



Bruno Roberto Nabuco Corrêa

**UTILIZAÇÃO DE ATRIBUTOS SÍSMICOS PARA OTIMIZAR A
INTERPRETAÇÃO DE FALHAS EM DADOS SÍSMICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
(Bacharelado em Geologia)

UFRJ
Rio de Janeiro
2008



UFRJ

Bruno Roberto Nabuco Corrêa

**UTILIZAÇÃO DE ATRIBUTOS SÍSMICOS PARA OTIMIZAR A INTERPRETAÇÃO
DE FALHAS EM DADOS SÍSMICOS**

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:

Carlos Jorge de Abreu

Rio de Janeiro
Novembro 2008

BRUNO ROBERTO, Nabuco Corrêa

Utilização de atributos sísmicos para otimizar a interpretação de falhas em dados sísmicos. Bruno Roberto Nabuco Corrêa - - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2008.

x, 27 p. : il.; 30cm

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2008.

Orientador: Carlos Jorge de Abreu

1. Geologia. 2. Geofísica – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Carlos Jorge, de Abreu. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geologia. III. Título.

Bruno Roberto Nabuco Corrêa

UTILIZAÇÃO DE ATRIBUTOS SÍSMICOS PARA OTIMIZAR A INTERPRETAÇÃO DE
FALHAS EM DADOS SÍSMICOS

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:

Carlos Jorge de Abreu

Aprovada em: 24.11.2008

Por:

Orientador: Carlos Jorge de Abreu (UFRJ)

Paula Lúcia Ferrucio da Rocha (UFRJ)

José Mário Coelho (UFRJ)

Agradecimentos

Em primeiro lugar ao meu Deus Jeová e ao seu filho Jesus Cristo, por ter permitido que eu tivesse vida e saúde para desenvolver este trabalho.

Aos meus pais, Carlos Alberto Miguel Corrêa e Telma Maria Nabuco, e às minhas irmãs, Simone Nabuco Corrêa e Cíntia Bermudes dos Santos pelo incentivo e apoio ao longo de todos esses anos.

Aos professores Carlos Jorge Abreu e Paula Lúcia Ferrucio da Rocha por suas participações significativas em meu desenvolvimento profissional.

Ao Renato Lopes da Silveira, por ter fornecido, gentilmente, dados que contribuíram grandemente para o desenvolvimento deste trabalho.

A Schlumberger por ter cedido as licenças de Petrel que permitiram a realização deste trabalho.

A todos os docentes e funcionários do Departamento de Geologia da UFRJ, que contribuíram para minha formação intelectual e pessoal.

A todos os meus amigos que conquistei no período que convivemos juntos na faculdade, em especial a Maria Luíza Verdán e Roberto Salvador Dias por todo o apoio e incentivo que recebi ao longo do curso. Foi muito recompensador todo esse período que passamos juntos. Sentirei saudades. Sucesso para todos, é o que desejo!

Resumo

CORRÊA, Bruno Roberto Nabuco. **Utilização de atributos sísmicos para otimizar a interpretação de falhas em dados sísmicos**. 2008. x, 27 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Os atributos sísmicos tem a funcionalidade de ajudar o intérprete a gerar um modelo geológico de uma determinada área sísmica. Alguns atributos são utilizados para identificar um determinado objeto geofísico assim como outros tem a funcionalidade de identificar descontinuidades sísmicas. No presente trabalho utilizou-se alguns atributos que são geralmente usados para realçar ou indicar descontinuidades, tais como, *Structural Smoothing*, *Chaos*, *Variance* nas linhas sísmicas 2D, provenientes da Bacia de Tacutu. Apesar de as linhas sísmicas 2D serem de baixa definição, os atributos auxiliaram a interpretação estrutural das falhas e identificaram com mais nitidez essas regiões. Além disso, aplicou-se o método de interpretação estrutural automática de falhas no cubo de Ant Tracking gerado à partir do cubo sísmico do campo de Gullfaks, utilizando como ferramenta o *software* Petrel. O *Ant Tracking workflow* mostrou ser uma forte ferramenta para a interpretação automática de falhas. Além de capturar feições estruturais de falhas regionais, falhas subsísmicas também podem ser obtidas através da realização deste *workflow*. Após isso, utilizou-se o processo de extração automática de falhas para gerar os *patches* e depois convertê-lo para falhas.

Palavras-chave: atributos; Tacutu; Gullfaks.

Abstract

CORRÊA, Bruno Roberto Nabuco. **Using seismic attributes to optimize fault interpretation in seismic data**. 2008. x, 27 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Seismic Attributes work to help the interpreter to make a geologic model of a seismic area. Some attributes are used to identify a specific geophysic material while others are used to indicate seismic discontinuities. This paper, Structural Smoothing, Chaos, Variance attributes were used in 2D seismic line from Tacutu Basin to enhance or indicate structural discontinuities. Despite of 2D seismic lines are of low definition, the attributes worked to help the fault interpretation and to identify these regions clearly. Moreover, the automatic structural fault interpretation was applied in the Ant Tracking cube generated from 3D seismic cube, located in Gullfaks field, using as tool *Software* Petrel. Ant Tracking workflow is a powerful tool to do automatic fault extraction. Beside of capturing regional faults, subseismic faults can also be extracted with this workflow. After that, fault patches were extracted by Automated Fault Extraction Process and then converted to fault interpretation.

Key-Words: attributes, Tacutu, Gullfaks.

Lista de Figuras

Figura 1.1a. Esquema de método sísmico de prospecção aplicado em terra e no mar (histpetroleo, 2009)

Figura 1.1b. Esquema de aquisição 3D marítima (Sercel, 2003).

Figura 2.1.2. *Ant tracking workflow*

Figura 2.1.2b. Processo utilizado para gerar o Cubo de *Ant Tracking* no Petrel com a opção *Passive ants* selecionada

Figura 3.1.1a. Mapa geológico da Bacia do Tacutu (Silva & Porsani, 2006)

Figura 3.1.1b. Carta estratigráfica da Bacia do Tacutu, (Silva & Porsani, 2006 modificado por Eiras & Kinoshita (1990))

Figura 3.2. Horiaonte sísmico obtido a partir de um cubo 3D do campo de Gullfaks, realizado com o *software* Petrel

Figura 3.2.1a. Mapa de localização do campo de Gullfaks (STATOIL, 2008)

Figura 3.2.1b. Mapa estrutural e uma seção do campo de Gullfaks (STATOIL, 2008)

Figura 4.1a. Linha sísmica 50-RL-88 original na janela de interpretação do *software* Petrel

Figura 4.1b. Linha sísmica 50-RL-88 após a aplicação do atributo *Structural Smoothing* na janela de interpretação do *software* Petrel

Figura 4.1c. Linha sísmica 50-RL-88 após a aplicação do atributo de *Chãos* na janela de interpretação do *software* Petrel

Figura 4.1d. Linha sísmica 50-RL-88 após a aplicação do atributo de *Variance* na janela de interpretação do *software* Petrel

Figura 4.1e. Linha sísmica 50-RL-90 original na janela de interpretação do *software* Petrel

Figura 4.1f. Linha sísmica 50-RL-90 após a aplicação do atributo *Structural Smoothing* na janela de interpretação do *software* Petrel

Figura 4.1g. Linha sísmica 50-RL-90 após a aplicação do atributo de *Chãos* na janela de interpretação do *software* Petrel

Figura 4.1h. Linha sísmica 50-RL-90 após a aplicação do atributo de *Variance* na janela de interpretação do *software* Petrel

Figura 4.1i. Linha sísmica 50-RL-88 após o atributo de *Chaos* indicando as falhas interpretadas na janela de interpretação do *software* Petrel

Figura 4.1j. Linha sísmica 50-RL-90 após o atributo de *Chaos* indicando as falhas interpretadas na janela de interpretação do *software* Petrel

Figura 4.2a. Seção time slice do cubo de *Ant Tracking*. (a) *Ant Tracking passive* indicando falhas de aspecto regional; (b) *Ant Tracking passive-aggressive*; (c) *Ant Tracking passive-aggressive* indicando com maior detalhe as falhas; gerados no *software* Petrel

Figura 4.2b. Visualização 3D do cubo de *Ant Tracking* do campo de Gulfaks com falhas obtidas através do processo *Automated Fault Extraction* gerado no *software* Petrel

Sumário

| | |
|--|------|
| Agradecimentos | v |
| Resumo | vi |
| <i>Abstract</i> | vii |
| Lista de figuras | viii |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1 Sísmica..... | 1 |
| 1.2 Objetivo..... | 5 |
| 2 METODOLOGIA..... | 6 |
| 2.1 Atributos sísmicos..... | 6 |
| 2.1.1 Aplicações de atributos na sísmica 2D..... | 8 |
| 2.1.2 Aplicação do <i>Ant tracking workflow</i> na sísmica 3D..... | 8 |
| 3 DADOS SÍSMICOS..... | 11 |
| 3.1 Dados Sísmicos 2D..... | 11 |
| 3.1.1 Aspecto regional da bacia do Tacutu..... | 11 |
| 3.2 Dados sísmicos 3D..... | 14 |
| 3.2.1 Aspectos relevantes do campo de Gulfaks..... | 15 |
| 4 RESULTADOS..... | 17 |
| 4.1 Análise dos atributos gerados para a sísmica 2D..... | 17 |
| 4.2 Análise do <i>Ant Tracking Workflow</i> para a sísmica 3D..... | 23 |
| 5 CONCLUSÕES..... | 25 |
| 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 26 |

1. INTRODUÇÃO

A Geofísica é a ciência que estuda a Terra usando medidas físicas tomadas normalmente na sua superfície, envolvendo a investigação de partes profundas da Terra, geralmente inacessíveis às observações diretas (SBGF, 2003). Através da interpretação das observações feitas na superfície, informações sobre a estrutura e composição de zonas inacessíveis são geradas. Grande parte das ferramentas e técnicas desenvolvidas para tais estudos tem sido aplicada em pesquisas acadêmicas sobre a natureza do interior da Terra. Entretanto, o grande avanço obtido nas técnicas geofísicas é, principalmente, devido à sua forte utilização na exploração de hidrocarbonetos e de minérios. Especificamente, dentre as técnicas geofísicas, na área de exploração de petróleo, a prospecção sísmica é a mais utilizada.

A forte utilização da sísmica na exploração de bacias sedimentares e desenvolvimento de reservatórios de hidrocarbonetos deve-se à sua larga e densa amostragem tanto em área quanto em profundidade aliada ao contínuo refinamento de técnicas de tratamento e interpretação dos dados sísmicos. O desenvolvimento de tecnologias nas áreas de aquisição, processamento e interpretação dos dados sísmicos, aliado ao estudo das relações entre propriedades sísmicas, propriedades petrofísicas e condições ambientais, tornaram esta técnica indiscutivelmente a mais poderosa ferramenta de exploração e umas das mais importantes na caracterização de reservatórios de petróleo (Matos, 2004).

1.1. Sísmica

O método sísmico (ou sísmica aplicada) tem como objetivo principal a geração de modelos, utilizando dados reais ou sintéticos que, depois de processados e organizados, forneçam informações a respeito da geologia da região onde foram adquiridos. Dentre os métodos existentes, o método sísmico, classificado como um método indireto de exploração da subsuperfície, possui várias vantagens. Por exemplo, a capacidade de reproduzir imagens sísmicas que fornecem alta definição das feições

geológicas, além da capacidade de cobrir grandes áreas com um baixo custo se comparado a um método de aquisição direta, como por exemplo, perfuração de poços.

