

UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE ADMINISTRAÇÃO E POLÍTICA DE
RECURSOS MINERAIS

FRANCISCO NEPOMUCENO FILHO

**TOMADA DE DECISÃO EM PROJETOS DE RISCO
NA EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO**

Tese apresentada ao Instituto de Geociências como parte dos requisitos para obtenção do grau de Doutor em Geociências - Área de Administração e Política de Recursos Minerais.

ORIENTADOR: Professor Doutor Saul Barisnik Suslick

Este exemplar corresponde à
redação final da tese, defendida
por FRANCISCO NEPOMUCENO FILHO
e aprovada pelo orientador em
em 29/07/1997

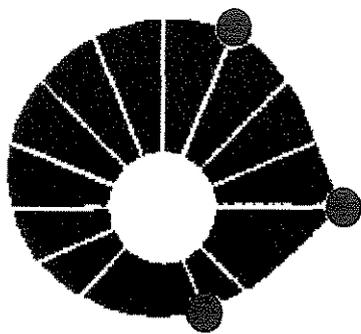
CAMPINAS - SÃO PAULO

Saul Suslick
ORIENTADOR

JULHO - 1997

N352t

31491/BC



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE ADMINISTRAÇÃO E POLÍTICA DE
RECURSOS MINERAIS**

FRANCISCO NEPOMUCENO FILHO

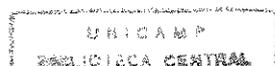
**TOMADA DE DECISÃO EM PROJETOS DE RISCO
NA EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO**

Tese apresentada ao Instituto de Geociências como parte dos requisitos para obtenção do grau de Doutor em Geociências - Área de Administração e Política de Recursos Minerais.

ORIENTADOR: Professor Doutor Saul Barisnik Suslick 

CAMPINAS - SÃO PAULO

JULHO - 1997



CIDADE	BC
CHAMADA:	TJUNICAMP
	N352t
Ex.	
IMPO BC/	31491
ROC.	281197
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
RECO.	R\$ 11,00
DATA	29/08/97
* CPD	

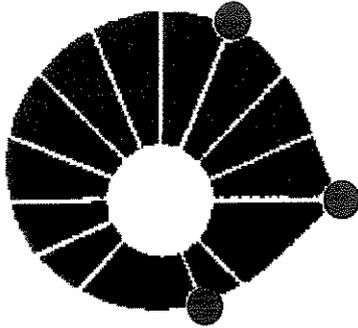
CM-00100160-2

Nepomuceno Filho, Francisco

N352t Tomada de decisão em projetos de risco na exploração de petróleo / Francisco Nepomuceno Filho. - Campinas, SP: [s.n.], 1997.

Orientador: Saul Barisnik Suslick
Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas,
Instituto de Geociências.

1. Processo Decisório. 2. Avaliação de Riscos.
3. Petróleo - Exploração. I. Suslick, Saul Barisnik.
- II. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências.
- III. Título.



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE ADMINISTRAÇÃO E POLÍTICA DE
RECURSOS MINERAIS

AUTOR: FRANCISCO NEPOMUCENO FILHO

TÍTULO DA TESE: TOMADA DE DECISÃO EM PROJETOS DE RISCO
NA EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO

ORIENTADOR: Prof. Dr. SAUL BARISNIK SUSLICK

Aprovada em: 29 / 07 / 97

PRESIDENTE: Prof. Dr. SAUL B. SUSLICK

EXAMINADORES:

Prof. Dr. CHANG HUNG KIANG

Prof. Dr. CLÁUDIO BETTINI

Prof. Dr. LUIZ AUGUSTO MILANI MARTINS

Prof. Dr. MILTON ROMEU FRANKE

Campinas, 29 de julho de 1997

E tudo quanto fizerdes, fazei-o de todo o coração, como ao Senhor, e não aos homens; sabendo que recebereis do Senhor o galardão da herança, porque a Cristo, o Senhor, servis. COLOSSENSES [3:23-24]

AGRADECIMENTOS

À PETROBRÁS, pela minha liberação para a realização do curso de Doutorado e pela concessão de ajuda de custo.

