

2. METODOLOGIA DE PESQUISA

O presente capítulo apresenta a metodologia de pesquisa proposta e procura-se dar uma visão geral do que será feito para atingir os objetivos. Está dividido em seis partes: i) limitações; ii) abordagem da revisão bibliográfica; iii) validação analítica da bibliografia de referência; iv) necessidade de novos modelos; v) material necessário para a aplicação dos modelos propostos; vi) planejamento dos experimentos.

2.1. LIMITAÇÕES

É relevante observar que a metodologia proposta não utiliza uma abordagem verdadeiramente probabilística para a estimação dos recursos. O que se propõe aqui é desenvolver modelos determinísticos acrescidos de um termo aleatório caracterizado como ruído branco.

Outra limitação diz respeito à série histórica necessária para a aplicação do estudo. Embora os modelos possam ter bons ajustes com altos valores de R^2 , regiões em estágio inicial de exploração apresentam poucos dados históricos e, por esta razão, podem não ter um bom desempenho para fins de previsão.

2.2. ABORDAGEM DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O capítulo referente à revisão bibliográfica irá abordar a bibliografia existente para estimar volumes de recursos descobertos e não descobertos. Em relação aos recursos já descobertos, procura-se apresentar somente uma breve descrição das metodologias mais conhecidas.

Em relação à estimação de recursos ainda não descobertos, descrevem-se cinco metodologias que foram escolhidas devido à relevância no meio acadêmico ou corporativo e por considerarem diferentes aspectos para a previsão dos recursos.

2.3. VALIDAÇÃO ANALÍTICA DA BIBLIOGRAFIA DE REFERÊNCIA

A presente pesquisa tem a mesma abordagem do trabalho de Knoring *et al.* (1999), que modela o processo de acréscimo de reservas de acordo com a estratégia adotada na exploração. Portanto, o entendimento desta metodologia passa, necessariamente, pelo conhecimento das suposições e simplificações feitas e pelo entendimento das fórmulas matemáticas apresentadas.

Entretanto, os autores simplesmente apresentam as fórmulas como, por exemplo, as equações diferenciais que dão origem aos modelos, os equivalentes discreto e contínuo destas equações diferenciais e os pontos de inflexão das curvas. Os autores explicam o princípio dos modelos, porém, não demonstram como as fórmulas procedem a partir de uma equação inicial.

Dessa forma, para um melhor entendimento dos conceitos, torna-se relevante demonstrar matematicamente as fórmulas propostas por Knoring *et al.* (1999). Além disso, este trabalho de verificação serviu para constatar erros em algumas fórmulas. As principais demonstrações e erros constatados são apresentados no Apêndice B.

2.4. NECESSIDADE DE NOVOS MODELOS

Conforme veremos no Capítulo 3, as metodologias propostas por Deffeyes (2001), Knoring *et al.* (1999) e Verma & Henri (2004) foram construídas sob **condições limitadas de tecnologia e informação**, baseando-se em **condições de operação e fatores econômicos atuais** e considerando somente os volumes recuperáveis por **meios convencionais de produção**.

Entretanto, o sucesso de um campo maduro depende da energia disponível para recuperar o óleo, pois, a partir de meios convencionais, grande parte do óleo originalmente *in situ* não consegue ser recuperado, sendo abandonado dentro do reservatório.

Além disso, as metodologias citadas acima supõem que os objetivos exploratórios não mudam com o passar dos anos. Por exemplo, volumes descobertos em regiões mais profundas (inviáveis no início da exploração) não podem ser considerados no ajuste da curva. Surge, então, a necessidade de

considerar modelos mais realistas que considerem o progresso tecnológico na estimação dos recursos.