O método sísmico consiste em gerar ondas elásticas através do uso de uma fonte artificial de energia, da detonação de explosivos enterrados a poucos metros de profundidade, ou na superfície da água que provocam deformações temporárias nas rochas. Aquelas deformações propagam-se por ondas elásticas denominadas ondas sísmicas. Também se pode provocar ondas sísmicas com o choque de um corpo em queda livre sobre o solo (martelo) ou com caminhões vibradores. Quando o meio físico em que se propagam as ondas sísmicas não é homogêneo, como em camadas de diferentes tipos de rochas, as ondas sísmicas sofrem reflexões e refrações. As superfícies separadoras, das diferentes camadas de rochas com características elásticas distintas, designam-se por horizontes de reflexão ou de refração.

Sendo assim, o método de reflexão sísmica consiste, de uma forma simplificada, em receber e registrar as ondas sísmicas, provocadas por fontes artificiais de energia, usando uma bateria de geofones. Os geofones são pequenos sismógrafos portáteis que transformam as oscilações das rochas em correntes elétricas, as quais depois de amplificadas e filtradas são registradas em papel ou fotografia, chamado sismograma, ou armazenadas em fitas. Quando se aplica este método no mar no lugar de geofones usam-se hidrofones colocados em bóias rebocadas pelo navio-base (Figura 1.1a).



Figura 1.1a. Esquema de método sísmico de prospecção aplicado em terra e no mar (histpetroleo, 2009)

Segundo Yilmaz (Yilmaz & Dohert, 2000), a análise sísmica é dividida em três partes:

- A) Aquisição sísmica
- B) Processamento sísmico
- C) Interpretação sísmica

A) Aquisição sísmica: um levantamento sísmico consiste em definir as linhas de aquisição e os pontos onde serão colocadas as fontes. A Figura 1.1a ilustra um esquema de aquisição sísmica na terra e no mar. Em ambas, as ondas elásticas, após propagarem-se e se refletirem pelas diversas camadas do subsolo, são registradas através de sensores na superfície. A medida gravada em cada receptor, que é função do tempo de ida e volta da onda, é chamada traço sísmico, enquanto o conjunto de traços gravado para cada onda gerada é chamado de tiro sísmico. Quando a aquisição sísmica é realizada através de uma única linha como ilustrado na Figura 1.1a, o tiro sísmico resulta em uma imagem bidimensional e diz-se que a aquisição é do tipo 2D. Quando a aquisição é realizada por um conjunto de linhas em paralelo ou uma rede bidimensional de sensores diz-se que a aquisição é do tipo 3D e o resultado é a obtenção de um cubo sísmico (Figura 1.1b).

B). Processamento sísmico: para que a aquisição sísmica represente mais realisticamente a estrutura geológica da sub-superfície os tiros sísmico devem ser ajustados. Este processo de ajuste é chamado de processamento sísmico ou imageamento, e diz-se que após os dados adquiridos serem devidamente processados forma uma linha sísmica para o caso 2D ou um cubo sísmico para o caso 3D (Matos, 2004).

C). Interpretação sísmica: na etapa de interpretação, o intérprete, em geral um geólogo ou geofísico, analisa os dados sísmicos e tenta criar um modelo que represente a geologia contida na área do levantamento. A interpretação sísmica pode ser classificada, de acordo com o foco, em dois tipos: estrutural e estratigráfica. A interpretação estrutural basicamente tenta identificar as camadas geológicas ou, de forma equivalente, as interfaces entre as camadas, bem como as falhas geológicas que recortam as camadas. Na interpretação estratigráfica o foco do trabalho está em entender a maneira como as camadas foram se formando ao longo do tempo.

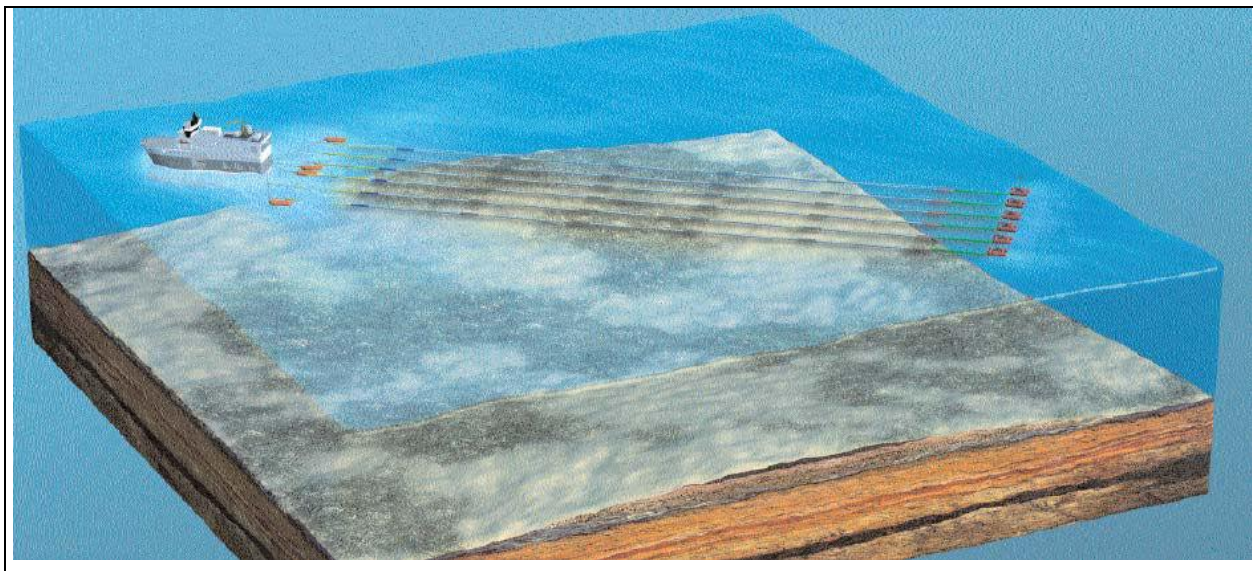


Figura 1.1b. Esquema de aquisição 3D marítima (Sercel, 2003).

1.2. Objetivo

No presente trabalho serão abordados alguns atributos que são geralmente usados para realçar ou identificar discontinuidades, tais como, *Structural Smoothing*, *Chaos*, *Variance* e *Ant Tracking* e aplicados na tentativa de realçar algumas feições estruturais nas linhas sísmicas 2D e avaliar os resultados e benefícios para a interpretação, embora esses atributos sejam geralmente aplicados para dados sísmicos 3D.

Além disso, aplicar o método de interpretação estrutural de falhas de forma automática em um cubo sísmico, utilizando como ferramenta o *software* Petrel, disponibilizar o fluxo de trabalho e avaliar os benefícios para a interpretação.

2. METODOLOGIA

2.1. Atributos Sísmicos

Taner, que popularizou a utilização de atributos sísmicos no final dos anos 1970, define atributo sísmico como “qualquer informação obtida a partir dos dados sísmicos seja por medida direta, seja por um raciocínio lógico ou baseado na experiência” (Taner, 2001).

Existem vários tipos de atributos, cada um com sua funcionalidade. Existe um atributo que melhor identifica um determinado material geofísico, outro para identificar descontinuidades sísmicas e assim por diante. O principal objetivo dos atributos sísmicos é ajudar o intérprete a gerar um modelo geológico de uma determinada área sísmica. Quanto mais detalhado for o modelo geológico feito pelo intérprete maior será o índice de sucesso na exploração da área em questão.

Structural Smoothing suaviza o dado de entrada, a sísmica original, orientado pela estrutural local para aumentar a continuidade dos refletores sísmicos (Randen et al. 2000). Este atributo reduz ruídos sem destruir as feições de falhas presente no dado original. A principal componente dip e azimute computará a orientação local.

Variance estima a variância local como medida de similaridade do sinal. (Bemmel et al., 2000; Randen et al., 2001). É um método de detecção de borda. Para cada voxel, a variância local é calculada em fatias horizontais. Se a fatia está dentro de de uma interface contínua entre camada, isto é, não interceptada por uma falha, a variância da amplitude é pequena; por outro lado, variações de amplitude devidas a uma falha resultam em variância alta. Uma vez calculada a variância local em todas as amostras de todas as fatias horizontais do cubo de dados sísmicos, cada estimativa de variância é suavizada pelo cálculo da média ao longo da direção vertical.

O atributo de *Chaos* gera um padrão caótico dentro do cubo sísmico que representa uma medida da falta de organização do método de estimação do dip e

azimute. Sinal caótico pode ser usado para iluminar falhas e descontinuidades e para classificação sísmica de textura caótica.

Ant Tracking é um algoritmo de pós processamento de um atributo de falha (Pedersen et al., 2002), na qual os eventos associados com falhas se apresentam mais bem definidos e contínuos, enquanto eventos não associados com estruturas de falhas são eliminados.

O *Ant Tracking* se baseia na idéia de inteligência de enxames (*swarm intelligence*) (Dorigo et al., 1999; Bonbeau, 2000; Dorigo & Stutzle, 2004). Inteligência de enxames é um termo que descreve comportamentos coletivos de insetos sociais. Um exemplo é como as formigas encontram o caminho mais curto entre o formigueiro e uma fonte de alimentos, utilizando uma forma de comunicação por feromônios. Os feromônios são substâncias químicas que atraem outras formigas. As formigas que seguem pelo caminho mais curto chegam antes ao formigueiro do que as que escolhem outro caminho, deixando o caminho mais marcado com feromônios do que um trajeto mais longo. Outras formigas serão atraídas pelos feromônios reforçando cada vez mais a trilha do caminho curto.

No *Ant Tracking* as propriedades das falhas que se deseja encontrar são codificadas como comportamentos de agentes autônomos (agentes de software inteligentes) que são capazes de reforçar e extrair respostas compatíveis com as falhas no volume do atributo. Um grande número de agentes é distribuído no volume e cada agente tem a liberdade de se mover ao longo do que lhe parece ser uma superfície de falha. Durante seu movimento, são emitidos feromônios. Agentes depositados em pontos onde não existe superfície de falha, somente ruído estruturado ou existe uma superfície que não é compatível com uma falha terão uma vida curta. Por outro lado, agentes depositados em uma falha devem ser capazes de percorrer a superfície de falha, sobrevivendo mais tempo. O que se espera é que as superfícies percorridas por muitos agentes depositados em diferentes pontos de volume, ficando fortemente marcadas por feromônios. Regiões não compatíveis com as expectativas terminam

desmarcadas ou fracamente marcadas e devem ser removidas pelo uso de um valor de limiar.

2.1.1. Aplicação de Atributos na Sísmica 2D

Primeiramente, utilizou-se como ferramenta o *software* Petrel, disponibilizado pela Schlumberger, para geração do atributo *Structural Smoothing* à partir do dado original (linhas sísmicas 50-RL-88 e 50-RL-90), com o objetivo de suavizar os ruídos existentes no dado. Além disso, foi aplicado um outro atributo chamado *Variance* utilizando como dado de entrada a linha sísmica resultante da aplicação atributo *Structural Smoothing*. Este cubo suavizado também foi usado como dado de entrada para geração do atributo de *Chaos*.