Ao meu orientador Professor Dr. Saul Suslick, pelo forte e contínuo apoio que recebi durante todas as fases, desde a ministração de cursos, até as discussões técnicas sobre cada um dos itens desta tese.

Aos professores Dr. Iran F. Machado, Dr Celso Pinto Ferraz, Dr. Hildebrando Herrmann e Dr. Luiz A. Milani Martins pelas oportunidades de debates e discussões sobre o Brasil e política mineral.

Aos colegas e amigos da Petrobrás, pelo incentivo, críticas, informações e sugestões: Renato Pimenta de Azevedo, Guilherme O. Estrella, Milton R. Franke, Carlos Walter Marinho Campos e Adauto C. Pereira.

Aos colegas de turma da pós-graduação da UNICAMP(1995), pela alegria e harmonia na convivência com todos: Ana Lúcia Taveira, Antônio Fernando S. Rodrigues, Antônio Camilo Cruz Junior, Cláudio Scliar, Djalma Luiz Sanches, Edilson A. Costa, Joaquim Arantes de Bem, José Mário Coelho, José Otávio da Silva, José Paulo M. Marques, Juarez Fontana dos Santos, Marco Aurélio T. de Araújo, Maria Cláudia Miranda Diogo, Maria Flávia de F. Tavares, Miguel A. C. Nery, Osvaldo V. Bezerra e Petain Ávila de Souza.

À Cristina , que foi excepcional no suporte em todos os aspectos administrativos e operacionais oferecidos pela UNICAMP/DARM. À Tânia e Valdenir pelo apoio e presteza nos serviços de secretaria e aos demais funcionários deste Instituto pela amizade e atenção demonstradas ao longo desses 3 anos, em especial ao Dailto Silva, Sr. Aníbal, Maurícia e Augusto (in memoriam).

À Márcia, pela atenção e ajuda nas pesquisas bibliográficas e na normalização das referências bibliográficas.

Agradeço, de modo muito especial, à minha família pela paciência, a compreensão com todos os sentimentos que vivemos, (saudade, ausência, solidão, cansaço, alegrias, afobamento, mudanças) nesses três anos que vivi viajando entre Campinas e o Rio de Janeiro.

Nós acreditamos:

1. Na ética como um valor fundamental.
2. Na tecnologia como fator de soberania.
3. Na nossa capacidade de realizar.
4. Na participação das pessoas.
5. Que trabalhamos melhor quando trabalhamos juntos.
6. No trabalho como fonte de motivação e realização pessoal.
7. Que a qualidade dos nossos produtos é um fator de sucesso da PETROBRÁS.
8. Que a qualidade depende de cada um de nós.
9. Na parceria com os clientes.
10. Na avaliação de resultados pelo cliente como oportunidade de melhoria.
11. Na integração com a comunidade científico-tecnológica.
12. Que custo é responsabilidade de cada um.
13. Que podemos melhorar continuamente.

Fundamentos (credo) elaborados pela gerência do centro de pesquisas da PETROBRÁS em 1993, da qual o autor participou.

Esta página é uma homenagem a pessoas como Guilherme de Oliveira Estrela, ex-superintendente do CENPES, que possui uma profunda noção de cidadania e que sempre age para que cada um possa exercê-la com plenitude.

SUMÁRIO

Página

INTRODUÇÃO

1

CAPÍTULO 1. ABERTURA DO SETOR PETRÓLEO NO BRASIL: PARCERIAS NA ÁREA DE EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO

1.1	Prospectividade das Bacias Brasileiras	7
1.2	Estágio Exploratório das Bacias Brasileiras	14
1.2.1	Potencial de Óleo das Bacias Brasileiras	14
1.2.2	Sistema Petrolífero	16
1.2.3	Perspectivas Exploratórias	18
1.3	Tamanho dos Blocos para Licitação	19
1.4	Investimento mínimo	21
1.5	Qualificação das Firms e os Investimentos	23
1.6	Capital exploratório da Petrobrás para Parcerias	25

