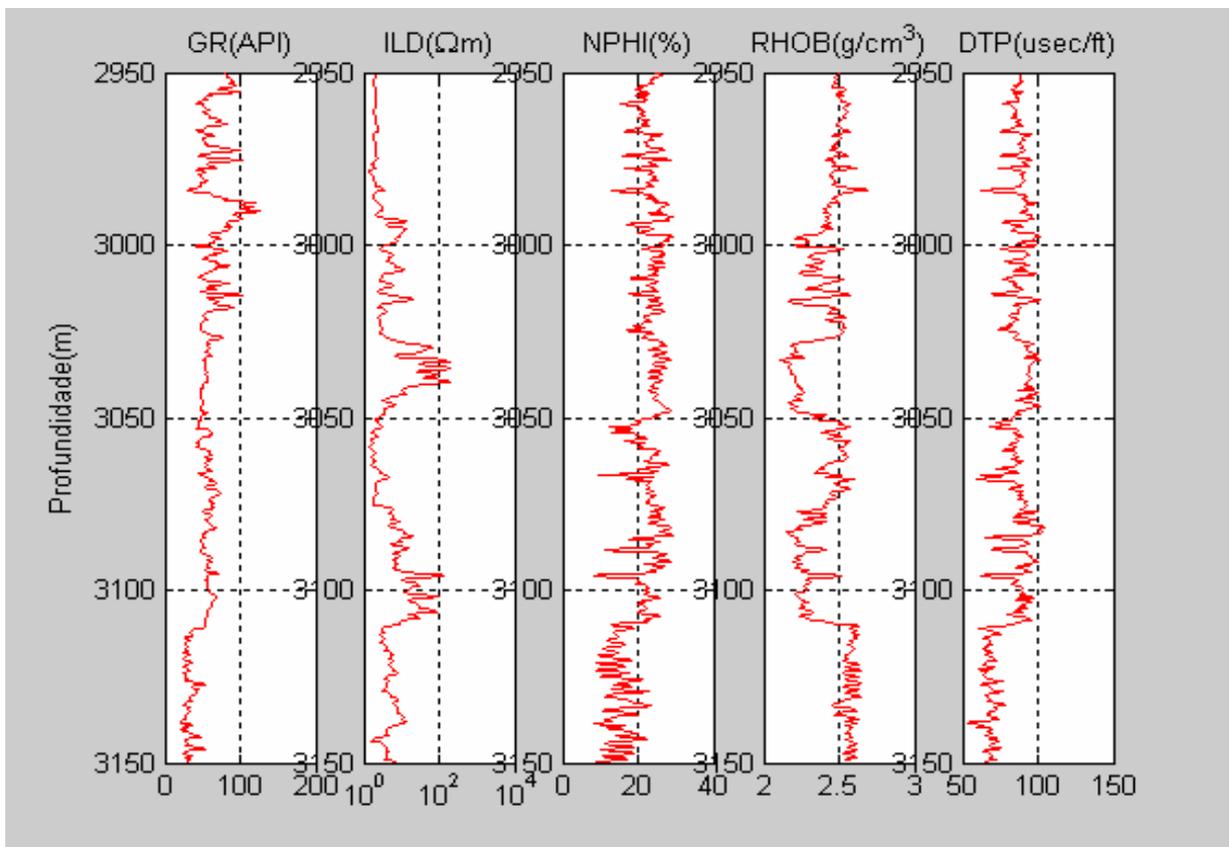
Os poços completos (NA04, NA06D, NA11A, NA17D, NA21D, NA37D e RJS234), Tabela 1, são os poços que possuem uma suíte completa, formada pelos perfis raio gama (GR), resistividade (ILD), porosidade (PHIN), densidade (RHOB) e tempo de trânsito (DT). Dos sete poços, três foram usados, NA04, NA11A e NA37D), figuras 10, 11 e 12 para treinamento da Regra Fuzzy e validação da mesma, com a finalidade de avaliar a eficiência da técnica de inferência através de defuzzificação paramétrica e, também, para gerar os perfis sísmicos sintéticos para os poços incompletos.



**Figura 3.** Perfis geofísicos do poço NA04.



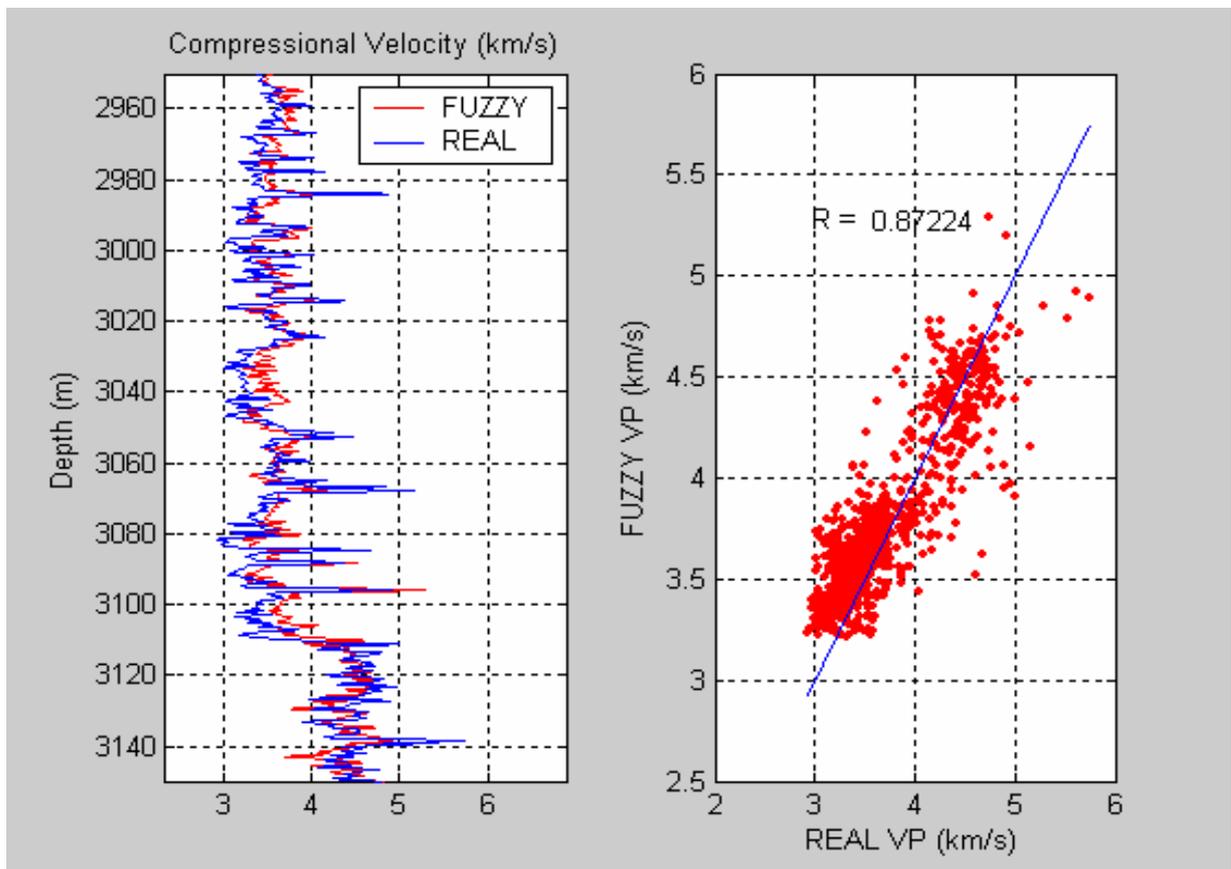
**Figura 4.** Perfis geofísicos do poço NA11A.



**Figura 5.** Perfis geofísicos do poço NA37D.

## 5 VALIDAÇÃO DA REGRA FUZZY

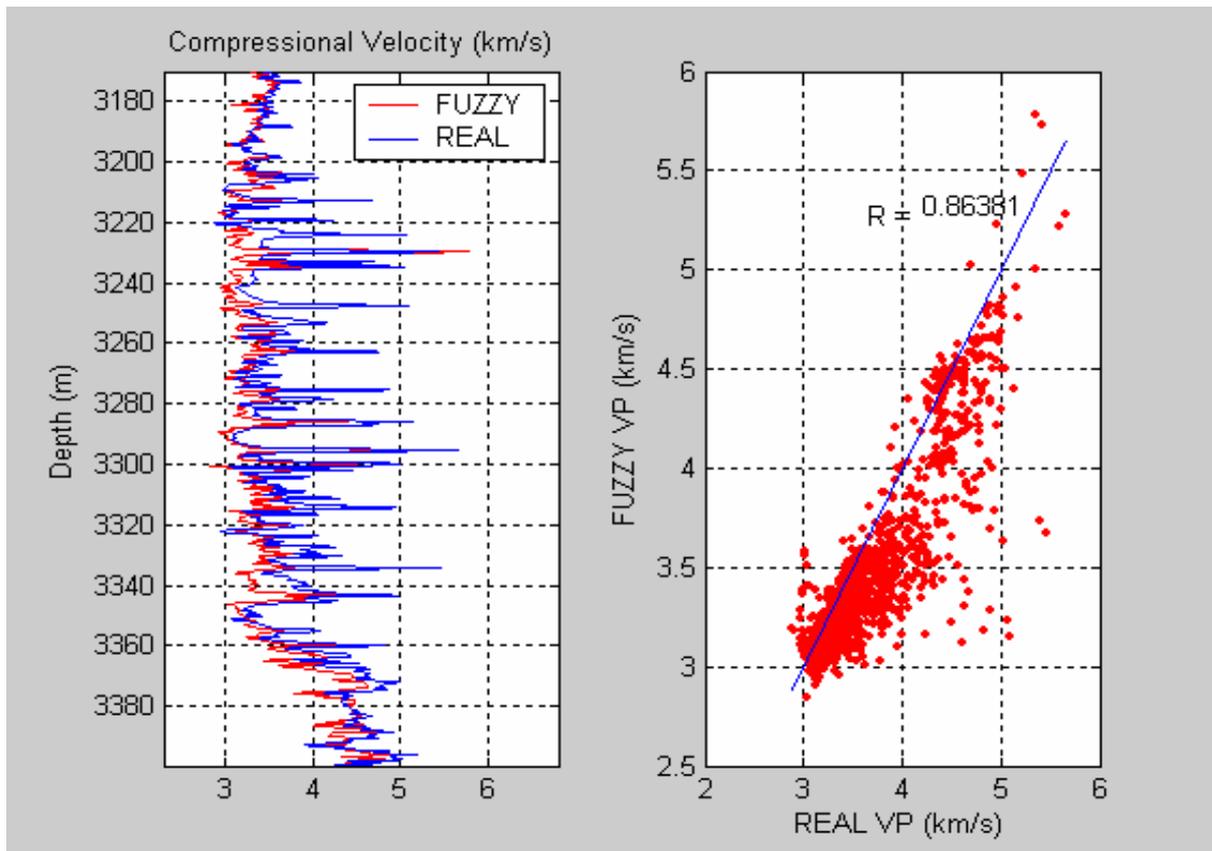
Primeramente, aplicou-se a Regra Fuzzy nos poços NA04 e NA11. Em seguida gerou-se o perfil sônico sintético no poço NA37D. O perfil sônico sintético do poço NA37D foi convertido em perfil de velocidade de onda compressional, para depois ser plotado. Sobre ele foi plotado o perfil sônico real (Figura 8). Ambos foram plotados em um gráfico REAL VP(km/s) X FUZZY(km/s) (Figura 8), para a obter o grau de correlação entre o perfil sônico real e sintético do poço NA37D. Tendo como resultado um coeficiente linear de 0,86.