Embora esses atributos tenham funcionado relativamente bem para as linhas sísmicas 2D mencionadas neste trabalho, o *Ant Tracking*, atributo patentado pela Schlumberger, não forneceu bom resultado. Sendo assim, não foi possível utilizá-lo nessas linhas.

2.1.2. Aplicação do *Ant Tracking Workflow* na sísmica 3D

O *Ant Tracking Workflow* é uma metodologia utilizada por alguns geofísicos e geólogos para fazer o mapeamento de falhas com mais acurácia e gerar superfícies de falhas através do processo automático em cubo sísmico. A Figura 3.2a mostra o típico *workflow* e a sequência de passos que foram aplicados na sísmica 3D (Tutorial Petrel, 2007).

- Passo 1: Como o volume sísmico original geralmente contém ruídos que não contribui para a extração de descontinuidades de eventos no volume, a aplicação do atributo *Structural Smoothing* foi importante para eliminar ruídos e aperfeiçoar a continuidade espacial dos refletores.
- Passo 2: Aplicação do método de detecção de borda no volume suavizado gerado no passo 1, se certificando que as descontinuidades presentes no dado que

representam a verdadeira estrutura, não fossem eliminados. *Variance* e *Chaos* são métodos comumente usados para detecção de borda. No presente trabalho, o atributo de *Variance* foi escolhido para o *workflow*.

- Passo 3: Descreve as etapas para a geração do Cubo de *Ant Tracking*. Foi feita uma modificação no *workflow* para que o volume de *Ant Tracking* resultante mostrasse com bastante nitidez as descontinuidades.
 - Primeira etapa, gerar cubo de *Ant Tracking* com os parâmetros *Passive ants* que realça e extrai descontinuidades regionais presentes no dado utilizando o cubo de *Variance* (Figura 2.1.2b). Cubo resultante foi denominado *Ant Tracking passive*.
 - Segunda etapa, usar o cubo de *Ant Tracking passive* como dado de entrada para formar um outro cubo de *Ant Tracking*, utilizando desta vez os parâmetros *Aggressive ants* (usado para realçar as falhas menores). Cubo resultante foi denominado *Ant Tracking passive-aggressive*.
 - Terceira etapa, usar o cubo de *Ant Tracking passive-aggressive* para gerar um outro cubo de *Ant Tracking* utilizando os parâmetros *Passive Ants*. Cubo resultante final foi denominado *Ant Tracking passive-aggressive-passive*.
 - Em todas as etapas, a opção que filtra descontinuidades com inclinação abaixo de 50 graus foi aplicada, para que os cubos gerados não capturassem refletores de horizontes sísmicos. A seqüência das etapas foi fundamental para que o cubo final de *Ant Tracking* deixasse em evidência claramente as falhas dominantes e facilitasse o processo de extração automática de falha.
- Passo 4: Para a extração automática das superfícies de falhas, usou-se o processo *Automatic Faut Extraction*. O uso de algumas ferramentas disponíveis

neste processo foi necessária para a edição e conexão dos *patches* de falhas gerados.

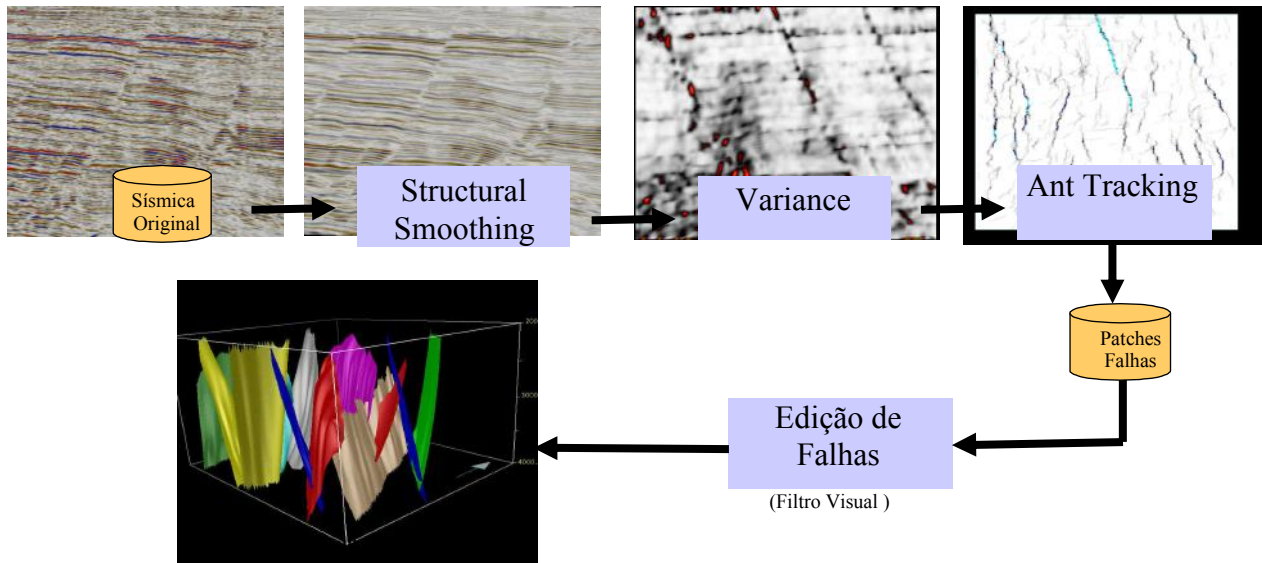


Figura 2.1.2a. Ant Tracking Workflow

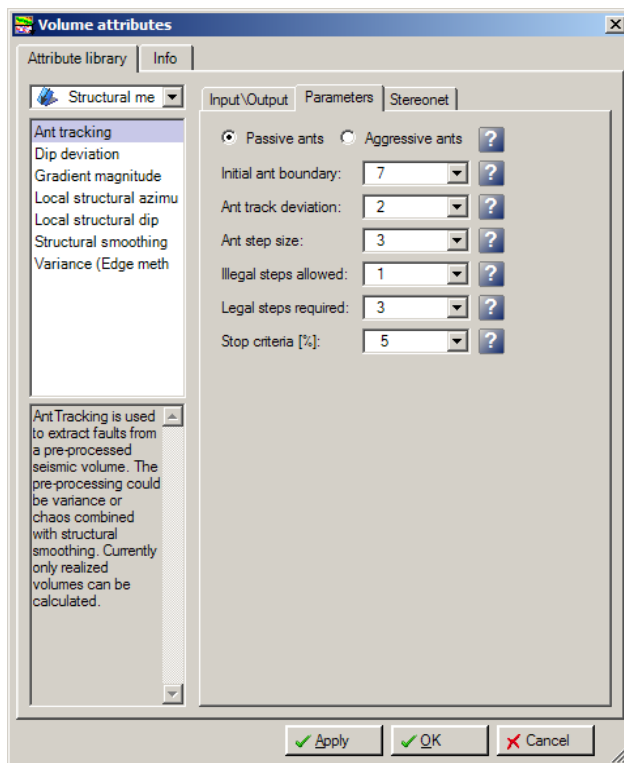


Figura 2.1.2b. Processo utilizado para gerar o Cubo de *Ant Tracking* no Petrel com a opção *Passive ants* selecionada.

3. DADOS SÍSMICOS

3.1. Dados Sísmicos 2D

As linhas sísmicas de reflexão utilizadas neste trabalho foram as seguintes: 50-RL-88 (NW/SE) e 50-RL-90 (NE/SW). Essas aquisições sísmicas foram realizadas pela Petrobras no período de 1981 e 1986, com o objetivo de iniciar o processo exploratório de hidrocarbonetos na área brasileira da Bacia do Tacutu. Uma cópia de algumas linhas sísmicas desses levantamentos estão disponíveis na ANP (Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis).

3.1.1 Aspecto Regional da Bacia do Tacutu

A Bacia sedimentar do Tacutu, de idade Mesozóica, desenvolveu-se como um rifte intracontinental, com um alongamento na direção NE-SO de aproximadamente 300 km de comprimento e entre 30 e 50 km de largura (Eiras & Kinoshita, 1987). Segundo a classificação de Klemme (1980), a Bacia do Tacutu é do tipo III, definida como um rifte cratônico, que tem de pequeno a médio porte, linear e falhada, podendo ou não representar uma área de espalhamento do assoalho oceânico incipiente. O gráben do Tacutu encontra-se inserido na região central do Cráton Escudo das Guianas, na fronteira entre o estado brasileiro de Roraima e o distrito de Rupununi na Guiana. Os limites do gráben são facilmente identificados: pelos afloramentos de basalto existentes a nordeste, nas Colinas de Toucan–Guiana, e a sudoeste, na Serra de Nova Olinda-Brasil; pelas falhas normais Lethem e do Kanuku, que determinam o limite sudeste; a noroeste, o limite é definido pelas falhas normais do Surumu e do Maú. Esses limites estão ilustrados na Figura 3.1.1a.

O arcabouço estratigráfico da bacia compreende rochas sedimentares e vulcano-sedimentares, sendo caracterizada por quatro seqüências deposicionais (Figura 3.1.1b):

1. Seqüência basal A – fase pré-rifte, que envolve os basaltos do jurássico das Formações Apoteri e os siltitos de ambiente lacustre da Formação Manari;

2. Seqüência B – fase rifte “ativo”, ocorrendo intenso estiramento mecânico da crosta, sendo caracterizada pela Formação Pirara e por leques de borda no sudeste da bacia;
3. Seqüência C – representa a fase rifte “passivo”, onde ocorre a diminuição gradativa do estiramento crustal, e posteriormente o assoreamento e formação do rifte. Compreende os clásticos de ambiente aluvial e deltáltico das Formações Tacutu e Tucano, além de possíveis leques de borda;
4. Seqüência D – fase pós-rifte, com a deposição de sedimentos clásticos após erosão do cráton no plioceno (devido a evento transcorrente ocorrido) representada pela Formação Boa Vista e Savanas do Norte na Guiana (Silva & Porsani, 2006).

