

4

METODOLOGIA

Este capítulo tem como objetivo apresentar e detalhar o procedimento necessário para efetuar a previsão de reservas assim como as metodologias que serão utilizadas para fazer o ajuste aos dados históricos.

4.1

PROCESSO DE PREVISÃO

Segundo Shmueli (2011), um processo de previsão é composto por diversas etapas, como é visto na Figura 9.

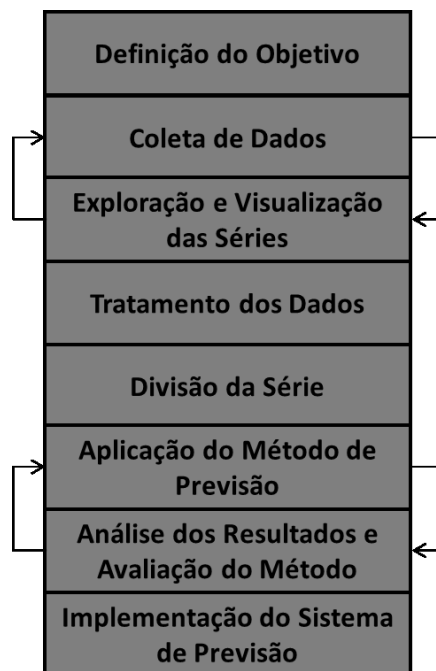


Figura 9 – Processo de Previsão

Fonte: Adaptado de Shmueli, 2011

A primeira etapa refere-se ao processo de definir o propósito pelo qual se está fazendo a previsão, o horizonte de tempo desejado, os custos associados a

qualquer erro proveniente da previsão e a capacidade de coletar dados para efetuar o estudo.

Nesse estudo, o objetivo principal é efetuar a previsão de volume recuperável ou reserva acumulada. As previsões deverão ser feitas anualmente e o horizonte de previsão é o curto prazo (1 – 5 anos à frente). Os dados foram fornecidos pela companhia petrolífera brasileira que patrocinou o estudo.

A segunda etapa do processo envolve a coleta dos dados. A coleta deve ser feita levando em conta as seguintes características:

- **Granularidade:** Corresponde ao menor nível ao qual se deseja realizar a previsão.
- **Tamanho da Série:** Deve-se ficar atento ao tamanho do histórico disponível. Se a série for pequena demais, o ajuste ao modelo pode não ser possível.

Para esse estudo foram coletadas as séries de produção acumulada e de reserva provada de 196 campos que estão divididos entre sete unidades operacionais (UOs¹) sendo elas:

- UO – Amazonas / Período: 1986 – 2010
- UO – Bahia / Período: 1964 – 2010
- UO – Bacia de Campos / Período: 1974 – 2010
- UO – Espírito Santo / Período: 1969 – 2010
- UO – Rio de Janeiro / Período: 1988 – 2010
- UO – Rio Grande do Norte e Ceará / Período: 1974 – 2010
- UO – Sergipe e Alagoas / Período: 1964 – 2010

A proposta deste estudo é trabalhar com previsões ao nível de UO e também ao nível da companhia.

A terceira etapa engloba a análise dos dados coletados, análise essa que geralmente é feita a partir da construção de gráficos de dispersão conectados por linhas. Dessa forma é possível identificar dados faltantes, *outliers* e o comportamento das séries em estudo. Uma vez que seja identificada alguma inconsistência, deve-se efetuar uma nova coleta de dados.

¹ UO – Unidade Operacional é um grupo de campos situados em uma mesma região sob a responsabilidade de uma única gerência.

Para facilitar o estudo proposto, todos os dados fornecidos foram organizados com a utilização de um banco de dados e foram analisados a partir de tabelas dinâmicas e gráficos de dispersão como é exemplificado na Figura 10.