**Figura 6.** Perfil velocidade compressional sintética e gráfico de velocidade fuzzy versus velocidade real do poço NA37D.

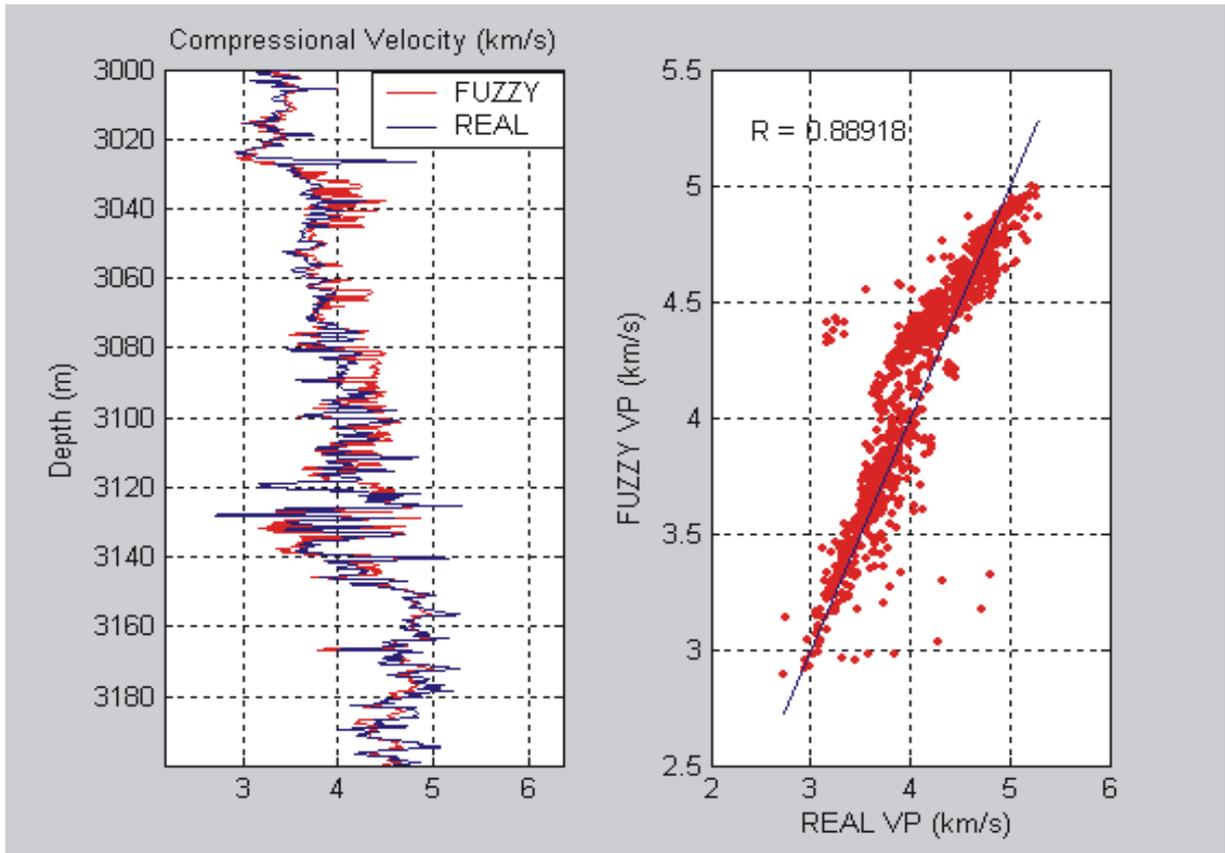
Do mesmo modo, aplicou-se a Regra Fuzzy nos poços NA11 e NA37D. Em seguida gerou-se o perfil sônico sintético no poço NA04. O perfil sônico sintético do poço NA04 foi convertido em perfil de velocidade de onda compressional, para depois, ser plotado. Sobre ele

foi plotado o perfil sônico real do poço NA04 (Figura 9). Ambos foram plotados em um gráfico REAL VP(km/s) X FUZZY(km/s) (Figura 9), para a obter o grau de correlação entre o perfil sônico real e sintético do poço NA04. Obtendo como resultado um coeficiente linear de 0,87.



**Figura 7.** Perfil velocidade compressional sintética e gráfico de velocidade fuzzy versus velocidade real do poço NA04.

Por último, aplicou-se a Regra Fuzzy nos poços NA04 e NA37D. Em seguida gerou-se o perfil sônico sintético no poço NA11. O perfil sônico sintético do poço NA11 foi convertido em perfil de velocidade de onda compressional, para depois, ser plotado. Sobre ele foi plotado o perfil sônico real do poço NA11 (Figura 10). Ambos foram plotados em um gráfico REAL VP(km/s) X FUZZY(km/s) (Figura 10), para a obter o grau de correlação entre o perfil sônico real e sintético do poço NA04, que foi de 0,89.



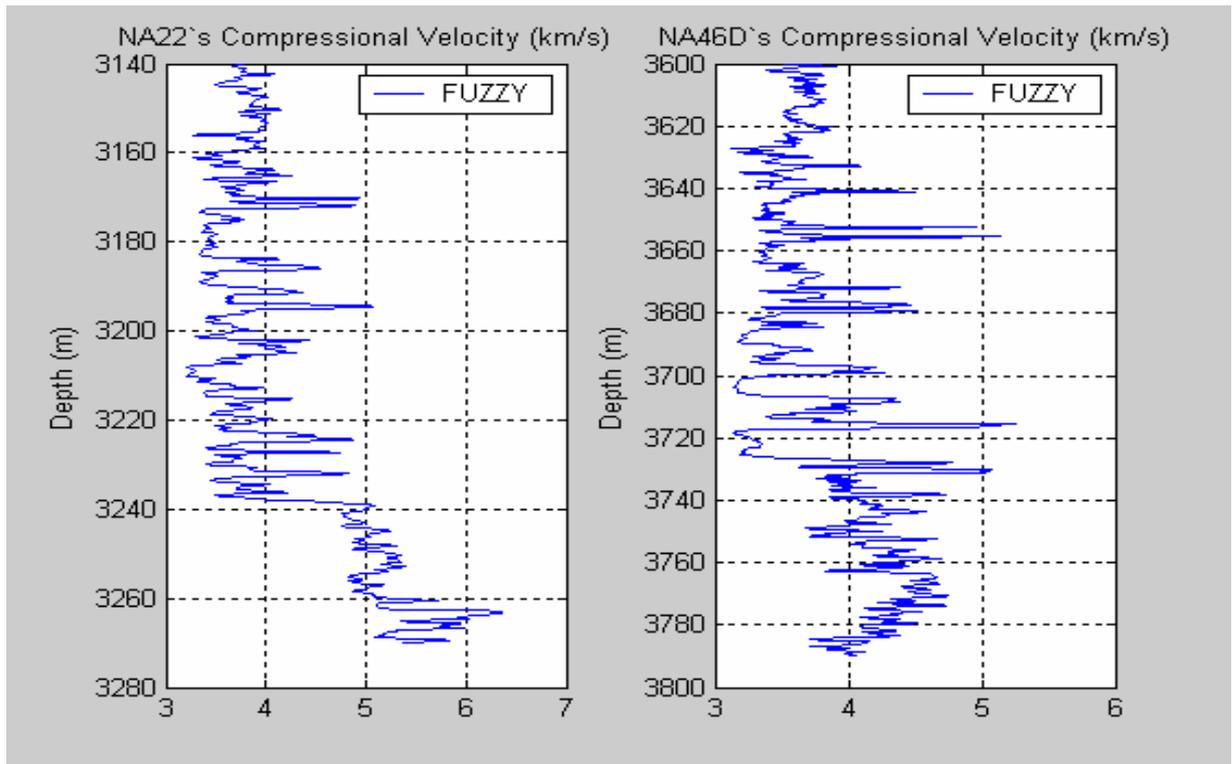
**Figura 8.** Perfil velocidade compressional sintética e gráfico de velocidade fuzzy versus velocidade real do poço NA11.

## 6 RESULTADOS

Os resultados da primeira etapa, na qual foi usado dois dos três para aplicar a Regra Fuzzy e gerar um perfil sônico sintético no terceiro, que era convertido em perfil de velocidade compressional sintética e validado com a velocidade compressional real do mesmo, mostraram que o método linear produz alto grau de correlação, indicando uma boa linearidade entre os dados do perfil sônico e os dados dos perfis de entrada. Também, foi verificado a rapidez do processo e a eficiência da geração destas curvas, certificando que a técnica de inferência através de defuzzificação paramétrica constitui-se em uma poderosa ferramenta para geração de curvas sintéticas baseada nos perfis existentes, independente da relação existente entre eles.

Após a certificação da validade da Técnica de Defuzzificação Paramétrica nos perfis de poços completos, passou-se a segunda etapa, em que foram gerados os perfis sônicos sintéticos dos poços incompletos NA22 e NA46D (Figura 11).

Para gerar tais perfis, a Regra fuzzy foi aplicado nos três poços completos (NA04, NA11 e NA37D) e gerado o perfil sônico sintético. Da mesma forma que foi feito nos poços completos, o perfil sônico sintético de cada poço foi convertido em perfil de velocidade compressional.