CAPÍTULO 2. TOMADA DE DECISÃO EM PROJETOS DE RISCO

2.1	Introdução	28
2.2	Árvore de Decisão	29
2.3	Tomada de Decisão	32
2.3.1	Avaliação econômica	33
2.3.2	Análise de Risco	39
2.3.2.1	Risco Geológico (Risco inerente ao negócio)	43
2.3.2.2	Risco Econômico	44
2.3.3	Introdução à Teoria da Preferência	47
2.3.4	Análise de Portifólio	53
2.3.4.1	Diversificação	57
2.3.4.2	Portifólio e Teoria da Preferência	59

CAPÍTULO 3. FUNÇÃO UTILIDADE UNIDIMENSIONAL

3.1	Teoria da preferência	61
3.2	As Bases Matemáticas p/ a Teoria da Preferência	64
3.3	Determinação de uma Função de Preferência	66
3.4	Tipos de curvas de preferências	73
3.5	Avanços na Aplicação da Teoria da Preferência	74

CAPÍTULO 4. FUNÇÃO UTILIDADE MULTI-ATRIBUTOS

4.1	Conceitos para tomada de decisão Multi-Atributos	92
4.1.1	Critérios, Pesos, Escores e Mecanismo de Premiação	93
4.1.2	Objetivos Conflitantes	94
4.1.2.1	Definição do domínio	94
4.1.2.2	Definição de Critérios	95
4.1.2.3	Determinação dos pesos	97
4.1.2.4	Fator escala	98
4.1.2.5	Modelos Aditivos/Multiplicativos	100
4.2	Procedimentos de Avaliação para Funções Utilidade Multi-Atributos	101
4.2.1	Avaliação Direta da F. U. Multi-atributos	103
4.2.2	Determinação de uma Função de Preferência Multi-Atributos	105
4.2.3	Aplicação da condição de Independência	111
4.2.4	Substitutos e Complementares	115
4.3	Aplicação Prática: Avaliação de uma Função Utilidade para um Banco de Sangue de um Hospital	116
4.3.1	O Problema do banco de Sangue	116
4.4	Outras Aplicações Práticas da Teoria da Utilidade Multi-atributos	123
4.5	O caso de 3 atributos	123

CAPÍTULO 5: APLICAÇÕES PRÁTICAS NA ÁREA DE EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO

5.1	Estudo de Caso no. 1: Priorização de uma Carteira de Projetos	126
5.2	Estudo de caso no. 2: Qualificação Orçamentária dos Investimentos em Exploração de Petróleo	137
5.3	Estudo de caso no. 3: Parcerias na Área de Exploração de Petróleo	148
5.4	Estudo de caso no. 4: Aplicação da Teoria da Preferência Multi-atributos	160

CONSIDERAÇÕES FINAIS	188
----------------------	-----

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	195
----------------------------	-----

ANEXO A: Elementos da Teoria da Preferência, Economia e Estatística	202
---	-----