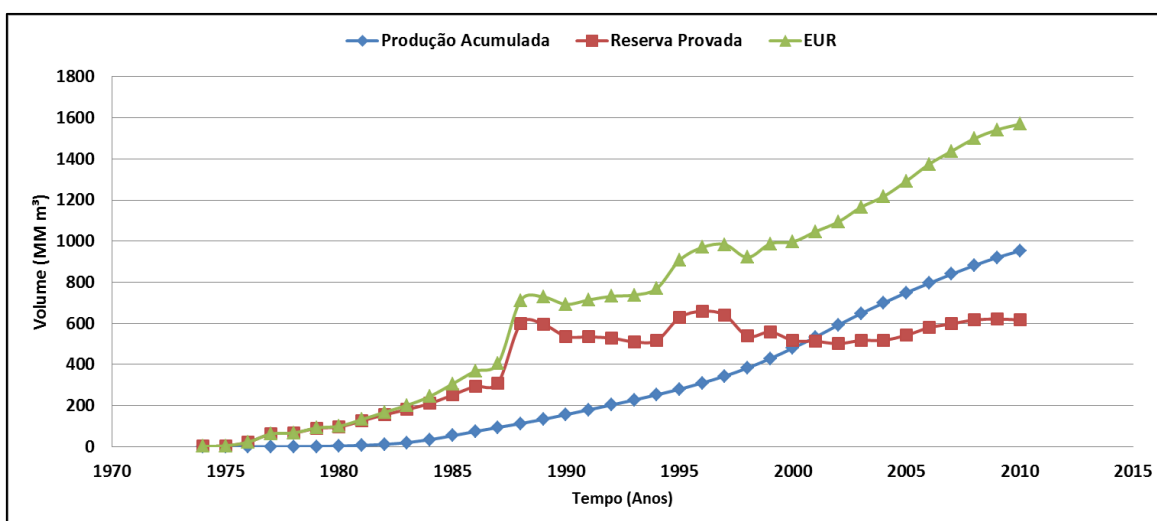


Figura 10 – Gráfico para análise de dados

Fonte: Autor

Conforme ilustra o exemplo, através da soma da curva de produção acumulada (curva azul) com a curva de reserva provada (curva vermelha), pode-se obter a curva de volume recuperável (curva verde) ou reserva acumulada.

Uma vez que os dados tenham sido analisados e mesmo com uma nova coleta as séries ainda apresentem inconsistências, deve ser feito um tratamento dos dados que corresponde a etapa 4 do processo de previsão.

Durante o estudo, o principal problema encontrado foi a ocorrência de séries incompletas, por exemplo, uma série que se iniciava em 1988, terminava em 2010 e não possuía valores no ano de 2005. Esse problema foi corrigido pela estimação do valor faltante no ano n através do valor médio entre os anos $n - 1$ e $n + 1$.

A quinta etapa do processo é extremamente importante antes da aplicação de qualquer modelo de previsão e corresponde à divisão da série em dois períodos. O primeiro período da série serve para o ajuste do modelo, ou seja, os dados históricos são usados para definir os parâmetros do modelo de previsão. Uma vez que os parâmetros tenham sido definidos, o modelo é empregado para gerar a previsão dos anos não utilizados no ajuste e os valores estimados são comparados com os valores reais para avaliar o desempenho do modelo. A Figura 11 representa um exemplo de divisão.

