

1 Introdução

1.1. Motivação

Para explorar e produzir petróleo vários métodos são empregados no estudo do subsolo terrestre com a finalidade de buscar novas jazidas, projetar a perfuração de poços e melhorar a produção dos reservatórios.

Os dados sísmicos são usados como uma ferramenta importante para o estudo da subsuperfície terrestre. A partir dos atributos sísmicos é possível obter uma imagem da subsuperfície. A técnica básica de exploração sísmica consiste em gerar ondas sísmicas e medir o tempo que as ondas levam para percorrer a distância da fonte aos receptores (Sherrif & Geldart, 1995). O conjunto de dados sísmicos é formado pelo tempo que cada onda levou entre a fonte e captação pelos receptores e por sua amplitude na chegada.

Em conjunto com outros dados geofísicos, geológicos e de poço, os dados sísmicos podem fornecer informações sobre a estrutura e distribuição dos tipos de rochas (Sherrif & Geldart, 1995). As propriedades petrofísicas das rochas tais como porosidade, densidade, permeabilidade, litologia e outras mais, são informações importantes para a análise do subsolo e podem ser obtidas a partir da interpretação dos dados sísmicos.

A sísmica, em relação a outras técnicas de mapeamento do subsolo, tem como principais vantagens a não necessidade de perfuração de poços e o levantamento de dados de áreas de grande extensão. Entretanto, extrair informações que caracterizem as rochas a partir de dados sísmicos é uma tarefa complexa.

O processo de inversão sísmica torna-se complexo por não existirem modelos matemáticos que representem com exatidão o comportamento da subsuperfície. Uma das principais dificuldades na obtenção de um modelo matemático para a definição de uma determinada propriedade da rocha está na composição irregular das rochas. As irregularidades podem ser basicamente fraturas, variação de profundidade ao longo da camada, a existência de

camadas de transição entre dois tipos de rocha, camadas heterogêneas, entre outras.

Para obter informações a partir de dados sísmicos, vários métodos de inversão foram desenvolvidos ao longo dos anos, auxiliando os especialistas na análise dos dados sísmicos. Na análise de velocidade são obtidos atributos mais simples que serão utilizados no processamento sísmico e também na interpretação posterior dos dados. Tradicionalmente, são utilizados métodos estatísticos como as medidas de coerência (Tarantola, 1987) para a realização da análise de velocidade.

Podemos citar o *semblance*, que é uma medida de coerência e tem sido extensamente aplicado na prática (Neidell & Taner, 1971). O método de análise de velocidade consiste em corrigir o dado com várias velocidades, medindo-se o *semblance* para cada correção. Como esta medida é realizada para um tempo constante para todos os traços (offsets) pelo método da correção da NMO, a aplicação da velocidade correta deve fazer com que o refletor fique no mesmo tempo para todos os traços, registrando assim um valor alto de *semblance* (coerência). Para aplicar o *semblance* na análise de velocidade, muitas vezes é necessário ter um conhecimento previsto da geologia e até mesmo contar com a presença de especialistas para a identificação dos parâmetros na etapa final.

Novas técnicas inteligentes estão sendo empregadas para otimizar problemas com grandes espaços de busca. A Inteligência Computacional busca, através de técnicas inspiradas na Natureza, o desenvolvimento de sistemas inteligentes que imitem aspectos do comportamento humano, tais como: aprendizado, percepção, raciocínio, evolução e adaptação. Algoritmos Genéticos (AG) são modelos inteligentes inspirados na evolução biológica que, através de métodos adaptativos, conseguem localizar soluções potenciais, sem considerar exaustivamente todas as possíveis soluções para o problema (Goldberg, 1989; Davis, 1996; Michalewicz, 1996; Bäck et al, 1997).

Devido à necessidade de se obter informações que caracterizem a subsuperfície a partir do dado sísmico, novos modelos vêm sendo desenvolvidos com o uso de técnicas de inteligência computacional. Redes Neurais e Algoritmos Genéticos (AG) têm sido extensamente aplicados em problemas de inversão sísmica.