ANEXO B: Software	220
-------------------	-----

ANEXO C: Glossário	235
--------------------	-----

LISTA DE FIGURAS

1.1 Bacias sedimentares brasileiras	8
1.2 Percentual de investimentos nas bacias não-produtoras	10
1.3 Sistema lacustre: sistema petrolífero das bacias marginais	16
1.4 Estrutura do orçamento de exploração	26
2.1 Árvore de decisão para um projeto de perfuração de um poço p/ petróleo	31
2.2 Nó de incerteza em exploração de petróleo	32
2.3 Fluxo de caixa esquemático, típico dos projetos de exploração de petróleo	33
2.4 Árvore de decisão de um projeto de risco	34
2.5 Nó de incerteza de um projeto de exploração de petróleo	35
2.6 Avaliação econômica: modelo de fluxo de caixa usado pela Braspetro	36
2.7 Dois projetos diferentes com o mesmo VME	38
2.8 Dois jogos referência (jogo de azar)	39
2.9 Árvore de decisão: probabilidades de descobertas de vários volumes de óleo	41
2.10 Distribuição probabilística do VPL	41
2.11 Critério de quantificação do risco geológico	42
2.12 Redistribuição das probabilidades de sucesso geológico	45
2.13 Curva de distribuição log-normal	46
2.14 Curvas de comportamento frente ao risco	49
2.15 Nó de incerteza simplificado com dois possíveis resultados	51
2.16 Nós de incerteza dos projetos da tabela 2.1	52
2.17 Equivalente certo do projeto vs nível de participação financeira no projeto	52
2.18 Situações de decisão na construção de um portfólio de E & P	55
2.19 Retorno e risco da carteira com vários ativos	56
2.20 Retorno e risco de uma carteira com dois ativos	57
2.21 Risco versus número de ativos	58
2.22 Curvas de indiferenças e fronteira não dominada	60
3.1 Jogo referência	63
3.2 Função de preferência de um tomador de decisão avesso ao risco	63
3.3 O jogo referência	67
3.4 Um jogo específico	68
3.5 Dois jogos triviais	69
3.6 Equivalente certo vs probabilidade de sucesso de ganhar V_1	71
3.7 Três tipos de curvas de utilidade	74
3.8 Definição do prêmio do risco	75
3.9 Comparação de curvas de perfis de risco	78
3.10 Tolerância ao risco p/cada um dos projetos da carteira	85
3.11 Simulação de Monte Carlo	86
3.12 O programa @Risk: operações matemáticas	87
3.13 Distribuição probabilística dos lucros do projeto	88
3.14 Distribuição probabilística discreta	88
3.15 Arvore de decisão para a figura 3.14	89
3.16 Nível ótimo de participação em um projeto de risco	91
4.1 Escala dos pesos dos critérios desejados	99
4.2 Espaço consequência de dois atributos	101
4.3 Superfície de utilidade para dois atributos ($U(x,y)=f(U(x),U(y))$)	103
4.4 Avaliação direta da função utilidade multi-atributos	104

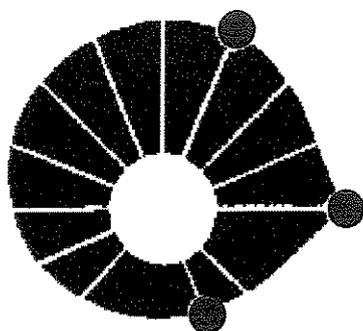
4.5	Curvas de iso-indiferenças	104
4.6	Ajuda gráfica para verificar se X é utilidade independente de Y	108
4.7	Duas loterias para testar a independência aditiva.....	110
4.8	Duas loterias para verificar se existe independência aditiva.....	110
4.9	Curvas de indiferença da função utilidade da enfermeira p/ falta e descarte.....	122
5.1.1	Macrofluxo de execução do estudo de caso n.1.....	127
5.1.2	Perfil de tolerância ao risco da carteira de projeto da RIFTOIL	131
5.1.3	Nível ótimo de participação e comparação de projetos	132
5.1.4	Análise de sensibilidade	133
5.2.1	Modelo adotado para qualificação do orçamento. Est. de caso n. 2	138
5.2.2	Distribuição probabilística dos tamanhos de campos da bacia A.....	139
5.2.3	Índice de aversão ao risco versus nível de participação	141
5.2.4	Comparação de perfis de risco da Região A, B e C	142
5.2.5	Capital vs nível ótimo de participação	145
5.3.1	Distribuição dos principais objetivos dos poços pioneiros em Campos.	149
5.3.2	Dados estatísticos da Formação Lagoa Feia	151
5.3.3	Ajuste dos tamanhos de campos de óleo a uma curva log-normal.....	153
5.3.4	Distribuição probabilística por volume de óleo	154
5.3.5	Árvore de decisão do prospecto do play horizontes profundos.....	154
5.3.6	Função densidade de probabilidade: Distribuição condicional do logaritmo do valor presente líquido do proeijo para o tempo t.	156
5.3.7	Nível ótimo de participação p/ um prospecto do play horizontes profundos	158
5.3.8	Análise de sensibilidade p/ um prospecto do play horiz. profundos.....	159
5.4.1	Objetivos e sub-objetivos do estudo de caso n. 4.	170
5.4.2	Jogo referência para duas variáveis.....	171
5.4.3	Um espaço consequência para dois atributos (VPL, RP).....	172
5.4.4	Jogo referência do risco econômico	174
5.4.5	Função utilidade linear	175
5.4.6	Função utilidade da Unioil para o VPL	176
5.4.7	Tolerância ao risco de cada projeto da carteira do est. caso n. 4	177
5.4.8	Priorização dos projetos levando-se em consideração somente o VPL	177
5.4.9	Jogo referência para o risco político.....	178
5.4.10	Função utilidade do gerente da Unioil ao risco político.....	180
5.4.11	Escala comum para VPL e RP	181
5.4.12	Curvas de iso-preferências U(VPL,RP)	182
5.4.13	Mapa de iso-preferência da função U(VPL,RP).....	185
5.4.14	Jogo referência de um prospecto em um País com o risco político RPo... ..	186
5.4.15	Priorização dos projetos levando em consideração VPL e RP.....	187