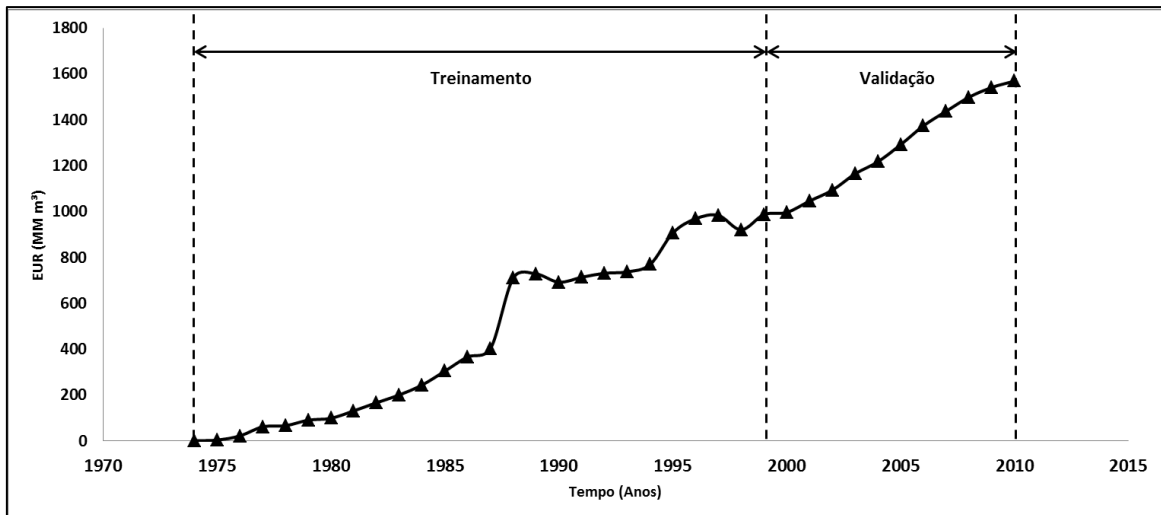


Figura 11 – Partição temporal da série

Fonte: Adaptado de Shmueli, 2011

Nesse estudo, por razões que serão explicadas no Capítulo 5, cada série sofreu um total de quatro partições, sendo elas:

- Partição 1 – Ajuste: Ano Inicial – 2002 / Validação: 2003 – 2007
- Partição 2 – Ajuste: Ano Inicial – 2003 / Validação: 2004 – 2008
- Partição 3 – Ajuste: Ano Inicial – 2004 / Validação: 2005 – 2009
- Partição 4 – Ajuste: Ano Inicial – 2005 / Validação: 2006 – 2010

A sexta etapa do processo consiste em aplicar os modelos de previsão que são explicados na seção 4.2 desse capítulo. Os modelos sugeridos servem para efetuar a previsão do volume recuperável e são ajustados através do *Método dos Mínimos Quadrados Não Lineares*.

Tendo os modelos ajustados aos dados, a etapa 7 é colocada em prática verificando o desempenho de cada modelo. O desempenho é a capacidade do modelo de fazer previsões que se igualem aos valores reais ou tenham a maior aproximação possível dos mesmos. O método proposto para verificar a eficiência é explicado com detalhes no Capítulo 5.

Por fim, com o modelo de melhor desempenho preditivo, podem ser feitas as previsões para os períodos desejados atividade que caracteriza a etapa 8 e o fim do processo de previsão. Deve-se estabelecer uma periodicidade para revisão dos modelos a medida que novas realizações ocorrem.

4.2

MODELOS DE PREVISÃO

Diferente de Hubbert (1956) e Deffeyes (2008), Knoring et al. (1999) afirmam que não existe um modelo universal de curva para representar o acréscimo de reservas e que as curvas que melhor se ajustam aos dados históricos podem possuir um comportamento assimétrico.

Segundo esses últimos autores, o processo de acréscimo de reservas não depende apenas das novas descobertas que podem ser feitas, mas depende também das estratégias de exploração adotadas que sofrem mudanças de acordo com os resultados obtidos ao longo do processo exploratório.

Dessa forma, para eles, o acréscimo de reservas (ΔR) pode ser matematicamente representado pelo produto de duas funções, sendo a primeira a função seleção de controle ($\varphi(R)$) e a segunda a função seleção de condição ($f(R)$), como é mostrado na eq. (16).

$$\Delta R = \varphi(R) \times f(R) \quad \text{Eq. (16)}$$

A função seleção de controle representa o conhecimento obtido com a evolução da exploração que é representado por uma função crescente, ou seja, quanto mais explorada é uma determinada região maior é o conhecimento e o controle sobre a mesma. Dessa forma, o controle em um instante ($t + 1$) sempre será maior que o controle em um instante (t).

A função seleção de condições é uma função decrescente a qual indica que o número de novas descobertas tende a diminuir a medida que é feita a exploração de uma determinada região. Assim, a condição em um instante ($t + 1$) sempre será menor que a condição no instante (t).

Os comportamentos das funções mencionados acima, assim como o comportamento da função de acréscimo de reservas podem ser vistos na Figura 12.