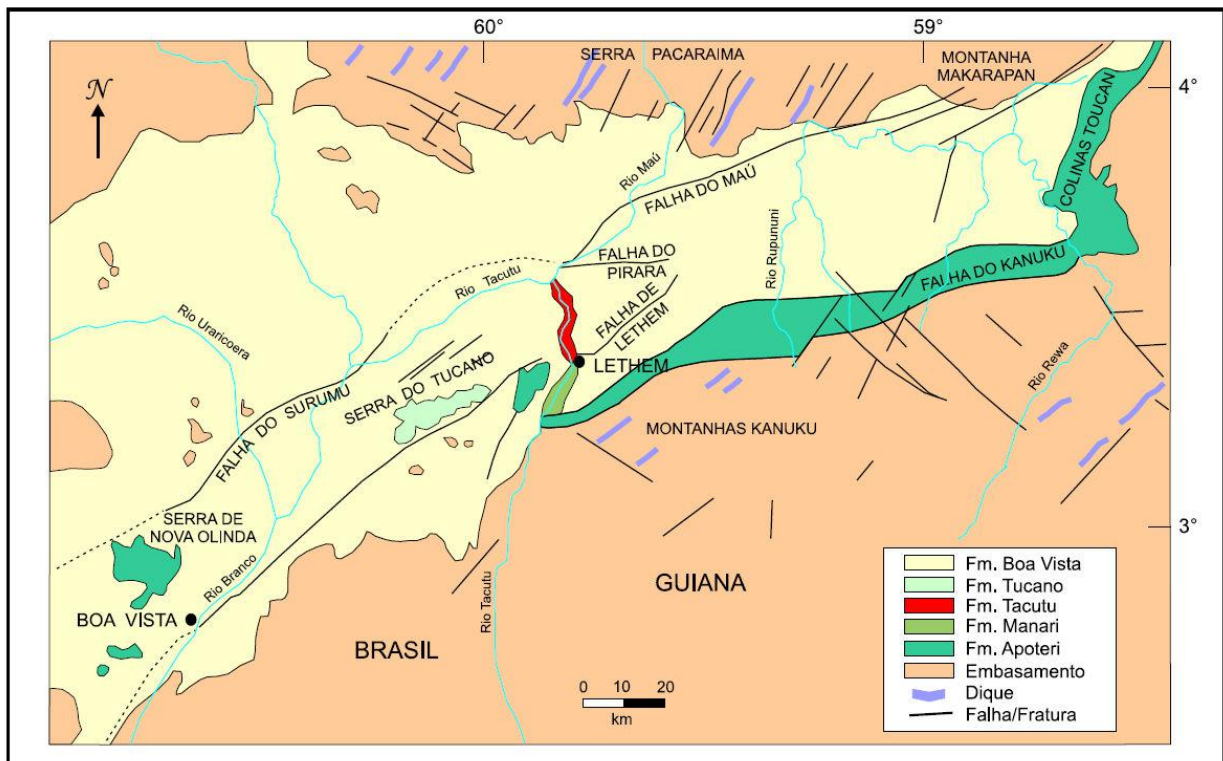


Figura 3.1.1a. Mapa geológico da Bacia do Tacutu (Silva & Porsani, 2006)

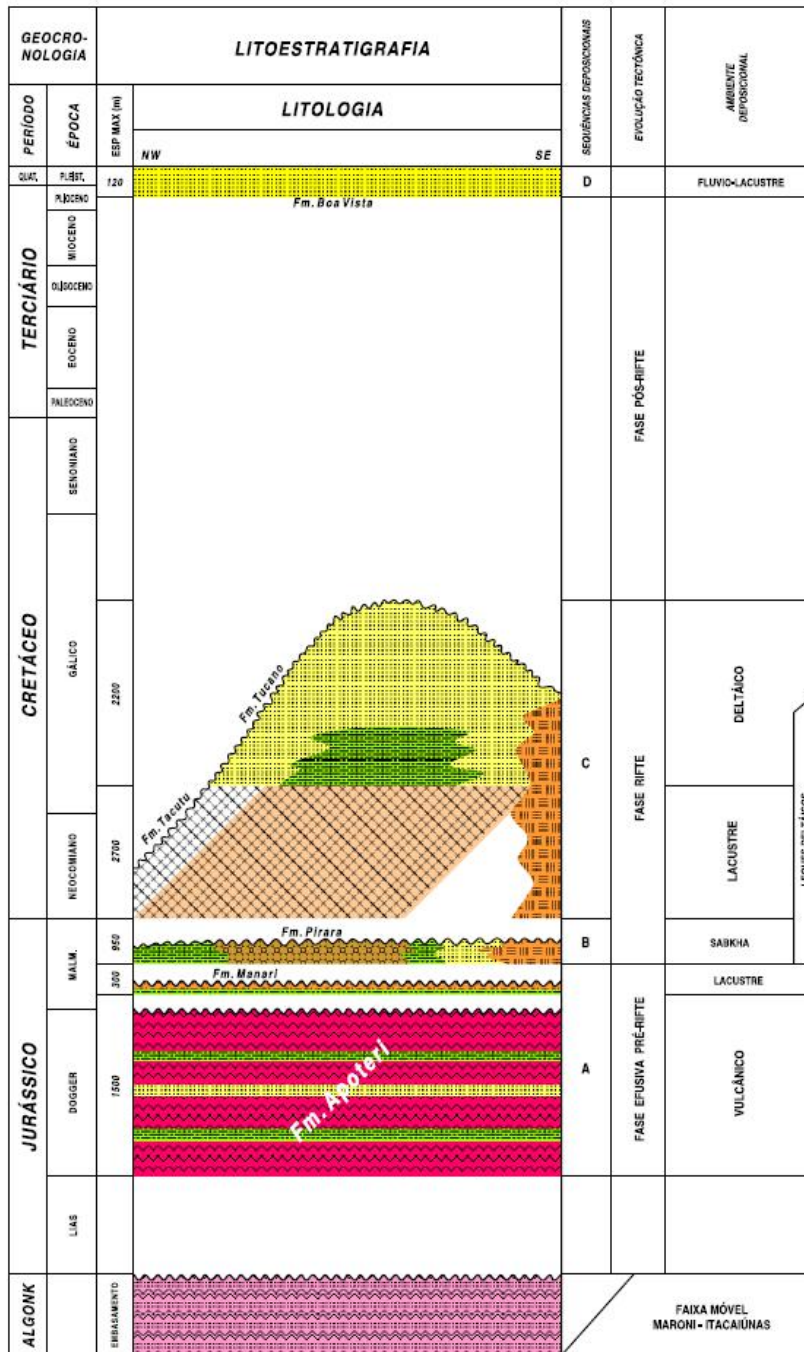


Figura 3.1.1b. Carta estratigráfica da Bacia do Tacutu, (Silva & Porsani, 2006 modificado por Eiras & Kinoshita (1990))

3.2. Dados Sísmicos 3D

O cubo sísmico utilizado é proveniente do Campo Gullfaks, situado na Noruega, no Mar do Norte cujos dados que lhe deram origem está disponível na internet. Este levantamento possui a extensão de aproximadamente 7.500 metros na direção da *inline* (eixo x) e aproximadamente 9.300 metros na direção da *crossline* (eixo y). O cubo é composto de 375 *inlines* (eixo x) e 301 *crosslines* (eixo y) (Figura 3.2).

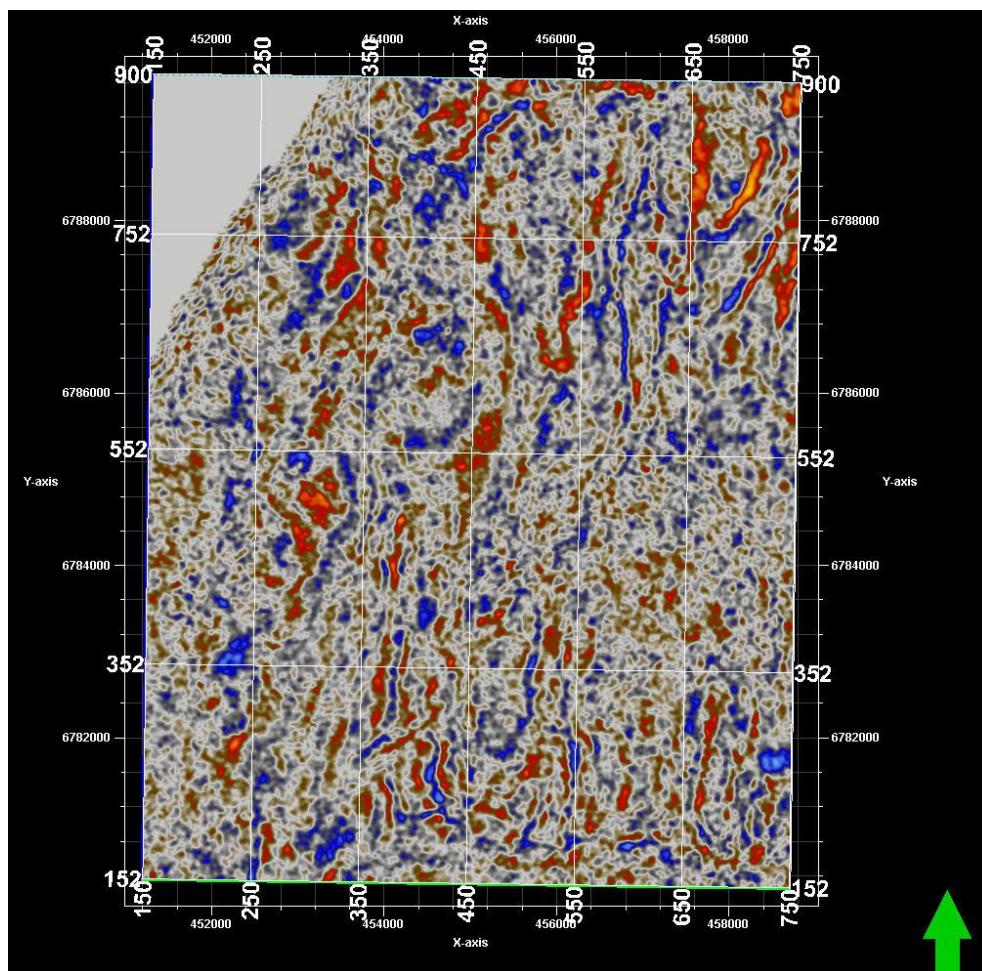


Figura 3.2. Horizonte sísmico obtido a partir de um cubo 3D do campo de Gullfaks, realizado com o *software* Petrel

3.2.1. Aspectos relevantes do Campo de Gullfaks

O campo de Gullfaks está situado na região da Noruega, no Mar do Norte (Figura 3.2.1a). As unidades do reservatório são arenitos de idade Jurássico inferior e médio aproximadamente 2000 metros abaixo do nível do mar e com centenas de metros de espessura. A qualidade do reservatório geralmente é muito alta e apresenta ótima permeabilidade dependendo da camada e da locação.

O campo de Gullfaks é muito complexo e geralmente é dividido em 3 domínios estruturais: a oeste, sistema de falhas estilo dominó, com falhas e estratos caindo para leste; um complexo de rochas de estratos sub-horizontais fortemente erodidos; e uma zona de acomodação transicional (sistema de grábens) da qual é, em parte, identificado como uma dobra anticlinal modificada (Figura 3.2.1b).