LISTA DE TABELAS

1.1	Bacias produtoras de óleo no Brasil em 1995	9
1.2	Nível de atividade nas bacias produtoras vs não-produtoras (terrestres)	14
1.3	Nível de atividade nas bacias produtoras vs não-produtoras (marítimas).....	15
1.4	Reservas provadas em bilhões de barris	16
1.5	Uma possível divisão em bloco das bacias brasileiras.....	22
1.6	Plano plurianual de investimentos da Petrobrás	25
1.7	Atividades de exploração e produção da Petrobrás.....	26
1.8	Custos médios estimados das atividades exploratórias	27
2.1	Dados dos projetos A e B e C e D	37
3.1	Pares casados de equivalentes certos e probabilidades de ganhar V_1	69
3.2	Níveis de aversão ao risco sugerido por COZZOLINO	79
3.3	Nível de tolerância ao risco das 25 maiores companhias americana de petróleo...82	
3.4	Valor monetário esperado do projeto da figura 3.15	89
4.1	Danos aos navios mercantes ingleses sob ataque aéreo no Mediterrâneo	97
4.2	Ajuste dos pesos.....	99
4.3	Valores de utilidade para falta e descarte no banco de sangue.....	122
5.1.1	Carteira de Projetos da Riftoil.....	128
5.1.2	Priorização da carteira de projetos via equivalente certo.....	134
5.1.3	Melhor portfólio para o primeiro e segundo ano.	136
5.2.1	Dados de entrada do modelo do estudo de caso n. 2	140
5.2.2	Alocação ótima de recursos por região (cenário 1)	144
5.2.3	Alocação ótima de recursos por região (cenários 2 e 3)	147
5.3.1	Volume de óleo dos campos descobertos no play horizontes profundos.....	152
5.3.2	Distribuição log-normal dos tamanhos de campos do play h. profundos	153
5.3.3	Dados de entrada do projeto	155
5.3.4	Dados de entrada do projeto (custos, probabilidades, VPL e coef. c).....	158
5.4.1	Dados dos projetos do estudo de caso n. 4.....	160
5.4.2	Riscos econômico e político dos países.....	168
5.4.3	Valores da função utilidade para o risco econômico	176
5.4.4	Valores da funções utilidade para o risco político	180
5.4.5	Valores de utilidade dos projetos, usando duas variáveis (VPL e RP).....	185
5.4.6	Matriz de valores de utilidade para diferentes VPL e RP	185
5.4.7	Classificação e nível ótimo de participação dos projetos, usando função utilidade com dois atributos	187

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

bbI	- barris
BP	- British Petroleum
c	- Coeficiente de aversão ao risco
E & P	- Exploração e Produção
EOR	- "Enhanced Oil Recovery" (Recuperação avançada)
EqC	- Equivalente Certo
EUA	- Estados Unidos da América
Ma	- Milhões de anos
MM	- Milhões
P&D	- Pesquisa e Desenvolvimento
PETROBRÁS	- Petróleo Brasileiro S/A
PPA	- Plano Plurianual (Orçamento)
TIR	- Taxa Interna de Retorno
UK	- Reino Unido
VME	- Valor Monetário Esperado
VPL	- Valor Presente Líquido



