

1 Introdução

1.1. Motivação

Na engenharia de reservatórios (Crichlow, 1977) otimizar a exploração de um campo petrolífero significa desenvolver uma estratégia que permita produzir a maior quantidade de hidrocarboneto possível dentro dos limites físicos e econômicos existentes. Duas questões que determinam o nível de produção são: o sistema de exploração a ser instalado *in situ* e o reservatório geológico existente. Na visão de projetos de exploração, a otimização da exploração de um campo petrolífero visa achar estratégias de produção que sejam economicamente mais rentáveis.

Contudo, para criar cenários de produção de óleo é necessário ter em mãos alguma forma de modelar e simular o reservatório. Tal modelagem envolve muitas variáveis e parâmetros que provêm do conhecimento da engenharia de reservatórios de petróleo. Estas variáveis e parâmetros prefixados devem ser inseridos num sistema de simulação que retorne, entre outras saídas, uma previsão da produção de óleo e gás para a configuração especificada pelas variáveis e parâmetros de entrada (Túpac et al., 2002). Este processo geralmente exige um alto custo computacional, uma vez que são aplicados métodos de diferenças finitas para resolver um conjunto de equações diferenciais que modelam as transferências de fluidos dentro do reservatório simulado.

A possibilidade de obter diferentes perfis de produção para diferentes configurações sugere o desenvolvimento de um método otimizador iterativo para encontrar uma configuração tal que forneça a melhor estratégia, isto é, a alternativa ótima do ponto de vista econômico, a mais lucrativa ao longo prazo.

Para que um processo de otimização possa ser empregado neste problema, é necessário ter definidos: a metodologia de otimização apropriada e a função objetivo. Neste trabalho, propõe-se a utilização de Algoritmos Evolucionários (Goldberg, 1989) para encontrar a alternativa de produção que maximize o Valor Presente Líquido (VPL).

No escopo deste trabalho, uma alternativa de desenvolvimento é definida como a quantidade e localização de poços produtores e injetores em um campo petrolífero de parâmetros conhecidos. Portanto, a otimização das alternativas consiste em encontrar a quantidade, localização e tipo de poços que maximizem o Valor Presente Líquido.

Uma questão que deve ser levada em consideração é o uso intensivo do simulador de reservatório de petróleo para a obtenção das curvas de produção. O custo computacional exigido para realizar simulações de forma intensiva é, geralmente, muito grande. Torna-se portanto importante a implementação de técnicas que permitam contornar este problema. Neste trabalho foram usadas as seguintes técnicas:

- processamento distribuído (Hwang, 1993) para aproveitar o poder computacional conjunto de vários processadores e realizar várias simulações de produção de óleo e cálculos do VPL em um tempo menor. Isto se resume em aproveitar um *maior poder computacional*;
- aproximações das curvas de produção de óleo e gás através de modelos de aproximação de funções da inteligência computacional (Haykin, 1999; Orr, 1996, 1999). Pelo uso destas aproximações obtêm-se valores de produção de óleo e gás em um menor tempo, sem a necessidade de executar o simulador de reservatórios de forma intensiva. Isto significa uma *diminuição do custo computacional* requerido;
- mapas de qualidade (Cruz et al., 1999; Cruz, 2000) como metodologia de caracterização de campos de petróleo, permitindo assim inserir conhecimento do campo de forma tal que, com um menor número de iterações do método otimizador, sejam alcançadas boas soluções. Neste caso, o custo computacional requerido também é diminuído.

1.2. Objetivos

Como exposto anteriormente, o principal objetivo deste trabalho é a implementação de um sistema de otimização de alternativas de desenvolvimento que permita determinar estratégias de produção ótimas, com uma redução do custo e tempo computacionais.

De forma a alcançar este objetivo, algumas metas devem ser realizadas:

- Estudar e desenvolver métodos de otimização de locação e número de poços petrolíferos em um dado campo de petróleo;
- Estudar e desenvolver métodos para reduzir o tempo computacional empregado na busca de configurações ótimas;
- Estudar e desenvolver modelos de inferência das curvas de produção utilizando técnicas inteligentes.

1.3. Descrição do Trabalho

O sistema de otimização proposto neste trabalho envolve a utilização de metodologias inteligentes como: redes neurais, modelos *neuro-fuzzy* e algoritmos genéticos; tecnologias atuais como computação distribuída; e metodologias estatísticas como regressão linear e logarítmica. Todas essas técnicas em conjunto são consideradas para abordar o problema de otimização de alternativas de desenvolvimento de campos petrolíferos. A seguir apresenta-se uma breve descrição das etapas realizadas neste trabalho.

Primeiramente foi feito um estudo sobre desenvolvimento de campos petrolíferos, o qual teve como ponto de partida a visão da engenharia de reservatórios onde sempre são procuradas estratégias de produção que maximizem a recuperação de óleo. Dado que as previsões de produção necessárias são obtidas usualmente através de um simulador de reservatório, foi realizado um estudo sobre simulação de reservatório, descrevendo modelos matemáticos e soluções utilizadas para obter respostas de fluxos de óleo. Foi realizada uma revisão dos principais indicadores econômicos empregados na análise de alternativas de investimento, onde é ressaltado o valor presente líquido. No que diz respeito à caracterização de campos petrolíferos, foi feito um estudo sobre a metodologia de mapas de qualidade e os trabalhos relacionados que a aplicam em problemas de otimização de locação de poços.