**Figura 9.** À direita, perfil do poço NA46D e o do poço NA22, à esquerda.

### 6.1 Análise dos resultados

Estabelecendo um padrão de velocidade baixa e alta. Em que uma velocidade menor que 4km/s é baixo e maior é alta. Pode-se estabelecer zonas de baixa velocidade e de alta velocidade para inferir algumas informações relevantes.

De acordo com o perfil de velocidade compressional do poço NA37D, figura 13, página 14, a velocidade neste poço varia de 3 e 4km/s, numa camada de espessura, aproximadamente 200m, em profundidade de 3175m a 3365m. Tal camada é constituída por uma litologia de baixa velocidade e, conseqüentemente, alto tempo de transito. Com isto pode-se dizer que esta camada é, provavelmente, um areito bem selecionado com boa porosidade e abaixo desta camada, há uma camada em que a velocidade supera os 4km/s e aproxima dos 5km/s. Indicando a presença de rocha carbonática. A zona compreendida entre a profundidade de

3210 a 3350m, a velocidade da onda supera os 5km/s, devido a grande quantidade de ruído presente neste intervalo.

Quanto ao poço NA04, sua velocidade compressional se mantém baixa numa zona com espessura de 150m com a base localizada a profundidade de 3110m, com alguns picos de velocidade. Da mesma forma, é uma camada de arenito e os picos são ruídos. Abaixo desta camada, a velocidade tem uma mudança abrupta. Indicando que ali há um contato abrupto entre o arenito e a rocha carbonática.

Já no poço NA11A, figura 15, página 16, a velocidade aumenta gradativamente, na medida em que ocorre o aumento da profundidade. De acordo com o perfil de velocidade compressional, existe uma zona de transição entre o arenito e a rocha carbonática. Que se inicia na profundidade de 3025 e termina a 3120m, onde ocorre uma lente de arenito que é sustentada pela rocha carbonática.

Ao analisar o perfil de velocidade compressional sintético do poço NA22 da figura 16, na página 18, observa-se uma camada de arenito que se estende de 3140m a 3240 de profundidade. Este arenito faz um contato abrupto, provavelmente, com a rocha carbonática, indicado pela mudança abrupta de velocidade. Já o perfil de velocidade compressional sintética do poço NA46D, na mesma figura mencionada anteriormente, registra uma quantidade alta de ruído na camada de arenito que se estende de 3600 a 3730m de profundidade. Na profundidade de 3730m ocorre o contato do arenito com a rocha carbonática. Sendo esta, registrada até a profundidade de 3780m.

## **6.2 Comentário sobre a análise**

Segundo Oliveira (2004) a velocidade compressional decai com o aumento tanto da porosidade efetiva quanto da argilosidade. Além disso, VP é muito sensível à mudança de porosidade. Isto indica que nas zonas de baixa velocidade compressional, certamente, a uma

porosidade efetiva, mesmo tendo uma fração de argila relevante. De acordo com exposto em Oliveira (2004), o Arenito Namorado ocorre associado a calcilitos, margas e folhelhos. Já Silva *et al.* (2003) caracterizam o Arenito Namorado como espessos corpos arenosos de composição arcoseana, apresentando extensiva cimentação carbonática e boas porosidades efetivas. Oliveira (2005) afirma que no Arenito Namorado podem ocorrer fácies subordinadas de granulação grossa a média. Tratando-se de um arenito pobremente selecionado e com composição básica de quartzo, feldspato e fragmentos líticos. Quanto a sua matriz argilosa, ela inclui 3 a 30% de silte e 1 a 6% de argila, ocorrendo, ainda, até 11% de intraclastos carbonáticos e até 9% de bioclastos. Quanto a cimentação por calcita varia de 1 a 53% em volume e exerce algum controle sobre a porosidade. Sua porosidade, em geral, variam de 1,8 a 32,2%. Com caracterizado anteriormente, é um arenito heterogênea. Segundo oliveira (2005) a heterogeneidade é caracterizada pelos perfis de velocidade compressional, embora, os picos de velocidade nos perfis, denominado ruído, mascara o comportamento da velocidade compressional. Esta heterogeinidade pode ser analisada, após a exclusão do ruído.

Outro informação relevante é sobre os contatos entre o Arenito Namorado e a rocha carbonática, que ocorre em alguns poços como contato abrupto e em outros como contato gradativo. A análise de uma maior quantidade de poços, juntamente com o mapa da área estudada com os poços plotados levaria a dectecção de algumas megaestrutura como siclinal, falhas, dobras e, também, por meio de correlação estratigráfica, encontrar discordância.

## 7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A metodologia aplicada na geração do perfil sônico comprovou a utilidade da técnica de defuzzificação paramétrica seguida de validação em poços onde se conhece o perfil real.

Comprovamos que a técnica de inferência através de defuzzificação paramétrica constitui-se em uma poderosa ferramenta para geração de curvas sintéticas, uma vez que se trata de uma técnica rápida e eficiente na geração de curvas. Portanto, num Campo de petróleo, onde não há perfis sônicos reais, este pode ser gerado por meio dos perfis raio gama (GR), indução ou resistividade profunda (ILD ou LLD), porosidade neutrônica (PHIN) e densidade (RHOB). Isto pode ser feito num curto intervalo de tempo.

Quando ao custo, ele é mínimo se o compararmos com outras técnicas de geração de perfis, pois precisamos apenas de um computador com o aplicativo MATLAB instalado e as informações necessárias à geração do perfil sônico sintético.

Ademais, ao contrário das amostras ou testemunhos de poços, os cuidados, principalmente quanto à pressão e temperatura, não são necessários aos dados de perfis de poços, pois estes já incorporam intrinsecamente estes parâmetros.

Além de detectar zonas de fluido, junto com os demais perfis geofísicos pode auxiliar na obtenção de informações importantes de um reservatório como a sua litologia, estrutura, estratigrafia e composição.

Como recomendação para futuros trabalhos, sugerimos a aplicação de modelos mais complexos de defuzzificação baseados em modelos quadráticos e globais, em substituição ao modelo linear adotado nesta monografia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, C. F., 2006, Modelagem geológica tridimensional no Campo de Namorado com base na modelagem unidimensional de eletrofácies. Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-graduação em Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários a obtenção do grau de Mestre em Ciências.
- SOARES, A. J., 2006, Notas de aula-UFRJ.
- BEZDEK, J. C., 1980, A convergence theorem for the fuzzy ISODATA clustering algorithm. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-2, p 1-8.
- BEZDEK, J. C. AND PAL, S. K., 1992, Fuzzy Models for Pattern Recognition Method. IEEE Press, New York, 539pp.
- CAMARGOS, F.L., Lógica Nebulosa: uma abordagem filosófica e aplicada. Disponível em Maio de 2004, no endereço :  
<http://www.inf.ufsc.br/~barreto/trabaluno/IAfernandoLC.pdf>, UFSC Florianópolis.
- DAS GUPTA S.P., 1999, Application of a fuzzy pattern recognition method in borehole geophysics. Computers & Geosciences 27 (2001) 85±89.
- DAS GUPTA, S. P., 2001, Application of a fuzzy pattern recognition method in borehole geophysics. Computers & Geosciences 27, p 85-89.
- DIAS, J.L., SCARTON, J.C., ESTEVES, F.R., CARMINATTI, M., GUARDADO, L.R., 1990, Aspectos da evolução tectono-sedimentar e ocorrência de hidrocarbonetos na Bacia de Campos In: RAJA GABAGLIA, G., MILANI, E. (COORD.) Origem e evolução de bacias sedimentares. Rio de Janeiro: PETROBRAS. SEREC-CEN-SUD, 1991 p.333.360.

- ESTEVEES, F. R., SPADINI, A. R., SAITO, M. A., 1984, Sedimentação Albo-Turoniana (Formação Macaé) da Bacia de Campos. SIMPÓSIO DE GEOLOGIA REGIONAL RJ-ES, I, Rio de Janeiro. *Anais...*, Rio de Janeiro, 1984, SBG, p. 27-42.
- FEMANET., 2005, Página da Internet: <http://users.femanet.com.br/~fabri/fuzzy.htm>. Data de acesso: 05/11/2005.
- FINOL J., JINGZ X. D., 2000, Permeability prediction in shaly formations. The fuzzy modeling approach. *GEOPHYSICS*, VOL. 67, NO. 3 (MAY-JUNE 2002); P. 817–829.
- FRIGUI, H., NASRAOUI, O., 2003, Unsupervised learning of prototypes and attribute weights. Department of Electrical and computer Engineering. *Pattern Recognition* 37 (2004) 567 – 581.
- FUKUYAMA, Y. AND SUGENO, M., 1989, A new method of choosing the number of clusters for fuzzy c-means method. *Proc. 5th Fuzzy System Symposium*, p 247- 250.
- Guardado, L.R., Gamboa, L.A.P., Lucchesi, C.F., 1989, Petroleum geology of the Campos basin, Brazil, a model for a producing Atlantic type basin. In Edwards, J.D. e Santogrossi, P.A. (eds), *Divergent/Passive Margin Basins*, AAPG Memoir 48, p. 3-79.
- GUARDADO, L.R., Wolff, B., BRANDÃO, J.A.S.L., 1997, Campos Basin, Brazil, a model for producing Atlantic type basins. OTC 8487, *Offshore Technology Conference*, Houston, Texas.
- GUARDADO, L.R., SPADINI, A.R., BRANDÃO, J.S.L., MELLO, M.R., 2000, Petroleum system of the Campos Basin, in: Mello, M.R. e Katz, B.J. (eds.), *Petroleum systems of South Atlantic margins*, AAPG Memoir 73, p. 317–324.
- OLIVEIRA, J.K., 2005, Efeitos da Porosidade Efetiva e da Argilosidade nas Velocidades de Ondas P no Arenito Namorado. Monografia submetida ao curso de graduação em Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil p. 27.