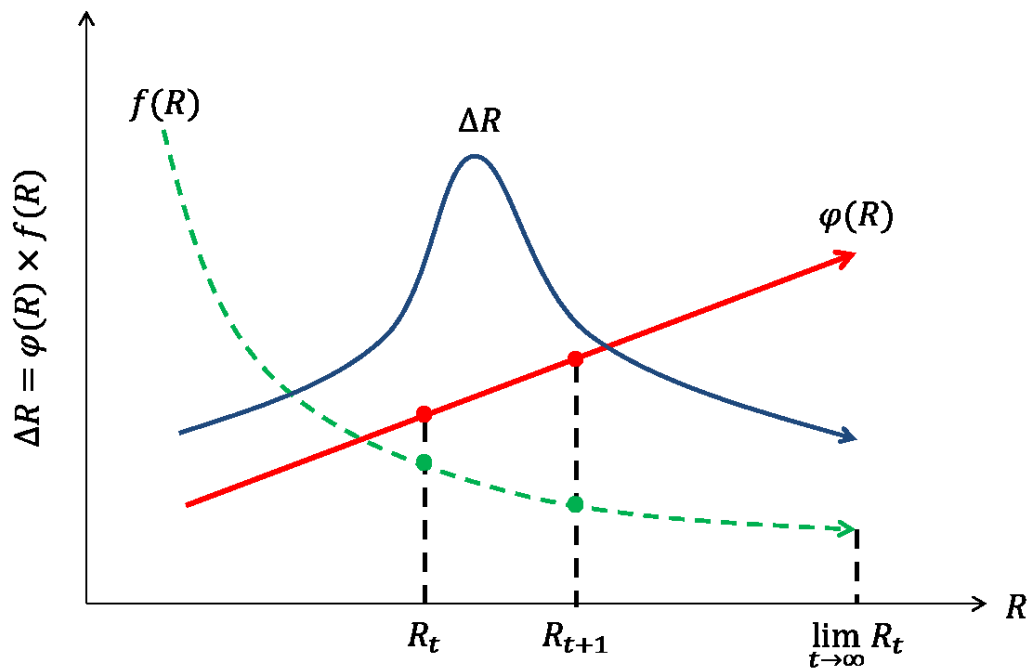


Figura 12 – Método de Knoring

Fonte: Adaptado de Knoring et al., 1999, p.20

4.2.1

KNORING ET AL. (1999)

Para representar a função seleção de condição, Knoring et al. (1999) sugerem nove modelos de funções que estão representadas pelas eq. (17) a (25).

$$\text{Modelo 1: } \frac{\Delta R}{R_{t+1}} = a - bR_t \quad \text{Eq. (17)}$$

$$\text{Modelo 2: } \frac{\Delta R}{R_{t+1}} = 1 - aR_t^b \quad \text{Eq. (18)}$$

$$\text{Modelo 3: } \frac{\Delta R}{R_{t+1}} = e^{a-bR_t} \quad \text{Eq. (19)}$$

$$\text{Modelo 4: } \frac{\Delta R}{R_{t+1}} = 1 - \left(1 - c + aR_t^{\frac{1}{b}}\right)^b \quad \text{Eq. (20)}$$

$$\text{Modelo 5: } \frac{\Delta R}{R_{t+1}} = c - aR_t^b \quad \text{Eq. (21)}$$

$$\text{Modelo 6: } \frac{\Delta R}{R_{t+1}} = b \ln \frac{A}{R_t} \quad \text{Eq. (22)}$$

$$\text{Modelo 7: } \frac{\Delta R}{R_{t+1}} = a \left(\frac{A-R_t}{A}\right)^b \quad \text{Eq. (23)}$$

$$\text{Modelo 8: } \frac{\Delta R}{R_{t+1}} = e^{a-bR_t} - c \quad \text{Eq. (24)}$$

$$\text{Modelo 9: } \frac{\Delta R}{R_{t+1}} = e^{a-bR_t} - \frac{c}{R_t} \quad \text{Eq. (25)}$$

A função seleção de controle, por sua vez, é representada por uma única função crescente linear ($\varphi(R) = kR_t$) segundo Knoring et al. (1999) e a mesma combinada as nove funções seleção de condição fornecem nove modelos para a evolução das reservas com o tempo. Esses modelos estão representados nas eq. (26) a (34).