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE ADMINISTRAÇÃO E POLÍTICA DE
RECURSOS MINERAIS**

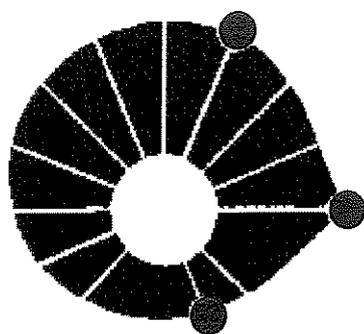
TOMADA DE DECISÃO EM PROJETOS DE RISCO NA EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO

RESUMO

TESE DE DOUTORADO

Francisco Nepomuceno Filho

As recentes mudanças no setor petrolífero implicam um novo ambiente de exploração de intensa competição no Brasil. As tendências de internacionalização da exploração induzem as empresas a adotarem técnicas padronizadas de avaliação e comparação de prospectos visando a redução do risco. Dentro desta perspectiva, os indivíduos necessitam de um processo decisório que contemple os objetivos da empresa, as metas desejadas e as restrições orçamentárias. Este trabalho descreve um sistema teórico e prático de suporte à tomada de decisão baseado nas teorias da utilidade multi-atributos e da análise de decisão, com o objetivo de estimar a melhor alocação de capital no projeto de exploração de uma bacia sedimentar. Além disso, tal sistema possibilita estimar o melhor nível de participação financeira de uma firma em um projeto de exploração de petróleo realizado em parceria.



UNICAMP

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS
ÁREA DE ADMINISTRAÇÃO E POLÍTICA DE
RECURSOS MINERAIS**

**DECISION-MAKING IN RISK PROJECTS
IN OIL EXPLORATION**

ABSTRACT

DOCTORAL THESIS

Francisco Nepomuceno Filho

With the recent changes in the petroleum sector in Brazil, the exploration will enter in an increasingly competitive and risky business environment. The trends of internationalization of exploration and risk reducing recommend the use of standardized techniques of evaluation and comparison of plays and prospects. Under these circumstances, managers have a growing need to employ better and more systematic decision processes that explicitly embody the firm's objectives, desired goals, and resource constraints. In order to spread risk in major projects, oil companies will continue to engage in joint ventures. This thesis describes a theoretical and practical system for exploration decision support based on the expected utility theory and decision analysis, in order to estimate the best capital allocation and to define the best level of financial participation of a firm in the new ventures in petroleum exploration projects.

INTRODUÇÃO

A motivação

A abertura do setor petróleo no Brasil e o modelo de gestão da qualidade total voltada a processos são dois aspectos importantes que motivaram o autor a realizar esse trabalho de doutorado, visando a estudar a coerência e a consistência do processo de tomada de decisão em exploração de petróleo.

Durante muito tempo, as visões de qualidade total estavam voltadas para o produto; assim, qualidade total significava “zero defeito”, “zero erro”, ou seja, a avaliação se dava sobre o resultado final, restrito ao produto.

Os resultados do processo de tomada de decisão em exploração de petróleo demoram de 5 a 8 anos para aparecer; por isso, é preciso que se tenha um controle dentro do processo decisório e não só na avaliação final do produto. Foi com essa visão que se buscou dar coerência e consistência ao processo de tomada de decisão, definindo itens de verificação dentro do mesmo.

Dentro dessa perspectiva, o objetivo desta tese é aprimorar o processo de tomada de decisão em exploração e produção de petróleo(E & P), definindo itens de controle dentro do processo decisório.

Um dos aspectos mais críticos na estratégia dos negócios de uma empresa é o processo de distribuição dos investimentos, face aos riscos e incertezas do mesmo. Para estruturar e quantificar essa classe de decisão estratégica, esta tese busca descrever um modelo de decisão multi-objetivos desenhado para ajudar tomadores de decisão na alocação de capital em um conjunto de oportunidades de investimentos de risco.

Trabalha-se especificamente para o desenvolvimento de um modelo, teoricamente robusto, de alocação de capital que incorpore uma atitude de risco da corporação, visando à melhoria contínua da qualidade de decisões associadas ao processo de orçamentação do capital.