- LOPES, J. P., 2002, Estimativas do °API e viscosidade dos petróleos, durante a etapa de perfuração de poços na bacia de campos, a partir de indícios de óleos extraídos de amostras de calha e testemunhos.
- LUCHETTA, A. MANETTI, S., 2002 A real time hydrological forecasting system using a fuzzy clustering approach. *Computers & Geosciences* 29 (2003) 1111–1117
- MAGALHÃES A.C.G.T., 2004, Aplicação do método fuzzy para reconhecimento de padrões em perfis de poços do campo de namorado – bacia de campos. Monografia submetida ao curso de graduação em Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil p.28-31.
- MELLO, M.R., MOHRIAK, W.U., KOUTSOUKOS, E. A. M., HART, M.B., BRASSEL, S.C.,1989 MAXWELL, J.R. Late Cretaceous anoxic events in the Brazilian continental margin: *Organic Geochemistry*, v.14, p. 529-542.
- MELLO, M.R., MOHRIAK, W.U., KOUTSOUKOS, E.A.M., BACOCOLI, G., 994 Selected Petroleum System in Brazil. In: MAGOON, L.B. AND W.G.DOW, eds., *The petroleum system from source to trap: AAPG Memoir* 60, p. 449-512.
- MENEZES, S. X. & ADAMS, T., 1988 Ocorrência de Resistividades Anômalas no Campo de namorado. SEM. TECN. UPER. GEOL., 1988. *Anais...*, v. 2, p. 359-366.
- MILANI, E. J., BRANDÃO, J. A. S. L., ZALÁN, P. U., GAMBOA, L. A. P., 2000, Petróleo na margem continental brasileira> geologia, exploração, resultados e perspectivas. *Revista Brasileira de Geofísica*, vol. 18(3), p. 351-396.
- PEDROSA-SOARES A.C. & WIEDEMANN-LEONARDOS C.M., 2000, Evolution of the Araçuaí Belt and its connection to the Ribeira Belt, Eastern Brazil. In: U.G. CORDANI, MILANI, E.J. THOMAZ-FILHO, A. CAMPOS(EDS.), D.A. 2000, *Tectonic Evolution of South America*. Rio de janeiro. IGC Brazil p.265-285.

- PEDRYCZ, W., VUKOVICH, G., 2003, Fuzzy clustering with supervision. *Pattern Recognition* 37 (2004) 1339– 1349.
- RANGEL, H. D. & MARTINS, F. A. L.,1996, Seção geológica da Bacia de Campos. In: <http://www.anp.gov.br/brasil-rounds/round4/round4/bacias/campos/index.htm>.  
Último acesso: 07/11/2002.
- RANGEL, H. D., MARTINS, F. A. L.; ESTEVES, F. R. & FEIJÓ, F. J.,1994, Bacia de Campo. *Boletim de Geociências da Petrobrás* 8(1): 203-217.
- SAGGAF, M. M., NEBRIJA,E. L., 2002, A fuzzy logic approach for the estimation of facies from wire-line logs. *AAPG Bulletin*, v. 87, no. 7 (July 2003), pp. 1223–1240.
- SILVA, J. C. , 2002, Notas de aula-UFRJ.
- SUN, H., WANGA, S., JIANGB, Q., 2002, FCM-Based Model Selection Algorithms for Determining the Number of Clusters. *Pattern Recognition* 37 (2004) 2027– 2037.
- ZADEH, L. A.,1965, Fuzzy sets: *Information and Control*, v. 8, p. 338– 353.

## APÊNDICE A – LÓGICA DIFUSA – FUZZY

A força da Lógica Difusa deriva da sua habilidade para inferir conclusões e gerar respostas baseadas em informações vagas, ambíguas, qualitativamente, incompletas e imprecisas. Neste aspecto, os sistemas de base difusa têm habilidade de raciocinar de forma semelhante à dos humanos. Seu comportamento é representado de maneira muito simples e natural, levando à construção de sistemas compreensíveis e de fácil manutenção (FEMANET, 2005).

A Lógica Difusa é uma técnica estatística baseada na teoria dos Conjuntos Difusos. Esta é uma generalização da Teoria dos Conjuntos Tradicionais para resolver os paradoxos gerados a partir da classificação “verdadeiro” ou “falso” da Lógica Clássica. Tradicionalmente, uma proposição lógica tem dois extremos: “completamente verdadeiro” ou “completamente falso”. No entanto, na Lógica Difusa, uma premissa varia em grau de verdade de 0 a 1, sendo levada a ser “parcialmente verdadeira” ou “parcialmente falsa” (Magalhães, 2004).

### **Histórico**

O conceito de conjunto fuzzy foi introduzido em 1965 por Zadeh, na Universidade da Califórnia, Berkeley. Em meados da década de 60, Zadeh observou que os recursos tecnológicos disponíveis eram incapazes de automatizar as atividades relacionadas a problemas de natureza industrial, biológica ou química, que compreendessem situações ambíguas, não passíveis de processamento através da lógica computacional fundamentada na lógica booleana. Procurando solucionar esses problemas o Prof. Zadeh publicou em 1965 um artigo resumindo os conceitos dos conjuntos Fuzzy, revolucionando o assunto com a criação de sistemas fuzzy (Magalhães, 2004). Em 1974, o Prof. Mamdani, do Queen Mary College, Universidade de Londres, após inúmeras tentativas frustradas em controlar uma máquina a

vapor com tipos distintos de controladores, resolveram o problema através da aplicação do raciocínio fuzzy. Esse sucesso serviu de alavanca para muitas outras aplicações, como por exemplo em 1980, no controle fuzzy de operação de um forno de cimento. Vieram em seguida, várias outras aplicações, destacando-se, por exemplo, os controladores fuzzy de plantas nucleares, refinarias, processos biológicos e químicos, trocador de calor, máquina diesel, tratamento de água e sistema de operação automática de trens( Magalhães, 2004).

Estimulados pelo desenvolvimento e pelas enormes possibilidades práticas de aplicações que se apresentaram, os estudos sobre sistemas fuzzy e controle de processos avançam rapidamente, culminando com a criação em 1984, da Sociedade Internacional de Sistemas Fuzzy, constituída, principalmente, por pesquisadores dos países mais avançados tecnologicamente. A propósito disto, e apenas a título de ilustração, mais de 30% dos artigos até hoje publicados são de origem japonesa(Magalhães,2004). Atualmente, o desenvolvimento de técnicas de inteligência artificial (IA) cresce a cada dia, uma vez que há uma grande demanda em pesquisas na área de controle de processos industriais e, devido o seu enorme sucesso nas implantações de planta industrial. Já que da Lógica Fuzzy, provêm a base para geração de técnicas poderosas para a solução de problemas, com uma vasta aplicabilidade, especialmente, nas áreas de controle e tomada de decisão.

### **Introdução aos Conjuntos Fuzzy**

Quando se raciocina com base na teoria clássica dos conjuntos, o conceito de pertinência de um elemento a um conjunto fica bem definido. Os elementos de um conjunto  $A$  em um determinado universo  $X$  simplesmente pertencem ou não pertencem àquele conjunto. Isto pode ser expresso pela função característica  $f_A$  :

$$f_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{se e somente se } x \in A \\ 0 & \text{se e somente se } x \notin A \end{cases}$$

Conceito de nebulosidade (*fuzzy*) é introduzido generalizando-se a função característica de modo que ela possa assumir um número infinito de valores diferentes no intervalo  $[0,1]$ .

Assim, um conjunto fuzzy  $A$  em  $X$  é um conjunto de pares ordenados:

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

Onde  $\mu_A(x)$  é a função de pertinência de  $x$  em  $A$  e é definida como o mapeamento de  $X$  no intervalo fechado  $[0,1]$ :

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]$$

A função de pertinência indica quanto um elemento pertence a um dado conjunto. O **conjunto suporte** de um conjunto fuzzy  $A$  é o conjunto de elementos no universo  $X$  para os quais  $\mu_A(x) > 0$ . Assim, um conjunto fuzzy também pode ser visto como o mapeamento do conjunto suporte no intervalo  $[0,1]$ , o que implica em expressar o conjunto fuzzy por sua função de pertinência. Por exemplo, para o conjunto fuzzy  $A = \{\text{baixo}\}$ , no universo dos números positivos menores ou iguais a 100, alguns valores da função de pertinência poderiam ser:

$$\begin{aligned} \mu_A(0) &= \mu_A(5) = \mu_A(10) = \mu_A(15) = \mu_A(20) = 1 \\ \mu_A(25) &= 0,9 \\ \mu_A(30) &= 0,8 \\ \mu_A(45) &= 0,1 \\ \mu_A(50) &= \mu_A(55) = \mu_A(60) = \mu_A(100) = 0 \end{aligned}$$

Uma **variável fuzzy** é uma variável cujos valores são rótulos de conjuntos fuzzy. Estes valores são descritos por intermédio de conjuntos fuzzy. Generalizando, os valores de uma variável podem ser sentenças em uma linguagem especificada. Neste caso, a variável é uma **variável lingüística**. Para ilustrar, os valores da variável fuzzy pressão poderiam ser expressos como “alta, não alta, muito alta, bastante alta, não muito alta, alta mas não muito alta”. Neste caso, os valores fuzzy são sentenças formadas a partir do rótulo “alta”, da negação “não”, dos

conectivos “e” e “mas”, e dos modificadores muito e bastante. Nesse contexto, a variável pressão é uma variável lingüística.

A principal função das variáveis lingüísticas é fornecer uma maneira sistemática para uma caracterização aproximada de fenômenos complexos ou fenômenos mal definidos. Em essência, a utilização do tipo de descrição lingüística empregada por seres humanos, e não de variáveis quantificadas, permite o tratamento de sistemas que são muito complexos para serem analisados através de termos matemáticos convencionais.

A dependência de uma variável lingüística em relação à outra (independente) é descrita através de uma declaração condicional fuzzy (fuzzy conditional statement), da forma:

$$R: \text{SE } \Pi^1 \text{ ENTÃO } \Pi^2$$

Onde  $\Pi^1$  e  $\Pi^2$  são frases fuzzy da forma ( $\Pi$  é  $A$ ) e  $A$  é um subconjunto fuzzy de um universo  $X$ . Pode ser atribuído a  $A$  um significado lingüístico que define o valor de  $X$ .

Por exemplo:

SE  $z$  é pequeno ENTÃO  $w$  é muito grande

SE *erro* é grande negativo ENTÃO *saída* é grande positiva.