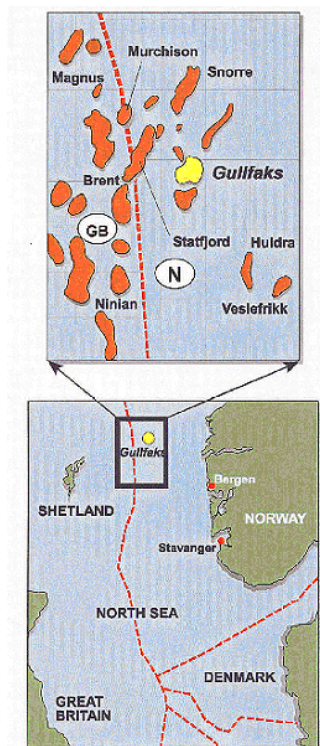


Figura 3.2.1a. Mapa de localização do campo de Gullfaks (STATOIL, 2008)

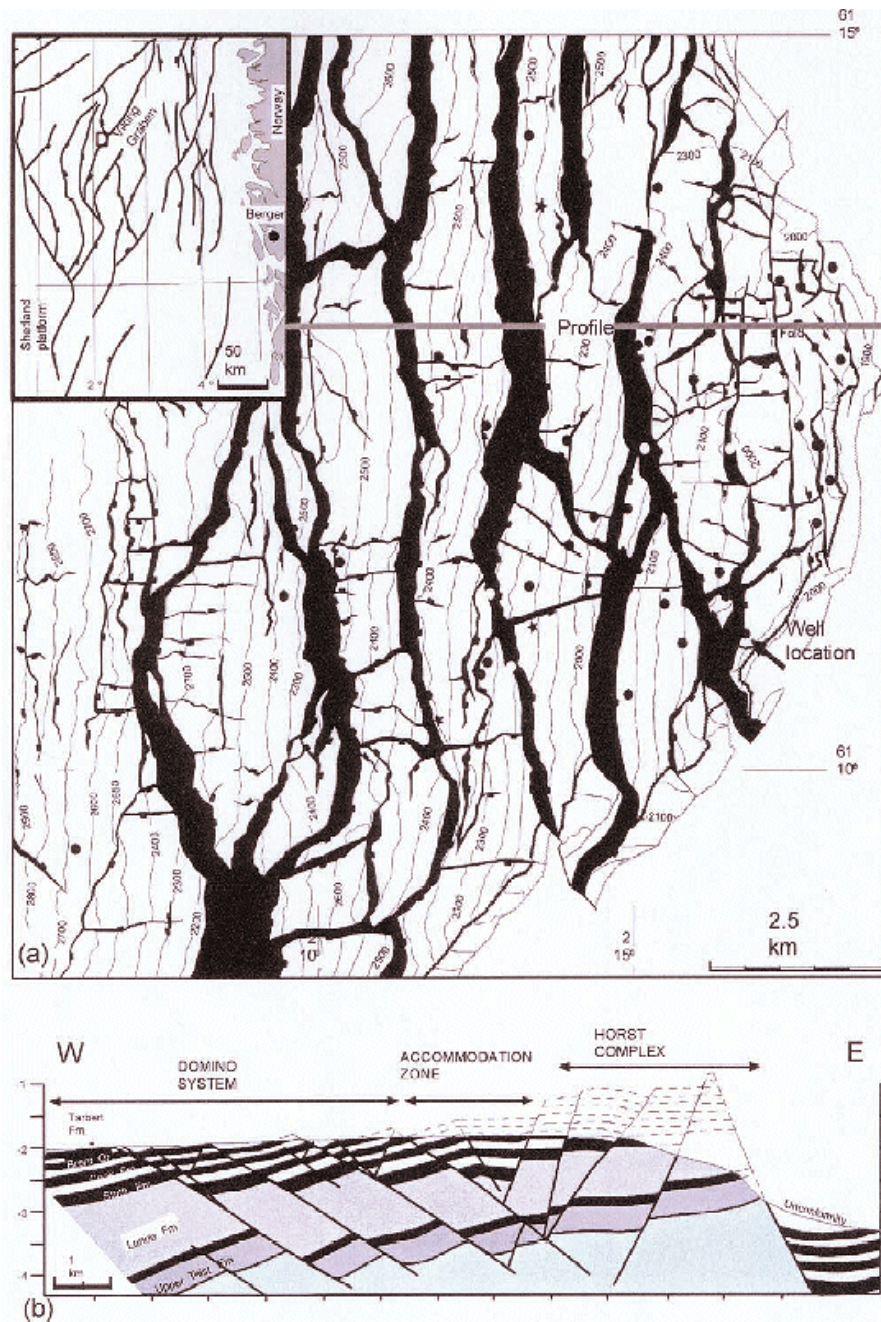


Figura 3.2.1b. Mapa estrutural e uma seção do campo de Gullfaks (STATOIL, 2008)

4. RESULTADOS

4.1. Análise dos Atributos gerados para a Sísmica 2D

Após a utilização do atributo *Structural Smoothing*, notou-se que as linhas sísmicas 50-RL-88 e 50-RL-90 (Figura 4.1a. e Figura 4.1e.) apresentaram reflexões mais nítidas e com menos ruídos destacando melhor as descontinuidades em relação às linhas originais (Figura 4.1b. e Figura 4.1f.). Os atributos de *Chaos* e *Variance* destacaram muito bem as áreas que contêm as descontinuidades nos refletores (Figura 4.1c, Figura 4.1d, Figura 4.1g, Figura 4.1h). Analisando os atributos de *Chaos* e *Variance* percebe-se que as áreas mais claras representam maior continuidade espacial e as áreas mais escuras representam as descontinuidades nos refletores.

Baseado nas análises feitas em conjunto com esses atributos, pôde-se identificar e interpretar 10 principais falhas subverticais na linha sísmica 50-RL-88 (Figura 4.1i.) e 3 principais falhas subverticais na linha sísmica 50-RL-90 (Figura 4.1j.).

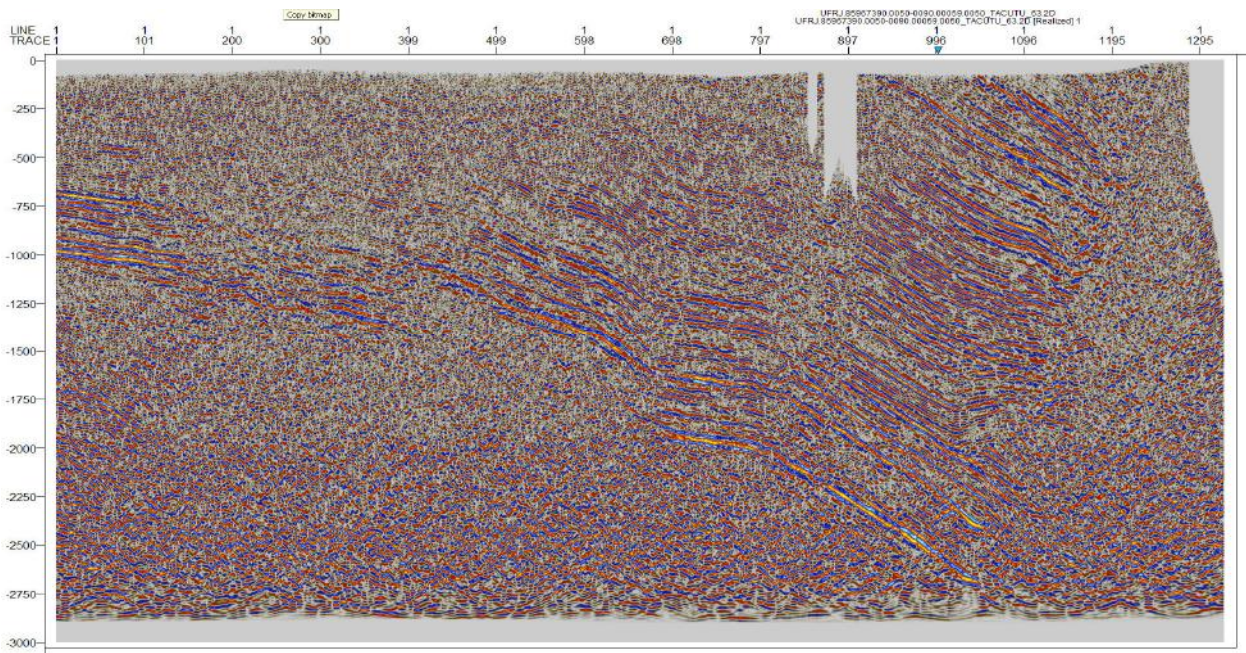


Figura 4.1a. Linha sísmica 50-RL-88 original na janela de interpretação do *software* Petrel

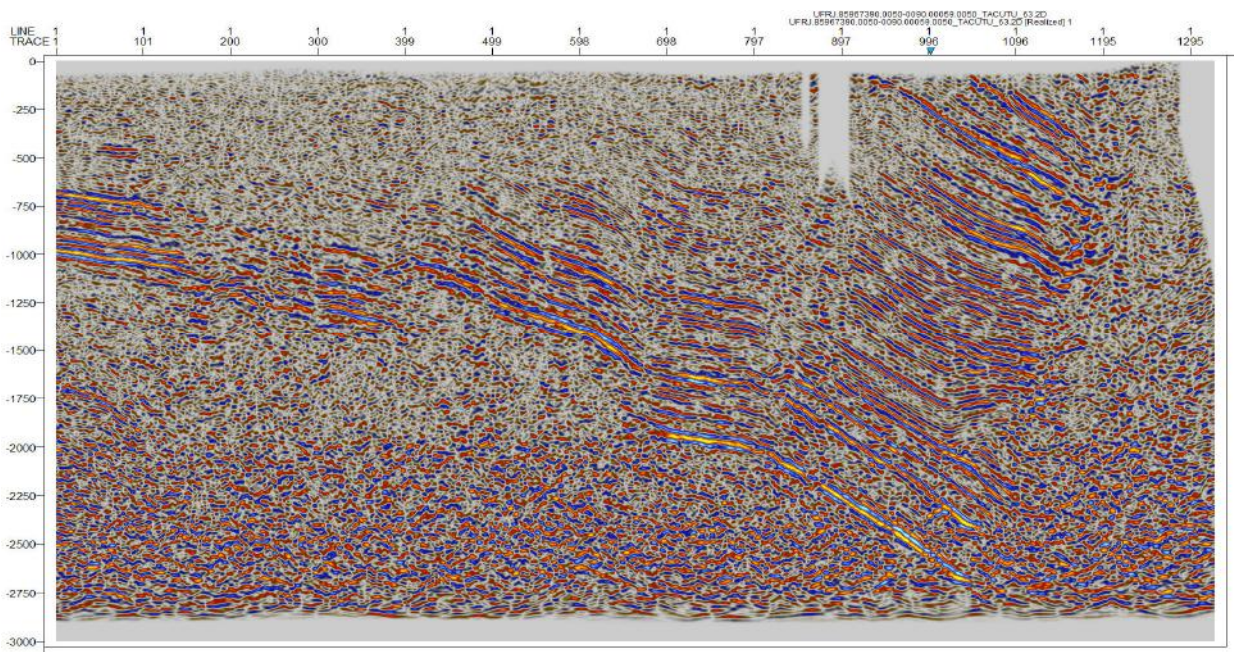


Figura 4.1b. Linha sísmica 50-RL-88 após a aplicação do atributo *Structural Smoothing* na janela de interpretação do *software* Petrel