2.5. DADOS

O material e as informações básicas para aplicação das metodologias propostas (Capítulo 6) foram fornecidos pela companhia Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobras). O material fornecido para a aplicação inclui:

- ⇒ Produção anual de cada campo pertencente à bacia escolhida desde o início da produção;
- ⇒ Reservas provadas anuais de cada campo pertencente à bacia escolhida. A utilização das reservas provadas em vez de recursos (reservas provadas, prováveis e possíveis) deve-se ao fato de que, ao final do processo exploratório, menor será a incerteza e, conseqüentemente, praticamente todo o volume classificado como provável e possível terá sido transferido para a categoria provada;
- ⇒ Esforço exploratório dado pelo número de poços exploratórios perfurados anualmente pertencentes à bacia escolhida. Os poços exploratórios incluem: pioneiro, pioneiro adjacente, estratigráfico, extensão, jazida mais rasa, jazida mais profunda;
- ⇒ Poços injetores perfurados anualmente pertencentes à bacia escolhida. Consideram-se estes poços por entender que eles têm papel fundamental no fator de recuperação de bacias maduras, afetando, conseqüentemente, os volumes a serem recuperados.

A fim de validar a metodologia proposta, propõe-se testar os modelos com dados de regiões com características exploratórias distintas.

O primeiro conjunto de dados é constituído por 31 observações anuais (de 1974 a 2004) e refere-se à Bacia de Campos, *offshore*, localizada nos estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. Teve seu primeiro campo descoberto em 1974 e hoje representa a principal bacia petrolífera do país, responsável por aproximadamente 80% da produção nacional.

O segundo conjunto de dados é constituído por 39 observações anuais (de 1964 a 2002) e refere-se à bacia sedimentar do Recôncavo, *onshore*, localizada no estado da Bahia. Com a exploração iniciada no ano de 1939, é a mais antiga província petrolífera do país.

O terceiro conjunto de dados é constituído por 26 observações anuais (de 1979 a 2004) e refere-se à bacia *onshore* localizada nos estados do Rio Grande do Norte e Ceará.

O quarto conjunto de dados é constituído por 39 observações anuais (de 1966 a 2004) e refere-se à bacia *onshore* localizada nos estados de Sergipe e Alagoas.

Além destas quatro bacias petrolíferas, utiliza-se o conjunto de dados do Golfo do México para validar duas metodologias, pois é composto somente dos dados de volumes recuperáveis. É constituído por 28 observações anuais (de 1975 a 2002) e pode ser obtido em MMS (2002), *website* do *Minerals Management Service*, agência federal que controla os recursos minerais dos EUA e pertence ao *U.S. Department of the Interior*.

2.6. PLANEJAMENTO DE EXPERIMENTOS

A metodologia proposta começa com a análise dos conjuntos de dados disponíveis. Verifica-se, para cada campo, se existem quedas relevantes nos volumes recuperáveis, de forma a comprometer o formato da curva R_t .

A seguir, estimam-se os parâmetros dos modelos no *software* econométrico (E-Views 4.1), que utiliza Marquardt como algoritmo de otimização. Marquardt é uma variação do método Gauss-Newton (adiciona uma matriz de correção ao Hessiano).

O E-Views 4.1 fornece ainda os valores da soma dos quadrados dos resíduos (SS) e *R-squared* (R^2) para a escolha do modelo que melhor se ajusta à série de dados.

O valor R^2 mede o sucesso da regressão em prever os valores da variável dependente dentro da amostra. Este valor será igual a 1 caso a regressão se ajuste

perfeitamente aos dados, e zero caso o ajuste não for melhor do que a média simples da variável dependente.

Após investigar qual o melhor modelo que se ajusta aos dados históricos, analisa-se ainda o resíduo, que é a diferença entre os dados observados e os valores ajustados pelo modelo (calculado). O objetivo principal deste teste é verificar se o modelo proposto captura toda a estrutura de dependência na variável a ser modelada, ou seja, se o modelo captura toda a informação contida nos dados.

Se o modelo for adequado, espera-se que os resíduos não apresentem nenhuma estrutura, i.e., possam ser classificados como ruído branco. Caso contrário, se existir estrutura de dependência no resíduo e este puder ser modelado, não podemos classificá-lo como ruído branco e, conseqüentemente, o modelo deverá ser modificado.

Depois de verificada sua adequabilidade aos dados, utilizam-se os modelos num contexto preditivo. Dependendo da metodologia utilizada, são feitas previsões (*out of sample*) para um horizonte de 3 e 10 anos.