Duas ou mais declarações condicionais podem ser combinadas, como, por exemplo:

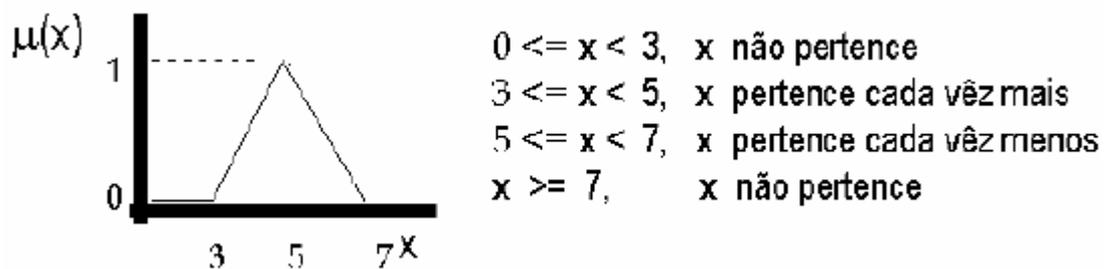
$$R: \text{SE } \Pi^1 \text{ ENTÃO } (\text{SE } \Pi^2 \text{ ENTÃO } \Pi^3)$$

Várias declarações podem ser combinadas através do conectivo **ou**, formando assim um algoritmo fuzzy ( $R_N$ ) da forma:  $R_N: R_1 \text{ ou } R_2 \text{ ou } R_3 \dots \dots \dots \text{ ou } R_n$  (Magalhães,2004).

### **Aplicação:**

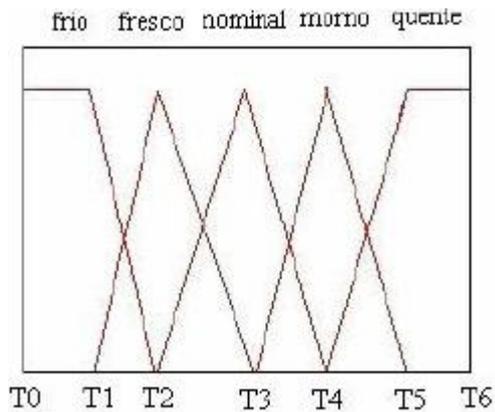
A lógica fuzzy é baseada na teoria dos conjuntos fuzzy descrita no item anterior. Esta é uma generalização da teoria dos conjuntos tradicionais. Tradicionalmente, uma proposição lógica tem dois extremos: ou “completamente verdadeiro” ou “completamente falso”. Entretanto, na lógica fuzzy, uma premissa varia em grau de verdade de 0 a 1, o que leva a ser

parcialmente verdadeira ou parcialmente falsa, conforme pode ser visto na figura 7, na página 21. Com a incorporação do conceito de “grau de verdade”, a teoria dos conjuntos fuzzy estende a teoria dos conjuntos tradicionais. Os grupos são rotulados qualitativamente (usando termos lingüísticos, tais como: alto, morno, ativo, pequeno, perto, etc.) e os elementos destes conjuntos são caracterizados variando o grau de pertinência (valor que indica o grau em que um elemento pertence a um conjunto). Por exemplo, um controlador de temperatura pode considerar 35°C como quente, mas 34,9°C como frio. Em um conjunto fuzzy, diferentemente, as transições entre o membro e o não-membro estão numa faixa gradual, sendo associado um grau ao elemento entre '0' (totalmente não-membro) e '1' (totalmente membro). Naquele controlador de temperatura, 20°C pode ser 'morno' e um pouco frio ao mesmo tempo, 50°C é 'muito quente' e assim por diante. O caminho é criar os estados "fuzzy" -- que é permitir a mudança gradual de um estado para o outro, como demonstrado na figura 8. A partir disto, poderia definir a temperatura de entrada usando funções intermediárias.



Nos conjuntos fuzzy os elementos recebem graus de pertinência em relação a determinado grupo.

Magalhães, 2004.



É possível observar o contato transicional entre os grupos, denominados com variáveis linguísticas. Magalhães, 2004.

Desta forma, o estado da variável de entrada não mais salta abruptamente de um estado para o próximo; ao invés disso ele perde gradualmente valor em um estado, enquanto vai ganhando valor no próximo estado, como demonstrado nas figuras 7 e 8. Até que em algum momento, o "valor verdadeiro" temperatura do freio será quase sempre em algum ponto entre duas funções consecutivas: 0.6 nominal e 0.4 morno, ou 0.7 nominal e 0.3 fresco, e assim por diante.

O grau de pertinência não é probabilidade. Basicamente é uma medida da compatibilidade do objeto com o conceito representado pelo conjunto fuzzy. Por exemplo, o número 0.3 é a compatibilidade de uma pessoa com a definição do conjunto fuzzy dos homens jovens. Esse número 0.3 não é a probabilidade dessa pessoa ser um homem jovem, pois ele já tem sua idade definida. Probabilidade e lógica fuzzy podem ser usadas para mensurar tipos de incertezas. Outra maneira de descrever a diferença entre elas é dizendo que a teoria das probabilidades lida com a expectativa de eventos futuros, baseado em fatores conhecidos. O senso de incerteza é relativo à predição de ocorrência de um evento. O senso de incerteza representado pela lógica fuzzy é resultante da imprecisão de significado de um

conceito expresso pela linguagem natural. Geralmente a lógica fuzzy trabalha com a comparação entre um indivíduo e um dado conceito impreciso.

Em resumo, os conjuntos fuzzy constituem uma "ponte" no caminho de aproximar o raciocínio humano ao da lógica executada pela máquina. Na lógica

Booleana, temos em um conjunto convencional limites bruscos onde a transição dos membros para não membros é abrupta e repentina. O grau de associação do conjunto é especificado, por exemplo, por um número '1' para os membros e '0' para os não membros. Em um conjunto fuzzy, diferentemente, as transições entre o membro e o não - membro estão numa faixa gradual, sendo associado um grau ao elemento entre '0' (totalmente não - membro) e '1'(totalmente membro). Sendo assim, precisão nem sempre é necessária: por exemplo, sob o ponto de vista de conforto térmico, é indiferente se a temperatura da sala estiver a 26°C ou a 25°C. A lógica fuzzy é útil por causa de sua pequena especificidade, pois permite uma resposta mais flexível para uma dada entrada.

A estratégia de controle de um operador humano pode ser representada como um conjunto de relações condicionais fuzzy que formam um conjunto de regras de decisão. Por exemplo, uma regra típica para controle de temperatura poderia ser:

"Se a temperatura está alta e aumentando lentamente, então, aumente o resfriamento um pouco". Esta regra pode ser escrita através de variáveis lingüísticas da seguinte forma: "Se temp = GP e variação\_temp = PP então variação\_resfr = PP", onde os termos primários GP e PP significam "grande positivo" e "pequeno positivo". Uma coleção de regras lógicas de controle é chamada de algoritmo de controle fuzzy, ou regras de controle. A construção de um sistema de controle fuzzy é baseada na idéia de se incorporar "experiência" ou "conhecimento especialista" de um operador humano para se obter a melhor estratégia de controle. Desse modo, a forma das regras empregadas depende do processo a ser controlado.

As variáveis de entrada num sistema de controle fuzzy são em geral mapeadas dentro de conjuntos de funções consecutivas. O processo de conversão de um valor de entrada intermediário em um valor fuzzy é chamado de "fuzzificação".

Determinando o mapeamento das variáveis de entrada dentro das funções consecutivas e valores verdadeiros, o controlador então toma decisões para que as ações sejam efetuadas segundo as regras:

IF temperatura do freio É morna AND velocidade É não muito rápida.

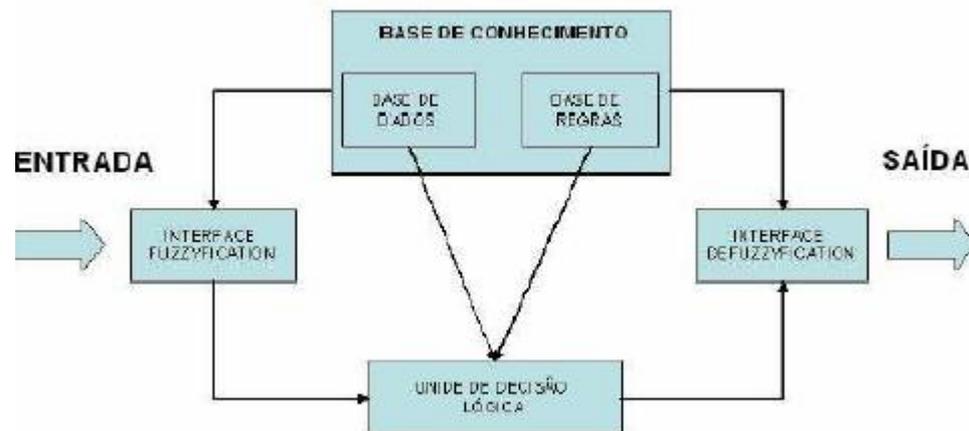
THEN pressão do freio É ligeiramente reduzida onde, neste caso, as duas variáveis de entrada são "temperatura do freio" e "velocidade". A variável de saída, "pressão do freio", é semelhantemente gerada a partir de um conjunto fuzzy que pode ter valores como "estático", "ligeiramente reduzido", "ligeiramente acrescido", e assim por diante. A decisão é baseada em um conjunto de regras, todas as regras que aplicamos são invocadas, usando as funções consecutivas e valores verdadeiros obtidos das entradas, para determinar o resultado da regra, que em troca será mapeada dentro da função consecutiva e valor verdadeiro controlando a variável saída, e depois estes resultados são combinados para gerar uma resposta específica, a atual pressão do freio um procedimento conhecido como "defuzzificação".

O projeto de sistemas de controle fuzzy é baseado em métodos empíricos, basicamente uma aproximação metódica para tentativa-e-erro. Existem poucas regras pré-definidas no presente momento uma vez que a tecnologia é ainda nova; o processo em geral segue os seguintes passos:

1. Documenta-se as especificações operacionais do sistema de entradas e saídas.
2. Documenta-se os conjuntos fuzzy para as entradas.
3. Documenta-se o conjunto de regras.
4. Determina-se o método de defuzzificação.

5. Executa-o através de teste para verificação do sistema, ajustando os detalhes como requerido (Magalhães, 2004).

Estes passos estão esquematizados na Figura 9 e a tabela 2 apresenta as vantagens e desvantagens da utilização da lógica fuzzy.



Sistema de inferência fuzzy. Magalhães, 2004.