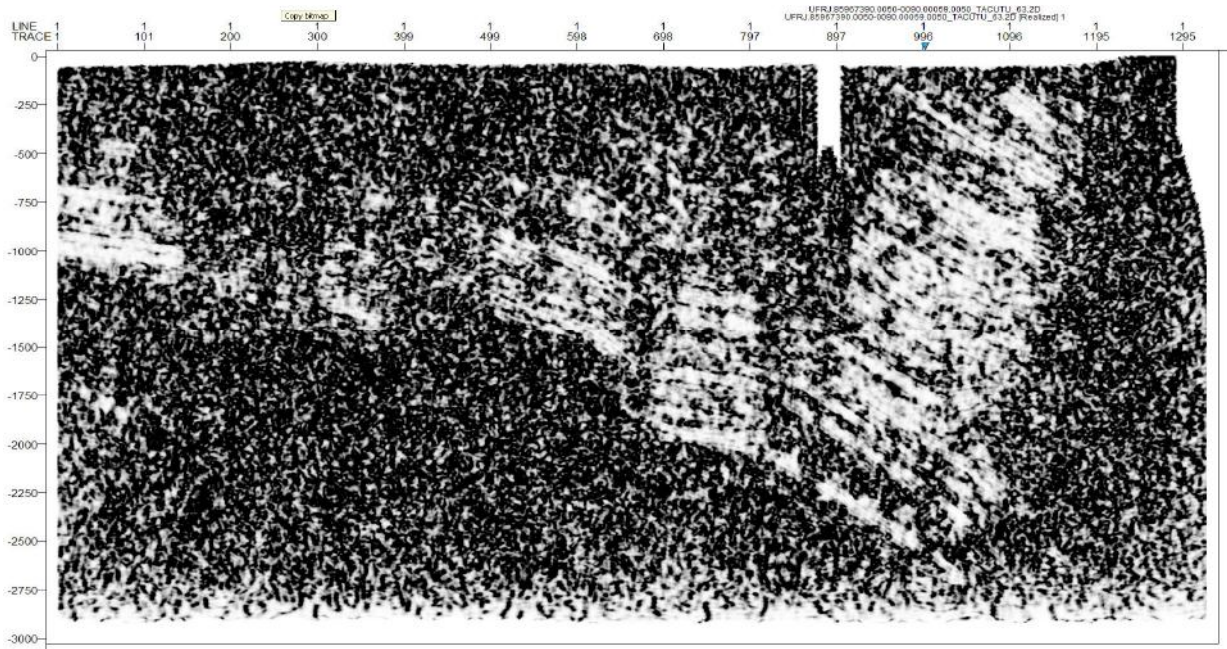


Figura 4.1c. Linha sísmica 50-RL-88 após a aplicação do atributo de *Chaos* na janela de interpretação do *software* Petrel

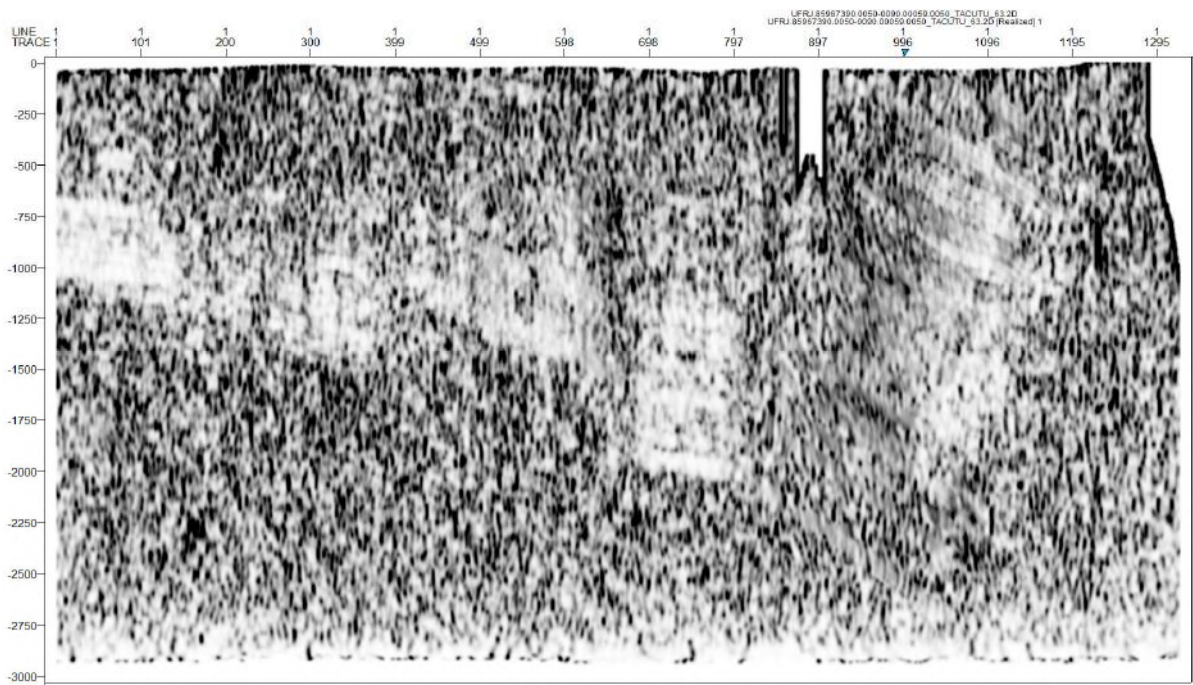


Figura 4.1d. Linha sísmica 50-RL-88 após a aplicação do atributo de *Variance* na janela de interpretação do *software* Petrel

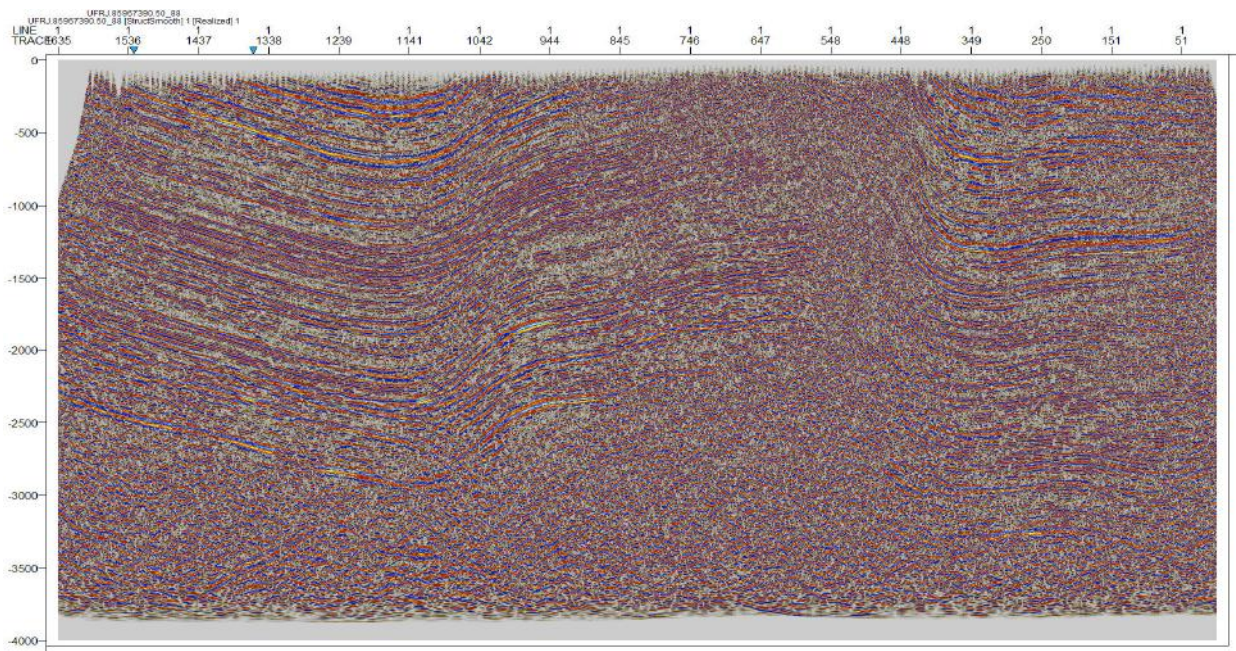


Figura 4.1e. Linha sísmica 50-RL-90 original na janela de interpretação do *software* Petrel

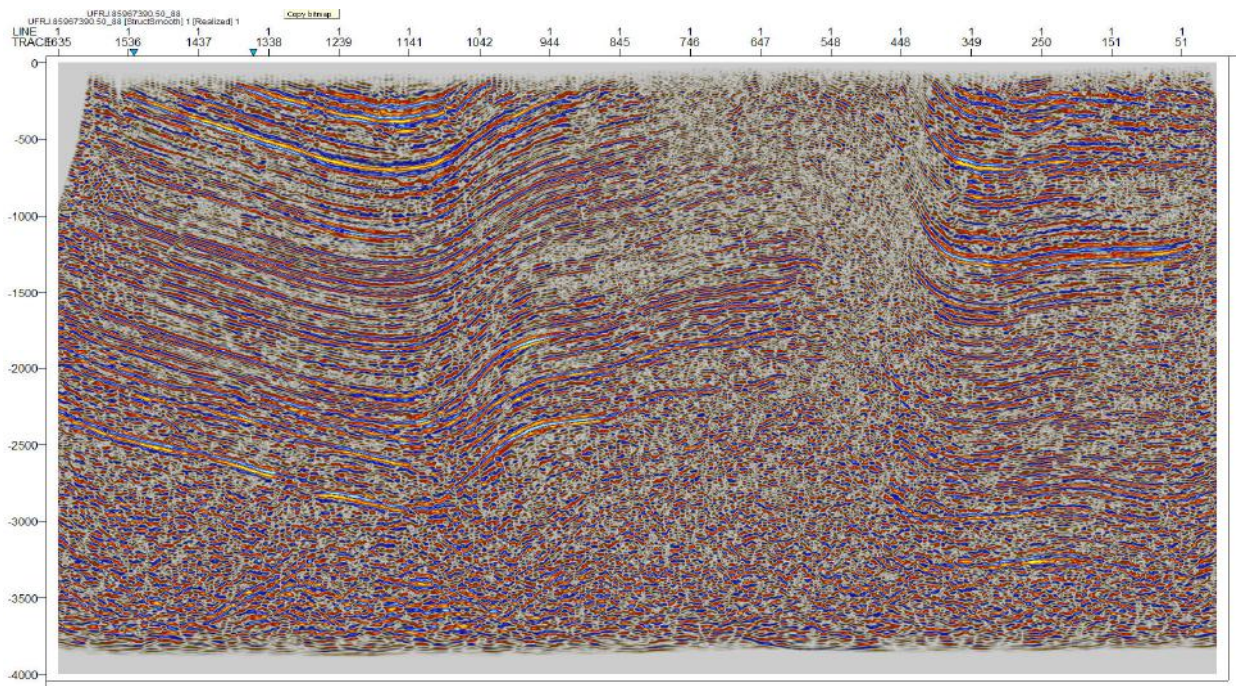


Figura 4.1f. Linha sísmica 50-RL-90 após a aplicação do atributo *Structural Smoothing* na janela de interpretação do *software* Petrel. Observar a grande melhora na definição dos refletores