Em seguida foi realizado um estudo de otimização utilizando algoritmos genéticos, onde foram estudados seus conceitos básicos e sua potencialidade como método otimizador para o problema proposto. Por outro lado, foi feita uma pesquisa sobre processamento distribuído e sobre os modelos de algoritmos evolucionários que utilizam computação distribuída.

O estudo da inteligência computacional em aproximação de funções abrangeu desde os conceitos básicos de aproximação de funções, métodos de aproximação baseados em *kernels* de funções, até as metodologias baseadas

na inteligência computacional: redes neurais *feed-forward*, redes recorrentes, redes RBF, modelos fuzzy e *neuro-fuzzy*.

Na etapa de desenvolvimento do modelo de otimização, primeiramente foi abordado o problema de obtenção de curvas de produção de óleo utilizando metodologias da inteligência computacional para aproximação de funções, onde o objetivo principal é a obtenção de informação sobre a produção de forma rápida e eficiente. Para qualquer uma das metodologias aplicadas o simulador de reservatório tem de ser visto como uma função vetorial $\vec{Y}_i = \Phi(\vec{X}_i)$ onde \vec{X}_i é uma configuração de poços no campo petrolífero, \vec{Y}_i é a curva de produção em um dado período de tempo para a configuração de poços \vec{X}_i e $\vec{Y}_i = \Phi(\vec{X}_i)$ é a função de produção de óleo e gás do reservatório.

Em seguida foi abordado o problema de otimização de alternativas de desenvolvimento de campos petrolíferos em si, onde foi desenvolvido um modelo de otimização usando algoritmos genéticos considerando a codificação do cromossoma e a função de avaliação; para esta última parte, foi realizada a interligação do sistema com simulador de reservatórios IMEX da *Computer Modelling Groups* (CMG, 2000a).

Em seguida foi empregada a metodologia de mapas de qualidade, de forma a inserir, no sistema otimizador, informações sobre as características do campo. Este conhecimento prévio é importante para possibilitar a procura de áreas de maior produtividade em menos iterações.

Finalmente, foi desenvolvido um ambiente computacional para o uso de computação distribuída na etapa de avaliação das alternativas, possibilitando um maior aproveitamento do poder computacional de um conjunto de processadores.

Foi realizado um estudo de casos considerando dois tipos de campos: homogêneo e heterogêneo. Estes casos envolveram testes dos modelos de aproximação, testes do sistema otimizador, testes aplicando informações do mapa de qualidade, e testes com o ambiente computacional para distribuição da avaliação.

1.4. Contribuições

As principais contribuições deste trabalho são:

- A definição de um modelo de otimização utilizando computação evolucionária para a otimização de alternativas de desenvolvimento, com o emprego de informações fornecidas pelos mapas de qualidade. Com isto, visa-se obter melhores respostas da otimização em um menor número de iterações.
- O desenvolvimento de métodos de aproximação das curvas de produção de óleo com o intuito de reduzir a carga computacional requerida pelo processo de otimização.
- A modelagem, desenvolvimento e teste de um sistema de simulações distribuídas em um ambiente de computadores em rede, com o objetivo de aproveitar o poder computacional de um grupo de processadores em rede.

1.5. Organização da Tese

O restante deste trabalho está dividido em 5 capítulos conforme descrito a seguir.

No capítulo 2 é feita uma rápida descrição da área de alternativas de desenvolvimento de campos petrolíferos, onde são dadas informações básicas sobre simulação de reservatório, engenharia econômica, critérios para otimização de alternativas, caracterização de campos, e são revistos alguns trabalhos realizados na área.

No capítulo 3 são abordadas as técnicas da Inteligência computacional para aproximação de funções (redes neurais e sistemas *neuro-fuzzy*) e as utilizadas na otimização (Algoritmos Genéticos). Neste capítulo também é feita uma descrição rápida sobre Algoritmos Genéticos usando computação distribuída.

No capítulo 4 é detalhado o sistema de otimização proposto, mostrando a modelagem aplicada para o algoritmo genético, o modelo econômico de VPL, o emprego do simulador de reservatórios, o uso de sistemas de inferência para determinar as curvas de produção, o uso de computação distribuída, o uso de caracterização do campo e, finalmente, a integração do sistema.

No capítulo 5 são mostrados os estudos de casos. Primeiramente, apresenta-se os resultados relativos à aproximação da curva de produção de óleo. Em seguida, detalham-se os resultados dos outros módulos do sistema proposto, a saber: o sistema otimizador de alternativas de desenvolvimento de

campos petrolíferos usando algoritmos genéticos; o uso de computação distribuída; e o uso de caracterização de campo. Finalmente, são feitas discussões acerca dos resultados obtidos, destacando suas vantagens e desvantagens.

Por fim, no capítulo 6, são descritas as conclusões deste trabalho e os possíveis trabalhos futuros.