



Bruno Rafael Dias de Lucena

**Avaliação de Recursos de Petróleo não Descobertos:
Metodologia e Métodos de Eliciação de Informações
Subjetivas**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gerência de Produção pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Orientador: Leonardo Junqueira Lustosa

Rio de Janeiro, 07 de abril de 2006



Bruno Rafael Dias de Lucena

**Avaliação de Recursos de Petróleo não Descobertos:
Metodologia e Métodos de Eliciação de Informações
Subjetivas**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gerência de Produção pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Prof. Leonardo Junqueira Lustosa

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial -PUC-Rio

Prof. Eugenio Kanh Epprecht

Departamento de Engenharia Industrial -PUC-Rio

Prof. Antonio Fernando Castro Vieira

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 07 de abril de 2006

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Bruno Rafael Dias de Lucena

Graduou-se em Engenharia de Produção na Universidade do Estado do Pará em 2003.

Ficha Catalográfica

Lucena, Bruno Rafael Dias de

Avaliação de recursos de petróleo não descobertos; metodologia e métodos de eliciação de informações subjetivas / Bruno Rafael Dias de Lucena; orientador: Leonardo Junqueira Lustosa. – Rio de Janeiro : PUC, Departamento de Engenharia Industrial, 2006.

83 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial.

Inclui referências bibliográficas.

1. Engenharia industrial – Teses. 2. Petróleo. 3. Avaliação de reservas. 4, Recursos não descobertos. 5. Probabilidade subjetiva. 6. Eliciação de informações. I. Lustosa, Leonardo Junqueira. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

**À minha amada esposa LÍlian.
À minha mãe Alice.**

Agradecimentos

Ao meu orientador professor Leonardo Lustosa pelo grande apoio no desenvolvimento desta dissertação, e pela sua sincera amizade.

A CAPES e a Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, em especial ao Departamento de Engenharia Industrial da PUC - Rio, pelo efetivo apoio, pois sem este seria impossível a realização deste trabalho.

Aos Srs. Cleomar e Luciano, funcionários da Petrobrás pelo material de apoio cedido, sem o qual a riqueza desta dissertação poderia ser comprometida.

Aos Professores e Funcionários do Departamento Industrial da PUC-RIO, por tornarem possível minha formação na Pós-Graduação.

Aos colegas da Pós-Graduação, pelo companheirismo e apoio, em especial ao conterrâneo Leonardo Pedreira.

À minha família, amigos e todos aqueles que, apesar da distância, torceram por mim, gostaria de registrar minha especial gratidão.

Resumo

Lucena, Bruno Rafael Dias de. **Avaliação de Recursos de Petróleo não Descobertos: Metodologia e Métodos de Eliciação de Informações Subjetivas**. Rio de Janeiro, 2006. 83p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A avaliação de recursos petrolíferos não descobertos, isto é feita a partir de informações obtidas de testes indiretos como a sismografia, é a base para as decisões sobre a perfuração de poços de exploração. As informações disponíveis nessa fase que antecede a perfuração de poços são vagas e plenas de incertezas. Por outro lado, a avaliação econômica cuidadosa dos prospectos nessa fase é fundamental para as decisões relativas às fases seguintes, principalmente, devido ao elevado custo da perfuração de poços que nelas ocorrem. Por isso, a aplicação de métodos estatísticos que reduzam as incertezas na avaliação de recursos não descobertos é de grande importância para a rentabilidade das empresas de petróleo. O cálculo do volume recuperável de hidrocarbonetos (base para a avaliação econômica) depende avaliações feitas por especialistas e para considerar as incertezas inerentes aos dados as avaliações devem ser representadas probabilisticamente. O objetivo desta dissertação é rever as metodologias e técnicas formais para avaliação probabilística de recursos não descobertos encontradas na literatura, tendo sempre em mente os aspectos práticos de implementação. A descrição destas metodologias inclui a estrutura e a organização necessárias para gerenciar o trabalho dos especialistas, a eliciação de distribuições de probabilidades subjetivas e a combinação destas distribuições, além de técnicas para verificação de consistência das avaliações e redução de vieses. São feitas considerações sobre as principais distribuições de probabilidade usadas para representar incertezas inerentes à avaliação de fatores geológicos. Cada uma das metodologias e técnicas é exemplificada e discutida. Uma planilha eletrônica foi constituída com objeto de ilustrar os métodos apresentados e servir como protótipo de instrumento de apoio a avaliação probabilística de fatores geológicos.