Stoffa & Sen (1991) aplicaram Algoritmos Genéticos no problema de inversão sísmica. A partir de sismogramas, procuraram obter os parâmetros físicos velocidade intervalar e densidade da rocha. Para isto, desenvolveram um AG, que aplicava uma função de correlação cruzada para avaliar os indivíduos.

Apesar de o AG encontrar algumas soluções não desejáveis, Stoffa & Sen (1991) obtiveram resultados bastante promissores com o uso da técnica.

Röth (1993) aplicou a técnica de redes neurais para obtenção da velocidade rms (*root mean square*). Após a etapa de treinamento, associação de dados de entrada com dados de saída esperados, as redes neurais são capazes de reconhecer padrões. Seu trabalho consistiu em modelar redes neurais do tipo *multilayer perceptrons* (MLPs) que tivessem como dados de entrada os tempos sísmicos – tempos em que as ondas foram lidas pelos receptores – e como dado de saída (informação desejada) a velocidade rms. Röth (1993) obteve sucesso com a rede neural treinada para modelos da subsuperfície com uma única camada. Entretanto encontrou dificuldades no treinamento de uma rede neural com exemplos gerados a partir de modelos com mais de uma camada.

Silva et al (2005) desenvolveram um método para correção da velocidade nmo (*normal moveout*). A partir de dados sísmicos é obtida a velocidade nmo, utilizando para isto um minimizador de funções chamado gradiente descendente. Foram realizados estudos de caso com dados sísmicos sintéticos e um conjunto de dados reais e o método foi considerado rápido, robusto e muito eficiente.

Dentre os principais objetivos que as técnicas atuais de inversão sísmica consideram estão: a qualidade dos parâmetros obtidos, a rapidez com que o método encontra soluções e a redução da subjetividade da análise para a determinação dos parâmetros. Um modelo foi desenvolvido nesta pesquisa abordando a otimização de parâmetros por Algoritmos Genéticos.

1.2. Objetivos do Trabalho

O objetivo fundamental desse trabalho é estudar, implementar e avaliar um modelo que identifique parâmetros das rochas que compõem uma subsuperfície a partir de um sismograma de referência, utilizando para isto a técnica de Algoritmos Genéticos (AG). Para se alcançar este objetivo, é preciso desenvolver uma representação genética para o problema, uma função de avaliação e um conjunto de operadores genéticos capazes de produzir soluções otimizadas. As propriedades do meio pretendidas neste trabalho são diferentes para cada estudo de caso. No primeiro estudo de caso o objetivo é otimizar o parâmetro físico velocidade intervalar (V_i) e a espessura da camada (e), considerando que o número de camadas é conhecido. Já no segundo estudo de caso, os atributos sísmicos velocidade *root mean square* (V_{rms}) e o tempo para

incidência normal (t_0) de cada camada são as propriedades pretendidas no problema. Por fim, no terceiro estudo de caso, o objetivo é otimizar a velocidade intervalar, a espessura e a densidade das camadas. Neste último estudo de caso, o número de camadas associadas ao sismograma de referência é desconhecido. Este será mais um parâmetro a ser otimizado pelo AG.

1.3. Descrição do Trabalho

Esta pesquisa foi estruturada através das seguintes etapas: estudar o dado sísmico e o tema de inversão sísmica, abordando algumas técnicas de otimização de parâmetros físicos aplicadas à sísmica; definir a modelagem de um algoritmo genético que seja capaz de otimizar parâmetros físicos e atributos sísmicos, considerando apenas os dados sísmicos; implementar uma ferramenta baseada nesse modelo e avaliar seu desempenho a partir de estudos de caso.

O estudo sobre a sísmica consistiu em avaliar o processo de geração do dado sísmico e sua aplicação no campo de petróleo. Alguns temas específicos da área foram abordados para uma melhor compreensão, tais como, os tipos de ondas propagadas, as diferentes velocidades sísmicas, além de algumas características associadas ao comportamento da rocha.

Para o Algoritmo Genético (AG) foi necessário definir a estrutura do cromossomo que representa um indivíduo, o tamanho da população, o método de seleção de indivíduos, os operadores genéticos, o processo de decodificação, a função de avaliação dos indivíduos e o objetivo do AG.