$$\text{Knoring 1: } R_{t+1} = \frac{R_t}{1-a+bR_t} \quad \text{Eq. (26)}$$

$$\text{Knoring 2: } R_{t+1} = aR_t^b \quad \text{Eq. (27)}$$

$$\text{Knoring 3: } R_{t+1} = \frac{R_t}{1-e^{a-bR_t}} \quad \text{Eq. (28)}$$

$$\text{Knoring 4: } R_{t+1} = \frac{R_t}{\left(1-c+aR_t^{\frac{1}{b}}\right)^b} \quad \text{Eq. (29)}$$

$$\text{Knoring 5: } R_{t+1} = \frac{R_t}{1-c+aR_t^b} \quad \text{Eq. (30)}$$

$$\text{Knoring 6: } R_{t+1} = \frac{R_t}{1-b\ln\frac{A}{R_t}} \quad \text{Eq. (31)}$$

$$\text{Knoring 7: } R_{t+1} = \frac{R_t}{1-c(A-R_t)^b} \quad \text{Eq. (32)}$$

$$\text{Knoring 8: } R_{t+1} = \frac{R_t}{1+c-e^{a-bR_t}} \quad \text{Eq. (33)}$$

$$\text{Knoring 9: } R_{t+1} = \frac{R_t}{1-\left(e^{a-bR_t}-\frac{c}{R_t}\right)} \quad \text{Eq. (34)}$$

4.2.2

BARCELOS (2006)

Segundo Barcelos (2006), as constantes melhorias na tecnologia de recuperação proporcionam aumentos significativos nos volumes de hidrocarbonetos a serem recuperados e essa é a razão para considerar que a função seleção de controle deve ser construída a partir de modelos não lineares.

Além disso, a tecnologia e estratégia a serem implementadas em determinado processo exploratório podem ser mudadas ao longo da vida do reservatório segundo um processo de *feedback*, onde são analisados os resultados obtidos anteriormente e o preço do petróleo como é mostrado na Figura 13.

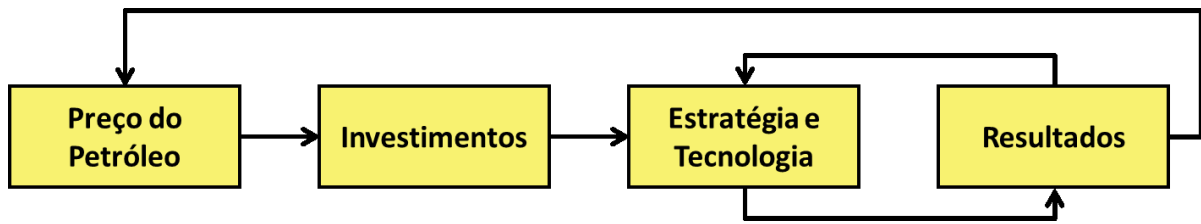


Figura 13 – Processo de Decisão de Estratégia e Tecnologia

Fonte: Adaptado de Barcelos, 2006, p.64

Segundo Barcelos (2006), um preço de petróleo elevado possibilita mais investimentos em pesquisa para o desenvolvimento de melhores tecnologias e a adoção de novas estratégias, além de viabilizar a utilização de tecnologias já existentes que eram altamente custosas e deixavam o processo economicamente inviável.

Dessa maneira, Barcelos (2006) sugere empiricamente a utilização de sete funções não lineares para representar a função seleção de controle e essas funções estão representadas pelas eq. (35) a (41).

Crescimento Exponencial:

$$\text{Modelo 1: } \varphi(R) = \exp(\alpha R_t^\beta) \quad \text{Eq. (35)}$$

$$\text{Modelo 2: } \varphi(R) = \exp(\alpha + \beta R_t) \quad \text{Eq. (36)}$$

$$\text{Modelo 3: } \varphi(R) = \exp(\alpha + R_t^\beta) \quad \text{Eq. (37)}$$

Potência:

$$\text{Modelo 4: } \alpha R_t^\beta \quad \text{Eq. (38)}$$

Crescimento Logarítmico:

$$\text{Modelo 5: } \varphi(R) = \alpha + \beta \ln(R_t) \quad \text{Eq. (39)}$$

Curva de Aprendizagem:

$$\text{Modelo 6: } \varphi(R) = c - \alpha \exp(-k R_t) \quad \text{Eq. (40)}$$

Função Logística:

$$\text{Modelo 7: } \varphi(R) = \frac{c}{1 + \exp(\alpha - \beta R_t)} \quad \text{Eq. (41)}$$

Esses sete modelos de função seleção de controle propostos por Barcelos combinados aos nove modelos propostos por Knoring et al. para representar a função seleção de condição dão origem a sessenta e três modelos para representar a evolução das reservas com o tempo. Todos os modelos de Barcelos estão descritos no apêndice A.