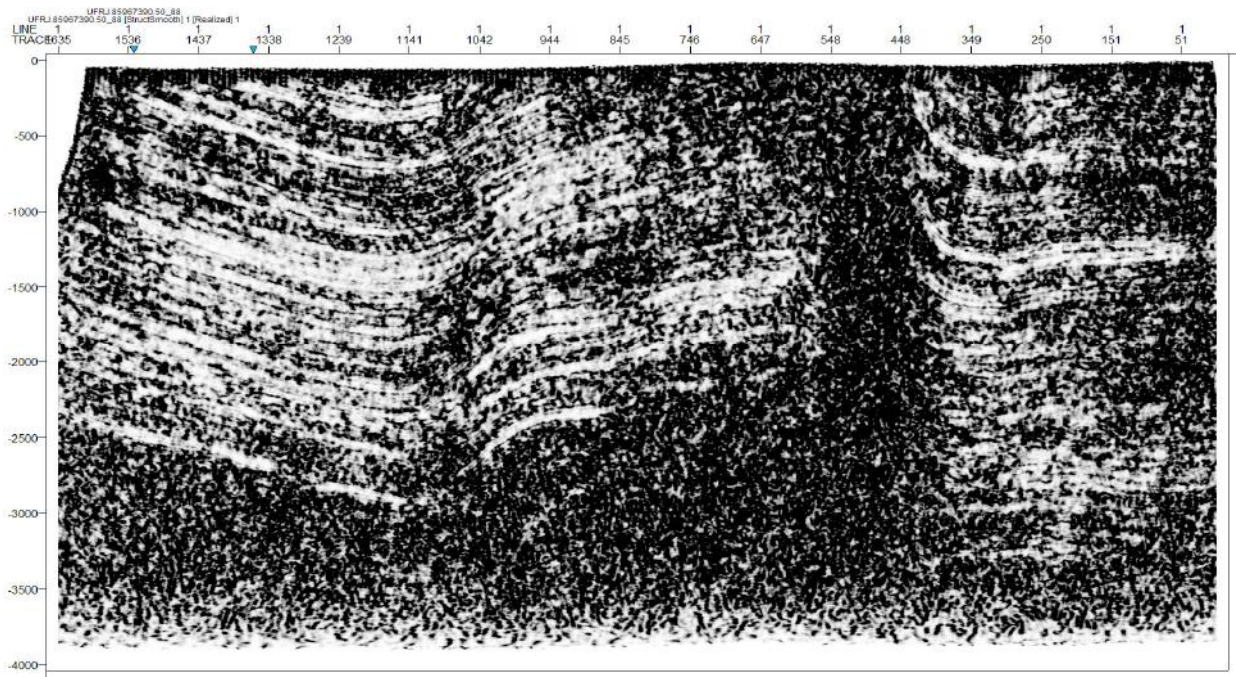


Figura 4.1g. Linha sísmica 50-RL-90 após a aplicação do atributo de *Chaos* na janela de interpretação do *software* Petrel

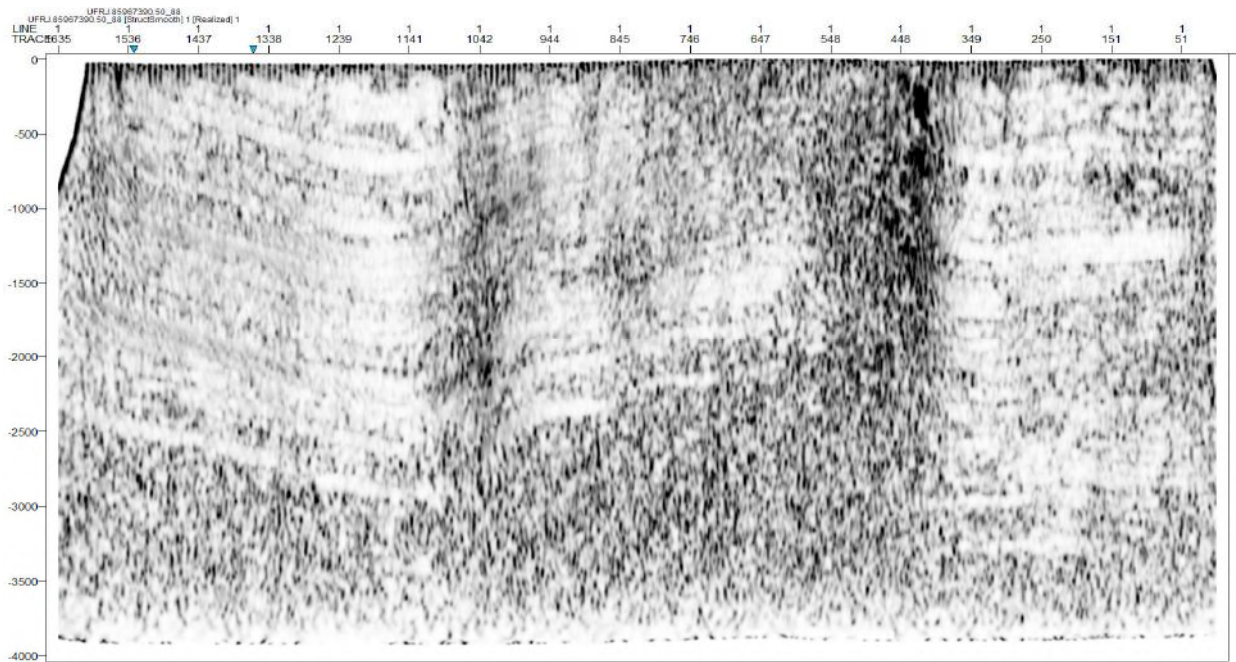


Figura 4.1h. Linha sísmica 50-RL-90 após a aplicação do atributo de *Variance* na janela de interpretação do *software* Petrel

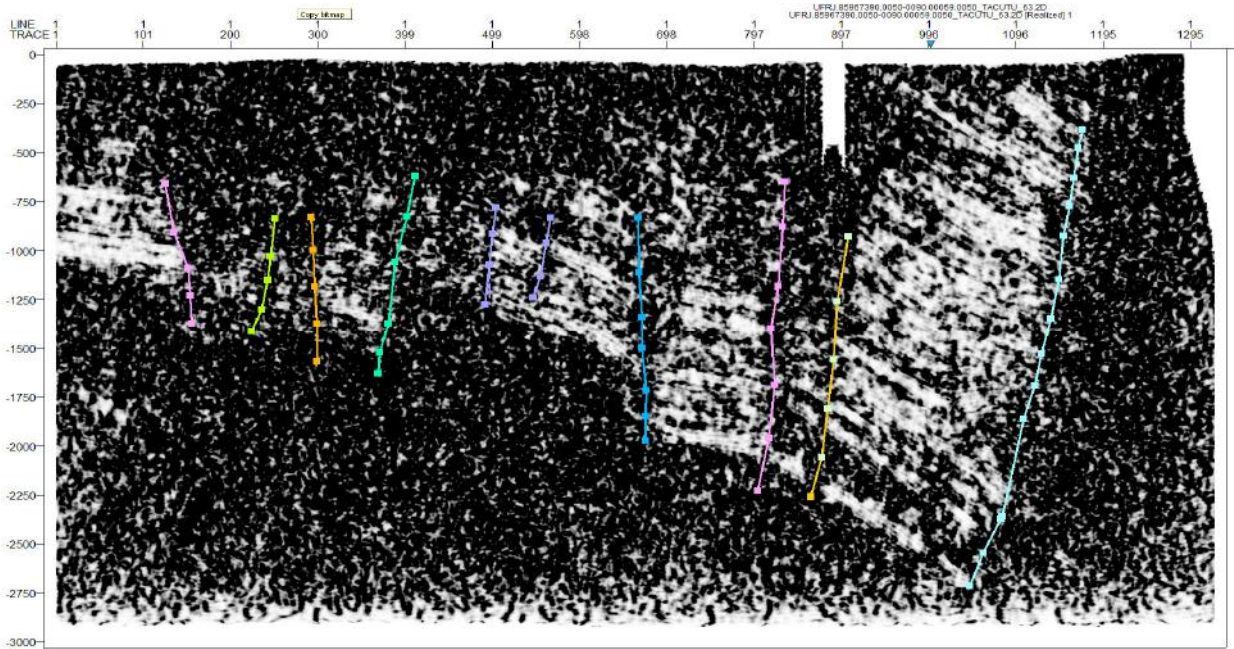


Figura 4.1i. Linha sísmica 50-RL-88 após aplicação do atributo de *Chaos* indicando as falhas interpretadas na janela de interpretação do *software* Petrel

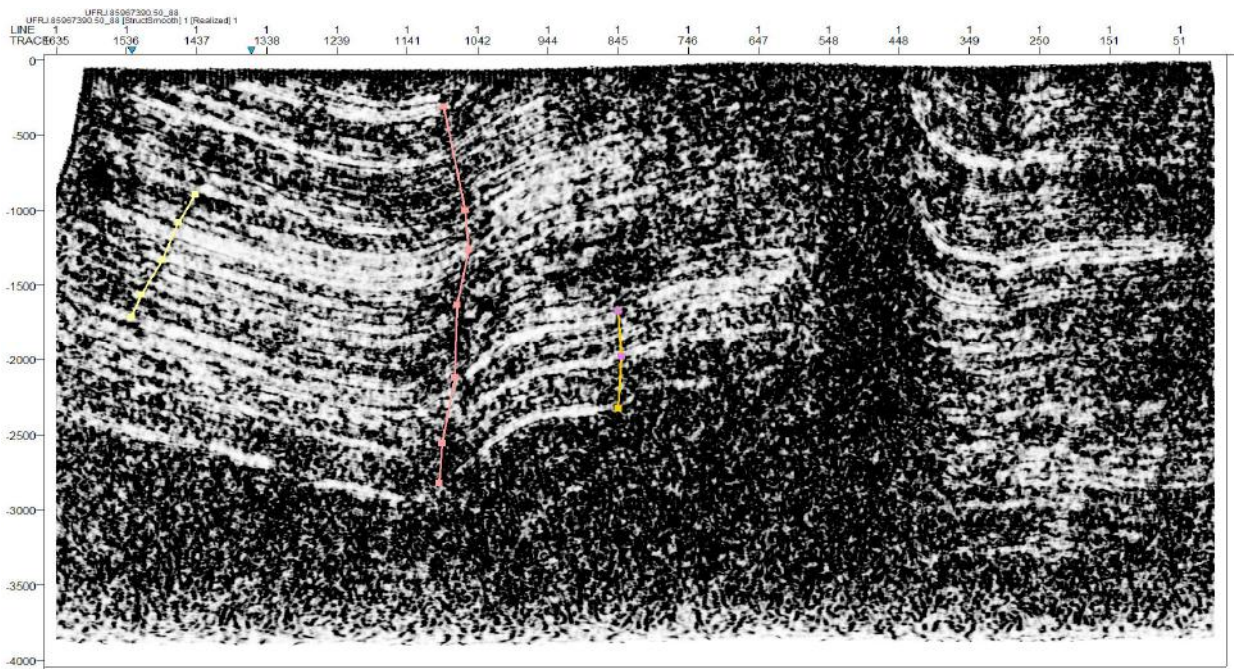


Figura 4.1j. Linha sísmica 50-RL-90 após aplicação do atributo de *Chaos* indicando as falhas interpretadas na janela de interpretação do *software* Petrel

4.2. Análise do *Ant Tracking workflow* para a Sísmica 3D

A interpretação automática de falhas através do fluxo de trabalho que utiliza o *Ant Tracking*, indicou um bom resultado. O atributo de *Ant Tracking* conseguiu capturar as principais falhas presentes no volume sísmico (Figura 4.2a), além de realçar outras descontinuidades que seriam difíceis de serem observadas pela interpretação manual, aumentando o nível de detalhe da interpretação de falhas. Um controle de qualidade foi realizado com o cubo sísmico original.