Palavras-chave

Petróleo; Avaliação de reservas; Recursos não descobertos; Probabilidade subjetiva; Eliciação de informações

Abstract

Lucena, Bruno Rafael Dias de. **Assessing Undiscovered Oil and Gas Resources: Methodology and Elicitation of Subjective Information.** Rio de Janeiro, 2006. 83p. M. Sc. Dissertation - Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

The evaluation of not discovered oil and gas resources, that uses solely information obtained from indirect tests such as seismography, is the base for the decisions on the drilling exploration wells. The information available in this phase that precedes the drilling of wells is vague and very uncertain. On the other hand, the careful economic evaluation of the prospects in this phase is very important for the decisions concerning the following phases, mainly on because of the high cost of the drilling of wells that occur. Therefore, the application of statistical methods for reducing the uncertainties and biases in the evaluation of undiscovered resources is quite important for the oil companies. The calculation of the recoverable volume of hydro-carbons (the basis for economic evaluation) depends on assessments made by experts, and for representing the uncertainties; the data must be probabilistically distributed. The objective of this thesis is to review the formal methodologies and techniques for probabilistic evaluation of undiscovered resources founded in literature, having always in mind the practical aspects of implementation. The description of these methodologies range from the definition of the structure and organization necessary to manage the work of the experts, the elicitation of distributions of subjective probabilities and the combination of these distributions, until techniques for verification of evaluations consistency and reduction of biases. Some considerations are made about the main distributions of probability used for representing the uncertainties in evaluations of geologic factors. Each methodology and technique is illustrated and discussed. An electronic spread sheet was developed to illustrate the presented methods and as a prototype of computer aid for the probabilistic evaluation of geologic factors.

Keywords

Oil and gas; Assessment of reserves; Undiscovered resources; Subjective probability; Elicitation of Information

Sumário

1	Introdução	13
1.1	Contextualização e Justificativa da Pesquisa	13
1.2	Problema de Pesquisa e Objetivo de Trabalho	15
1.3	Aspectos Metodológicos	16
1.4	Limitações de Campo e Enfoque mais Importantes	17
1.5	Estruturação da Dissertação.....	17
2	O Processo de Avaliação de Recursos de Petróleo não Descobertos	19
2.1	Definição de Estrutura Geológica.....	21
2.2	Cálculo do Volume de Hidrocarbonetos.....	22
3	Preparação para o Processo de Avaliação.....	24
3.1	Conceitos Iniciais.....	24
3.2	Definição do Objeto de Análise.....	26
3.3	Escolha da Equipe de Avaliadores.....	26
3.4	Reunião no Processo de Avaliação.....	28
3.5	Motivação, Treinamento e Calibração	29
3.6	Definição do Processo (tipo e nível de detalhe da informação)	31
3.7	Eliciação das Probabilidades Subjetivas	32
3.8	Elaboração do Questionário Adequado	33
4	Eliciação de Probabilidades	35
4.1	Distribuição Empírica	36
4.2	Distribuição Lognormal	39
4.3	Distribuição Triangular	42
4.4	Distribuição Beta.....	44
4.5	Eliciação de Distribuições de Probabilidades Subjetivas.....	47
4.6	Identificação de Vieses	50
4.6.1	<i>Ancoragem</i>	50
4.6.2	<i>Representatividade</i>	51
4.6.3	<i>Dependências</i>	52
4.6.4	<i>Coerência</i>	52
4.6.5	<i>Disponibilidade</i>	53
4.7	Especificação da Incerteza Geológica.....	53
4.8	Interação Permitida entre Especialistas	57
4.9	Quantidade e Tempo entre Feedbacks	58
4.10	Documentação da Informação	58
5	Preparação dos Resultados	60
5.1	Abordagem Matemática para Combinação de Probabilidades.....	61
5.1.1	<i>Métodos Axiomáticos</i>	62
5.1.2	<i>Métodos Bayesianos</i>	64
5.2	Abordagem Matemática para Combinação de Distribuição de Probabilidades	68

5.3 Abordagem Comportamental.....	70
5.3.1 <i>O Método Delphi</i>	71
5.4 Suporte	72
5.5 Avaliação do Processo	73
6 Conclusões e Sugestões.....	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
OUTRAS BIBLIOGRAFIAS.....	80
ANEXO I – Formulário de Avaliação de Parâmetros	82
ANEXO II – Avaliação de Recursos Não Descobertos de com Método Delphi	83

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Fases do processo de exploração dos recursos não descobertos	21
Figura 4.1 – Gráficos das distribuições empíricas dos parâmetros geológicos ...	37
Figura 4.2 – Distribuição lognormal da área do play	41
Figura 4.3 – Distribuição triangular	43
Figura 4.4 – Método da bisecção (passo 1)	48
Figura 4.5 – Método da bisecção (passo 2)	48

Lista de Quadros

Quadro 3.1 – Diferenças entre avaliações esportivas e geológicas	30
Quadro 4.1 – Características do sistema geológicos e percentis eliciados.....	37
Quadro 4.2 – Classes da distribuição da espessura do reservatório.....	38
Quadro 4.3 – Percentis da distribuição lognormal.....	41
Quadro 4.4 – Lista de checagem para análise de fatores geológicos.....	54
Quadro 4.5 - Formulário de avaliação de probabilidades de fatores geológicos...	54
Quadro 4.6 – Histórico de ocorrência dos fatores geológicos	55
Quadro 4.7 – Probabilidade de ocorrência dos fatores geológicos.....	56
Quadro 5.1 – Histórico das avaliações dos especialistas.....	65
Quadro 5.2 – Parâmetros da distribuição normal equivalente.....	68

“... Em si apenas ouvia o eco daquelas palavras que lhe ditavam o futuro. Tudo era tão vago, tão incerto... Não sabia lidar com a incerteza, e agora ela fazia parte de si...”

Maria Branco