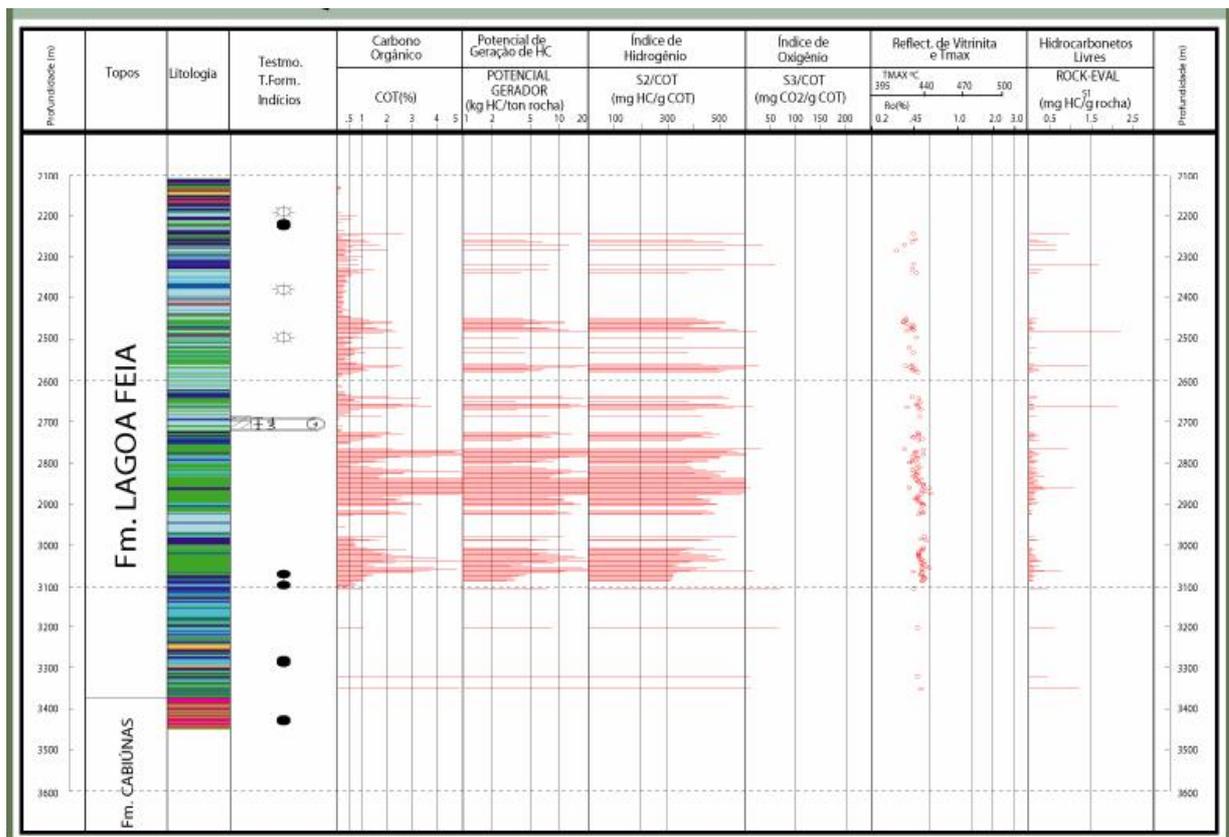
Vantagens	Desvantagens
O uso de variável lingüísticas nos deixa mais perto pensamento humano.	Necessitam de mais simulação e testes.
Requer poucas regras, valores e decisões.	Não aprendem facilmente.
Simplifica a solução de problemas e a aquisição da base do conhecimento.	Dificuldade de estabelecer regras corretamente.
Faz uso das probabilidades lingüísticos (como, PE, provável e improvável) que são interpretados como números nebulosos e manipulados pela sua aritmética.	Mais variáveis observadas podem ser valoradas.
Não há uma definição matemática precisa.	
Manuseia todos os valores entre 0 e 1, tornando estes, como um limite apenas.	Mais fáceis de entender, manter e testar.
São robustos. Operam com falta de regras ou com regras defeituosas.	
Acumulam evidências contra e a favor.	
Proporciona um rápido protótipo dos sistemas.	

Vantagens e desvantagens do uso da Lógica fuzzy (Camargos, 2004). Lógica Nebulosa: uma abordagem filosófica e aplicada, p-3. Adaptada da obra de Cox, ilustra cronologicamente o interesse comercial despertado pela lógica nebulosa. Magalhães, 2004.

## APÊNDICE B – SISTEMA PETROLÍFERO DA BACIA DE CAMPOS

### Rocha Geradora

A mais importante seqüência geradora na Bacia de Campos é constituída por folhelhos calcíferos negros do Cretáceo Inferior (Formação Lagoa Feia), com espessuras variando entre 100 e 300 m (Guardado *et al.*, 1989). Os teores de carbono orgânico total (COT) variam de 2 a 6% e podem exceder 9%, o potencial gerador da pirólise *Rock-Eval* é em média de 38 gHC/ton rocha. Os índices de hidrogênio atingem valores de até 900 mgHC/gCOT, correspondente ao querogênio do tipo I (Figura 3). Os óleos e os extratos orgânicos dos folhelhos geradores mostram biomarcadores típicos de um ambiente deposicional lacustre de água salobra/salgada (Mello *et al.*, 1989; Mello *et al.* (1994).



Perfil geoquímico dos depósitos lacustres salinos que indica o potencial gerador de hidrocarbonetos da Formação Lagoa Feia. GUARDADO *et al.*, 2000.

### Rocha Reservatório

Rochas reservatórios, com boas a excelentes características de permoporosidade, são encontradas em toda a bacia. Os carbonatos (coquinas) da seqüência rifte, bem como os basaltos fraturados e vesiculares do embasamento, também se constituem em excelentes reservatórios. As rochas carbonáticas do Albiano apresentam um grande espectro de reservatórios, que possuem de alta a baixa permeabilidade, característicos de ambientes de alta energia. Os arenitos turbidíticos do Cretáceo Superior (principalmente fácies de canais) e do Terciário (principalmente lóbulos) são os maiores produtores de petróleo da Bacia de Campos (Guardado *et al.*, 1989; Guardado *et al.*, 1997).

### **Rocha Selante**

Segundo Lopes (2002), As rochas que funcionam como selantes dos reservatórios são constituídas por folhelhos marinhos de água profunda.

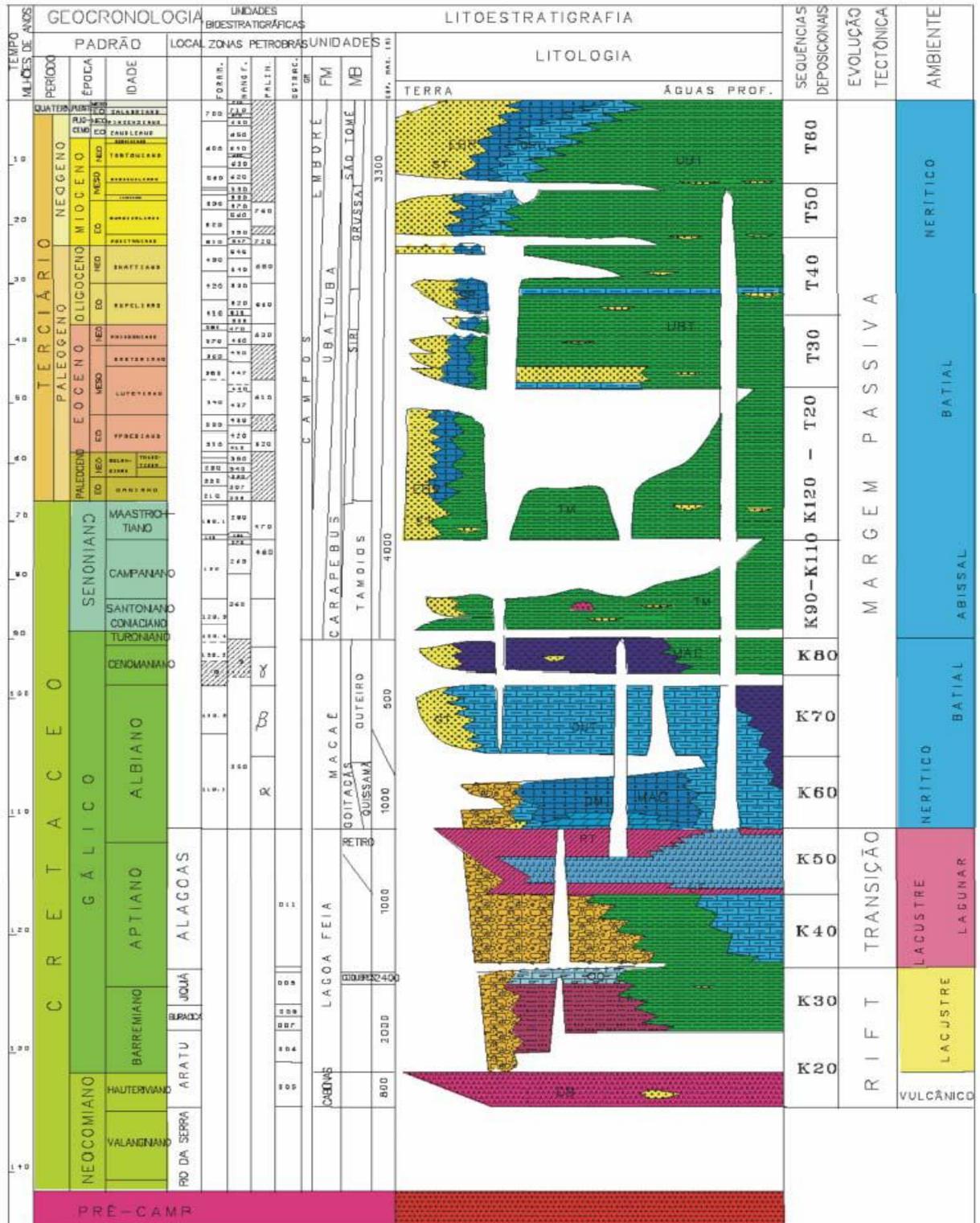
### **Campo de Namorado**

Localizado na porção Central-Norte do *trend* de acumulações petrolíferas da Bacia de Campos, o Campo de Namorado situa-se a 80 Km da costa brasileira, em cotas batimétricas variando entre 110 e 250 metros (Figura 4). Esta unidade sedimentar compõe a porção superior da Formação Macaé, pertencendo à megassequência marinha transgressiva, tendo-se depositado durante os períodos de abaixamento relativo do nível do mar (Albuquerque, 2006).