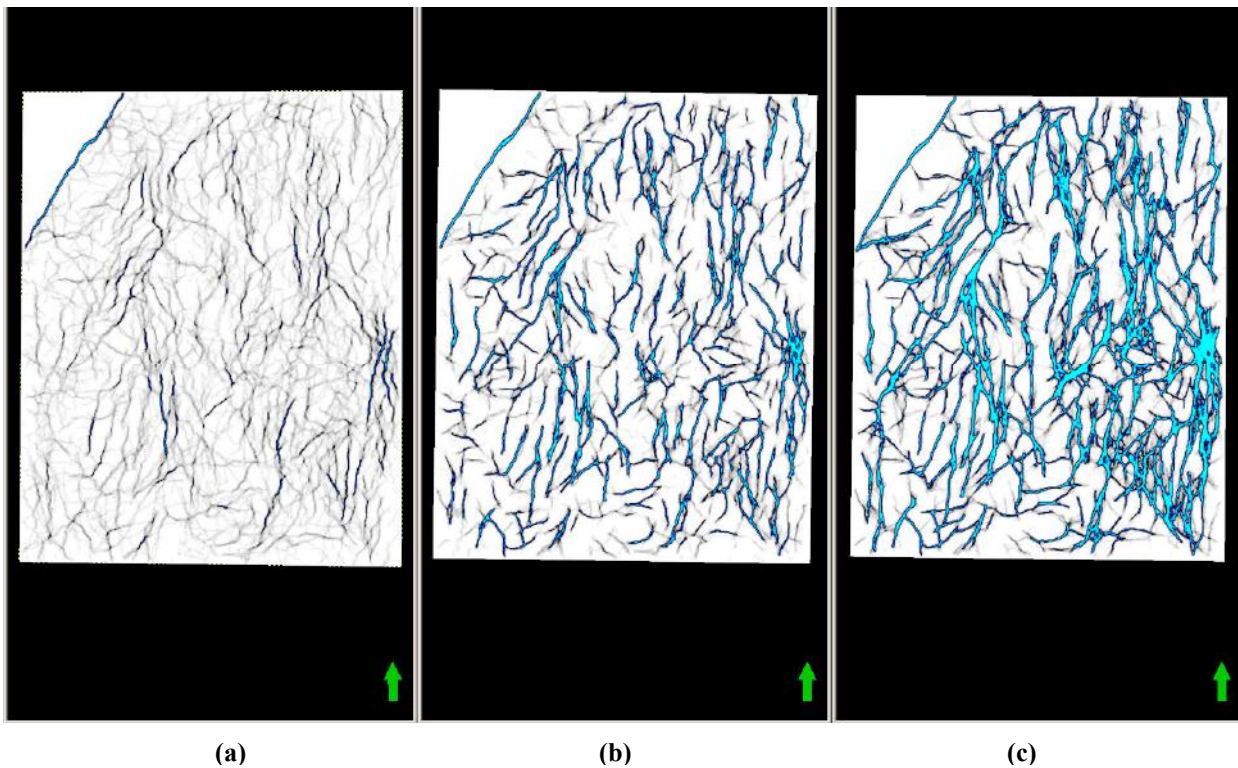


Figura 4.2a. Seção time slice do cubo de *Ant Tracking*. (a) *Ant Tracking passive* indicando falhas de aspecto regional; (b) *Ant Tracking passive-aggressive*; (c) *Ant Tracking passive-aggressive* indicando com maior detalhe as falhas; gerados no software Petrel

Através do cubo de *Ant Tracking* foi feita a extração automática das superfícies de falhas. Como neste processo se geram muitos *patches* de falhas tornando difícil selecionar os *patches* desejáveis, utilizou-se alguns filtros fornecido pelo programa para eliminar *patches* de acordo com tamanho e orientação das falhas. Após algumas edições, os *patches* foram convertidos em falhas (Figura 4.2b.).

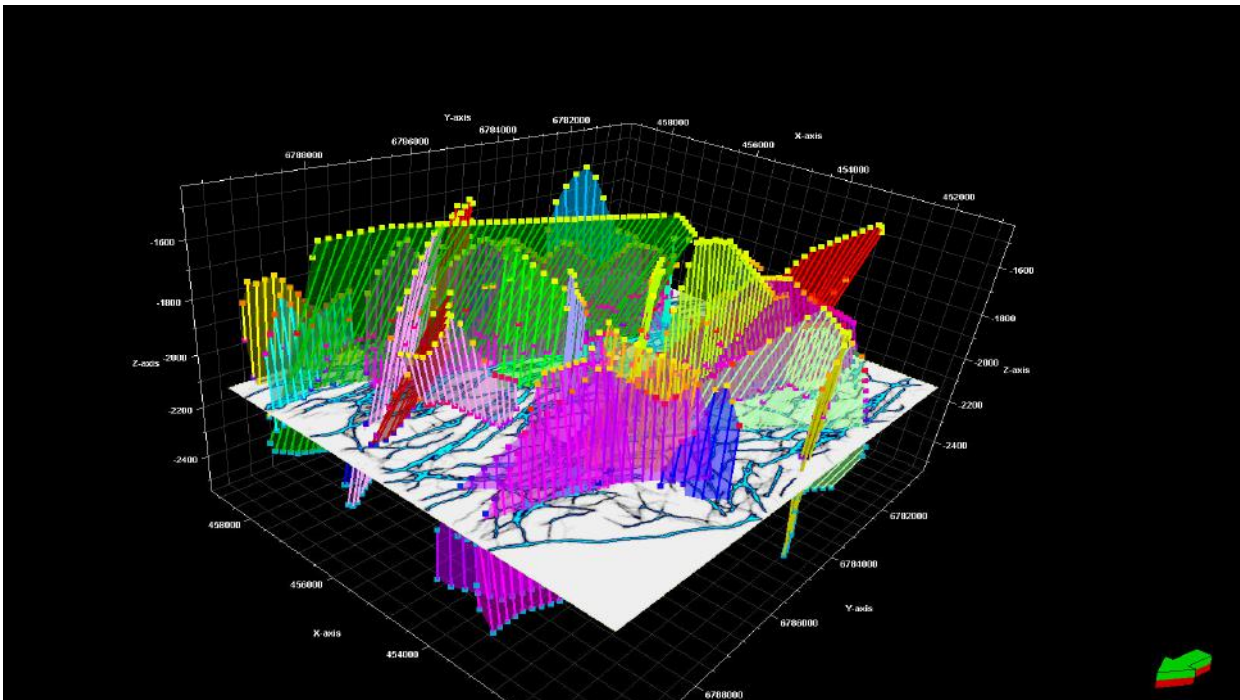


Figura 4.2b. Visualização 3D do cubo de *Ant Tracking* do campo de Gulfaks com falhas obtidas através do processo *Automated Fault Extraction* gerado no software Petrel

5. CONCLUSÕES

Os atributos sísmicos *Structural Smoothing*, *Variance* e *Chaos* mostraram excelente resposta como ferramentas para realçar descontinuidades principalmente sendo analisados em conjunto, utilizados tanto nas linhas sísmicas 2D quanto para a sísmica 3D.

As linhas sísmicas 2D da Bacia de Tacutu não possuem boa definição, entretanto, os atributos funcionaram para auxiliar a interpretação estrutural das falhas e identificar com mais nitidez essas feições. O atributo *Ant Tracking* não funcionou bem para linhas sísmicas 2D.

O *Ant Tracking workflow* mostrou ser uma ferramenta eficiente para a interpretação automática de falhas. Além de capturar feições estruturais de falhas regionais, falhas subsísmicas podem ser obtidas através da realização deste *workflow*. Dependendo do dado sísmico, alguns testes devem ser efetuados no cubo para saber qual parâmetro do atributo *Ant Tracking* deverá ser utilizado em cada caso. Como esse processo às vezes leva algumas horas dependendo do tamanho do volume, sugere-se que os testes sejam feitos em um cubo *crop* (cortar uma área do volume para realização dos testes até selecionar os parâmetros mais adequados para seu dado sísmico).

A partir da análise do cubo de *Ant Tracking*, foi possível observar as direções preferenciais das falhas e como se comporta estruturalmente a área em questão.

A extração dos *patches* de falhas não é um processo simples de ser usado. Muitos *patches* são gerados e é necessário realizar um grande controle de qualidade para escolher os *patches* que representarão as falhas. Várias edições foram necessárias, assim como a utilização dos filtros para diminuir a densidade dos *patches* e permitir uma melhor análise do que foi gerado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BONBEAU, E., THERAULAZ, G., 2000. Swarm smarts. Scientific American

DORIGO, M., DI CARO, G., GAMBARDELA, L. M., 1999. Ant Algorithms for discrete optimization. Artificial Life, v.5, n.2, p. 137-172

DORIGO, M., STÜTZLE, T. 2004. Cambridge, Massachussets: Ant colony optimization. The MIT Press, 2004. 305p.

EIRAS, J. F & KINOSHITA, E. M., 1987. Evidências de Movimentos Transcorrentes na Bacia do Tacutu. In: Seminário sobre Riftes Intracontinentais, 1, Rio de Janeiro, Anais...Rio de Janeiro, PETROBRAS/DEPEX.

EIRAS, J. F & KINOSHITA, E. M., 1990. Geologia e Perspectivas Petrolíferas da Bacia do Tacutu. In: Origem e Evolução das Bacias Sedimentares. PETROBRAS, Anais...Rio de Janeiro, PETROBRAS, 197-220.

HISTPETROLEO, 2008. Disponível em:

<http://histpetroleo.no.sapo.pt/pesquisa_1.htm > 15 de Novembro 2008.

KLEMME HD. 1980. Petroleum basins – Classification and Characteristics. J. Petr. Geol. 3(2):

187-207.

MATOS, M.C., 2004. Reconhecimento de Padrões Sísmicos Utilizando Análises Tempo-Frequência. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 118ps.

PEDERSEN, S.I., RANDEN, T., SONNELAND, L., and STEEN, O., 2002. "Automatic Fault Extraction using Artificial Ants", 72nd SEG International Conference, Salt Lake City.

RANDEN, T., MONSEN, E., SIGNER, C., ABRAHAMSEN, A., HANSEN, J.O., SAETER, T., SCHALAF, J., SONNELAND, L., 2000. Three-Dimensional Texture Attributes for Seismic Data Analysis, S. E. G. Annual Meeting, Calgary

RANDEN, T., PEDERSEN, S., SONNELAND, L., 2001 Automatic extraction of faults surfaces from three-dimensional seismic data. In: 71TH Annual International Meeting, SEG, p. 551-554.

SERCEL, 2003. Marine Acquisition Catalog. Disponível em:

< <http://www.sercel.com> > 21 de Novembro 2003.

SILVA, M. G., PORSANI, M. J., 2006. Aplicação de Balanceamento Espectral e DMO no Processamento Sísmico da Bacia do Tacutu. Revista Brasileira de Geofísica, v. 24, n.2, p. 273-290.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 2003. Disponível em:

<<http://www.sbgf.or.br>> 10 de Novembro 2003

STATOIL, 2008. Disponível em:

<http://www.ipt.ntnu.no/~kleppe/Gullfakslandsbyen/Gullfakslandsbyen2009/gullfaks_introduksjon.pdf>

TANER, M.T., 2000. Seismic Attributes. Canadian Society of Exploration Geophysicists

TUTORIAL PETREL, 2007. Help do Petrel Software, versão 2007.1.

VAN BEMMEL, P. and PEPPER, R.2000. Seismic Signal Processing Method and Apparatus for Generating a Cube of Variance. Values: United States Patent 615155

YILMAZ, O.Z.; DOHERTY S.M. 2000. Seismic Data Analysis: Processing, Inversion and Interpretation of Seismic Data. Society of Exploration Geophysicists, Vol. 1.