Neste trabalho optou-se pela representação real dos cromossomos em todos os estudos de caso. Entretanto, a estrutura do cromossomo foi definida de especificamente para cada estudo de caso. Foram utilizados operadores reais de cruzamento e mutação dado que a representação do cromossomo é real.

No processo de decodificação do AG, cada indivíduo representará um modelo simplificado da subsuperfície. Este modelo será utilizado em conjunto com a geometria de aquisição já conhecida para gerar dados sísmicos sintéticos. A geometria deve ser a mesma que foi definida para obter o sismograma de referência e pode ser definida pelos seguintes parâmetros: quantidade de receptores, distância entre o primeiro receptor e a fonte, distância entre os demais receptores, intervalo de amostragem e tempo máximo de leitura.

De posse do modelo da subsuperfície e da geometria de aquisição devem-se buscar equações aproximadas ou simuladores que calculem os dados

sísmicos sintéticos. Neste trabalho foi usada a equação de Dix (1955) para gerar os tempos de trânsito. Em um segundo momento, foi avaliado o uso dos simuladores *anray* (Anray, 2002) e *crewes* (Crewes, 2005) para gerar a sísmica sintética.

Após a obtenção do dado sísmico sintético gerado a partir da informação de um indivíduo do AG, é necessário que esse conjunto de dados seja avaliado. A função de avaliação foi definida com o objetivo de analisar as soluções que os indivíduos geraram e atribuir uma nota cada um – nota esta que será importante no processo de seleção do AG. Para isto, é necessário comparar o dado sísmico sintético gerado a partir de um indivíduo com o sismograma de referência. As métricas empregadas no cálculo do erro entre esses dados foram o MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) e o RMSE (*Root Mean Square Error*).

O objetivo do AG neste trabalho é minimizar a função de avaliação, buscando, a cada geração, indivíduos com menor valor de erro. O indivíduo que possuir o menor valor de erro representa os parâmetros de um modelo que mais se assemelha ao modelo da subsuperfície em que foi gerado o sismograma de referência. Este conjunto de parâmetros das rochas é a considerado a solução final do trabalho.

Por fim, foi desenvolvida uma ferramenta a partir do modelo pré-definido do AG, com o objetivo de validar o método proposto neste trabalho e analisar os resultados obtidos. A ferramenta foi implementada utilizando o GACOM (*Genetic Algorithms Components*), um *framework* para modelagem de algoritmos genéticos (Guimarães, 2004). Foram realizados três estudos de caso com a ferramenta implementada, sendo que estes continham algumas particularidades que precisaram ser ajustadas no modelo proposto. Em conjunto, foi analisado o método proposto, já citado, por Röth (1993), a fim de comparar os resultados obtidos em ambos os trabalhos e avaliar as reais contribuições deste modelo proposto.

1.4. Organização da Dissertação

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos adicionais, descritos a seguir.

O capítulo 2 descreve os principais assuntos sobre a sísmica necessários para a compreensão do trabalho. São abordados os tipos de ondas e como elas se propagam, os tipos de velocidade sísmica e como é realizada, basicamente, a

geração do dado sísmico. Também nesse capítulo, é apresentada a equação de Dix (1955), usada neste trabalho, e breves comentários sobre os simuladores *anray* e *crewes*. Por fim, é definido rapidamente o problema de inversão sísmica.

O capítulo 3 discute a técnica de Algoritmos Genéticos, detalhando seus conceitos básicos e como esta funciona.

O capítulo 4 descreve o modelo desenvolvido nesta dissertação, apresentando, primeiramente, a estrutura do AG que compreende a representação dos cromossomos, o processo de decodificação, a função de avaliação definida e outros tópicos relacionados. Também estão descritos neste capítulo, os módulos externos ao AG, como a seleção dos tempos de trânsito mais representativos no sismograma de referência e a geração do dado sísmico sintético. Por fim, é mostrado o desenvolvimento de uma ferramenta genérica para o modelo proposto.

O capítulo 5 descreve os estudos de casos avaliados e seus resultados obtidos a partir da ferramenta desenvolvida neste trabalho.

Por fim, o capítulo 6 apresenta as conclusões do trabalho e sugere novas direções para a continuação da pesquisa apresentada.