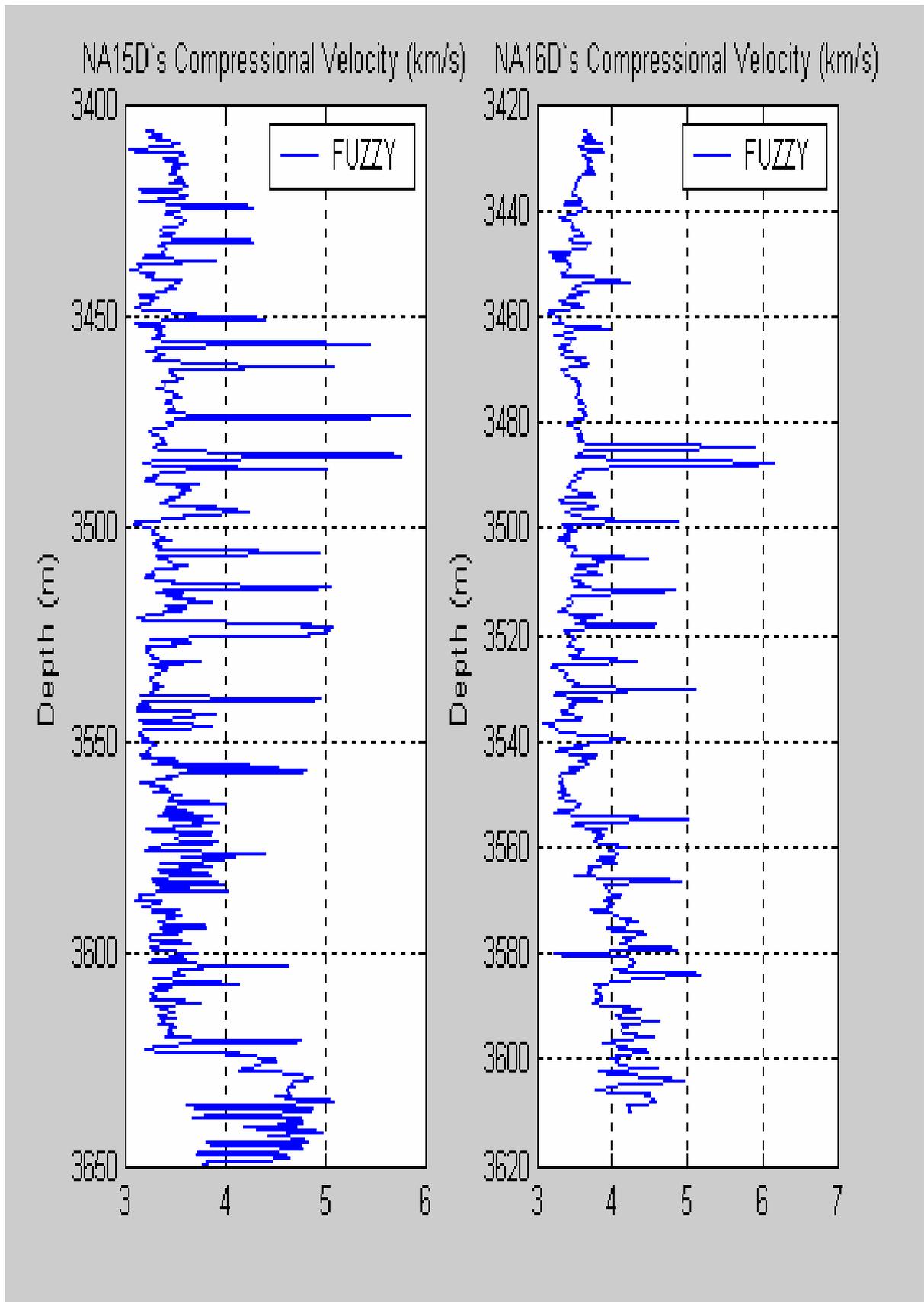
Foi descoberto em novembro de 1975 pelo poço pioneiro 1-RJS-0019-RJ e nele foram perfurados 56 poços, sendo 14 exploratórios e 42 de desenvolvimento. Entrou em produção, em caráter provisório, por meio de um sistema de produção antecipada em junho de 1979. A perfuração dos poços de desenvolvimento começou em dezembro de 1982 utilizando-se a plataforma PNA-1A, com 15 guias, e a PNA-2, com 24. A produção, já com sistema definitivo, iniciou-se em agosto de 1983, com os poços 7-NA-0007-RJ e 7-NA-0008D-RJ. O programa de recuperação secundária teve início em maio de 1984, usando a técnica de injeção de água do mar (Menezes & Adams, 1988).



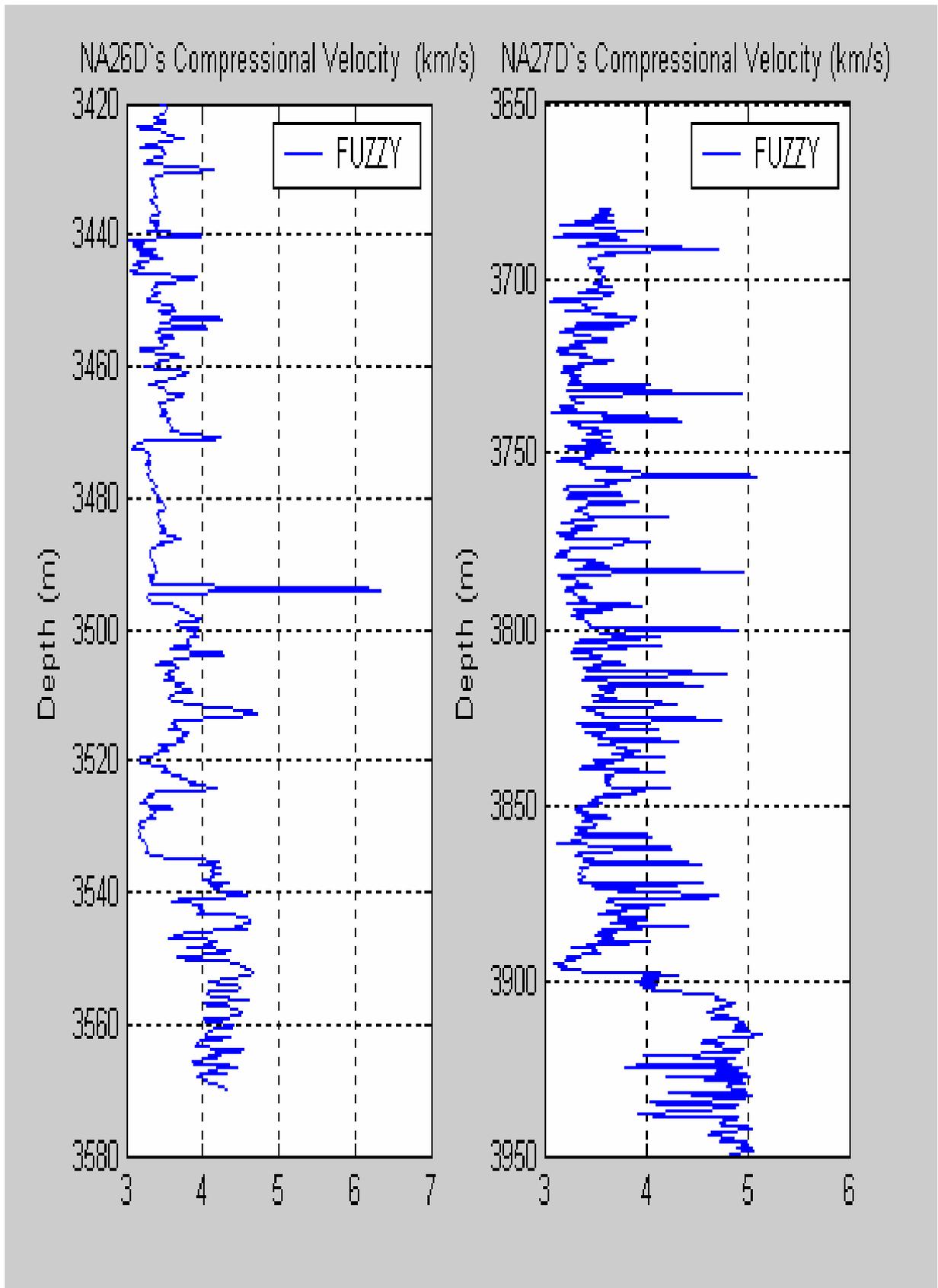
ANEXO A – CARTA ESTRATIGRÁFICA DA BACIA DE CAMPOS. RANGEL & MARTINS, 1996.



## ANEXO B

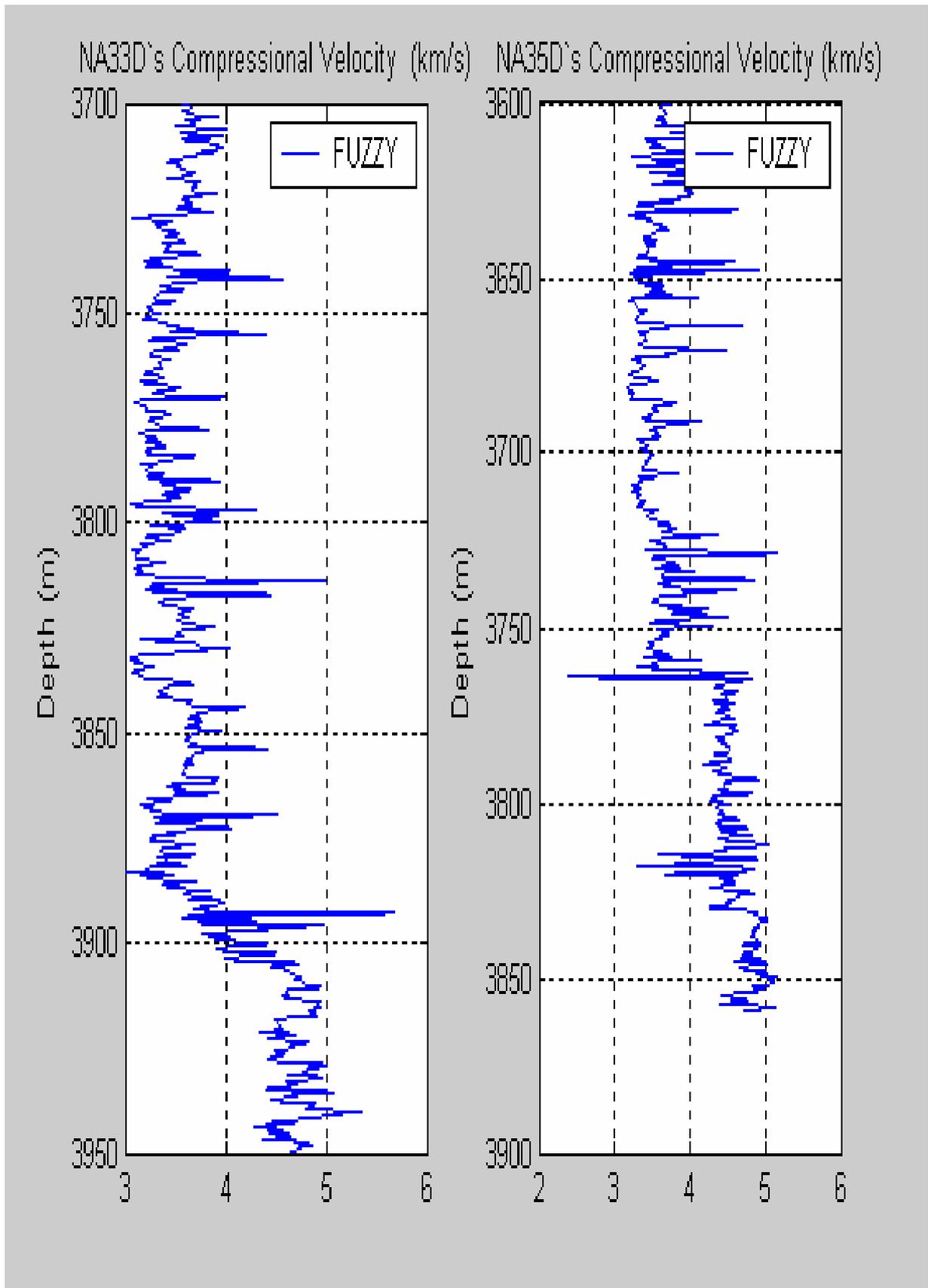


Perfil do poço NA16D à direita e, à esquerda, o perfil do poço NA15D.



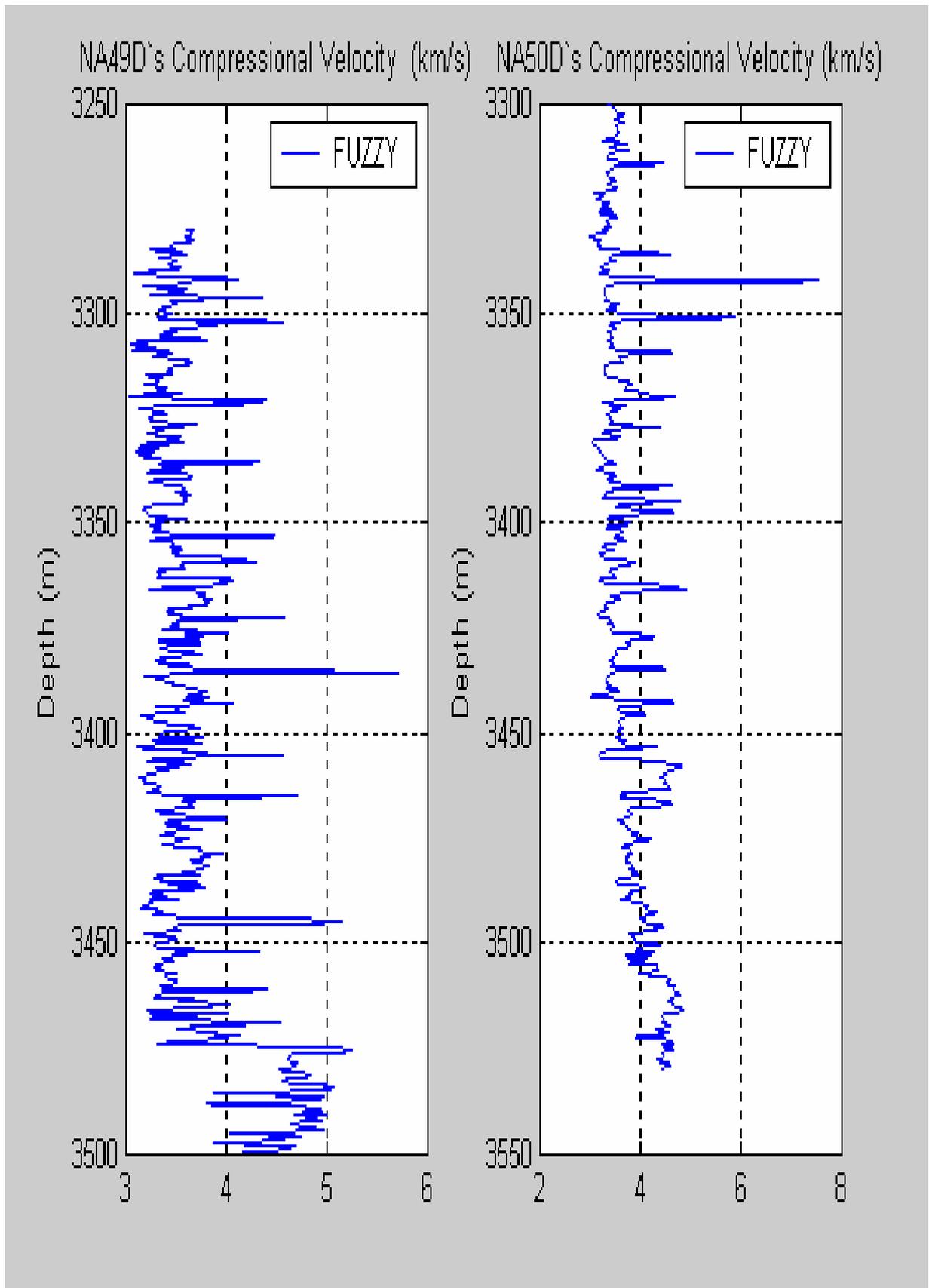
À direita, perfil do poço NA27D e o do poço NA26D, à esquerda.

## ANEXO D



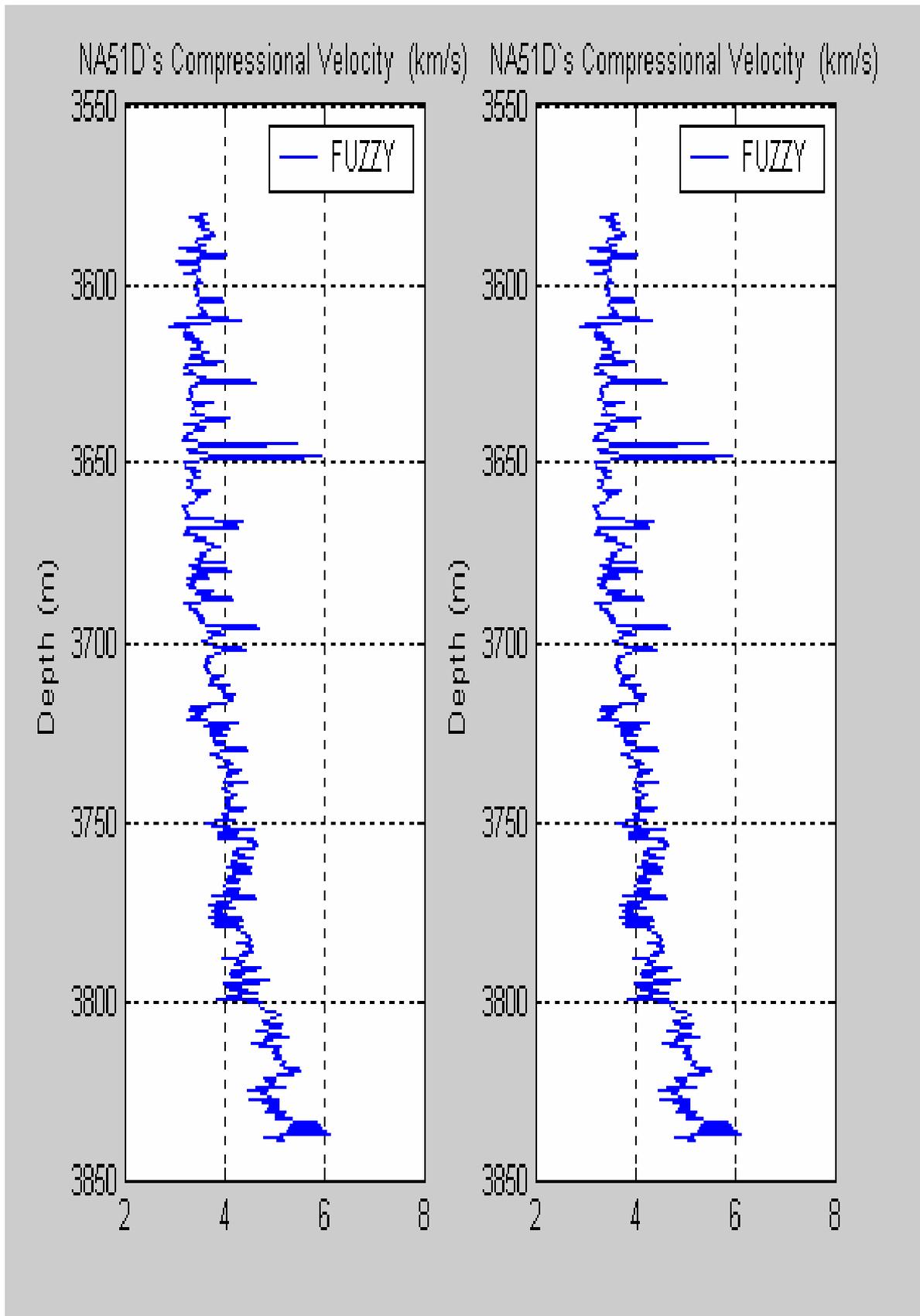
À direita, perfil do poço NA 35D e o perfil da esquerda, é do poço 33D.

## ANEXO E



À direita, perfil do poço NA 50D e o perfil da esquerda, é do poço 49D.

## ANEXO F



Ambos perfis são do poço NA 51D.