Em todos os capítulos deste trabalho, admite-se que o leitor esteja familiarizado com a avaliação econômica de projetos de mineração, especialmente em projetos de exploração de petróleo¹. A incorporação quantitativa da avaliação econômica e da análise de risco no processo de tomada de decisão, via teoria da preferência, é a base desse trabalho.

A avaliação econômica traz em si a organização e a visão do negócio. Lança-se mão da análise de risco quantitativa para fortalecer a base de informação da avaliação econômica. Aliás, este trabalho só tem sentido quando se opera com projetos de risco. Se o projeto não tem risco e o decisor sabe com antecedência tudo que vai acontecer no futuro, basta fazer uma análise econômica convencional. Agora, se o projeto envolve riscos, o gerente precisa de uma metodologia que reduza seus riscos e maximize seus ganhos. Nesse caso, a teoria da preferência é importante.

A abordagem

Os sistemas de suporte à decisão desenvolvidos hoje no mundo podem ser divididos em dois tipos: programação estruturada e caixa de ferramentas. O primeiro tipo tem como exemplo clássico a programação linear. Esse sistema exige que o decisor coloque o seu problema de decisão em uma estrutura rígida, definindo funções-objetivo, equações de restrições e maximizando ou minimizando essas funções.

O segundo tipo resulta no desenvolvimento de uma caixa de ferramentas que ajudam a tomada de decisão. São ferramentas típicas desse grupo os programas de avaliação econômica, análise de risco, teoria da preferência, árvore de decisão, análise de *portfolio* etc. Contrariamente à programação estruturada, esse sistema é altamente flexível, apresentando várias estruturas (seqüências de trabalhos) dependendo do problema.

¹ Existe uma boa literatura sobre avaliação econômica. Ao leitor interessado recomenda-se NEWENDORP(1975), e MANNARINO(1991), autores que tratam detalhadamente da avaliação econômica de projetos de exploração de petróleo. Na área de mineração, recomenda-se, entre outros: GENTRY & O'NEIL (1984) e SOUZA, (1995).

Este trabalho está incluído no grupo de desenvolvimento de ferramentas e tem como objetivo maior a incorporação da avaliação econômica e da análise de risco no processo de tomada de decisão em projetos que envolvam riscos.

A aplicação da teoria da preferência é a principal ferramenta utilizada nesse trabalho. Tal ferramenta possibilita atender às seguintes demandas: dar consistência ao processo de hierarquização de projetos de risco; definir o nível ótimo de participação financeira em cada projeto; reduzir o risco financeiro via participação fracionada nos projetos e via diversificação dos investimentos; e maximizar os resultados(ganhos) a longo prazo, na medida em que a exposição ao risco é mitigada, protegendo a firma contra possível falência financeira.

Os pontos críticos da aplicação da teoria da preferência estão na determinação da função-utilidade e do coeficiente de aversão ao risco do gerente frente à capacidade financeira da firma. A teoria da preferência tem sido desenvolvida dentro da academia e a sua adequação ao uso para solução de problemas reais tem sido um dos desafios sobretudo na utilização pelo gerente de exploração de petróleo. Esse trabalho é uma contribuição para auxiliar o gerente no uso dessa metodologia, criando ferramentas que facilitem sua aplicação e superem algumas barreiras técnicas.

O problema

Regularmente, os gerentes enfrentam o problema de construção de *portfolio* apropriado de oportunidades de investimentos, consistentes com os objetivos de negócio da empresa. As decisões sobre alocação de capital podem focalizar a seleção de misturas apropriadas de projetos de alto risco versus projetos de baixo risco, doméstico versus atividades no exterior, P&D versus produção, aquisição versus desenvolvimento de oportunidades.

Na análise de *portfolio* (SHARPE, 1970), discute-se que decisões de investimentos podem ser avaliadas usando o retorno esperado e o desvio-padrão (ou variância) da distribuição do retorno (em que o desvio-padrão é visto como uma medida de risco).

Assim, na construção de um *portfolio* tem-se uma carteira de projetos com diversos retornos esperados e respectivos riscos associados. O investidor tem dois objetivos: maximizar o retorno esperado e minimizar o risco.

Usa-se o termo *portfolio* para indicar as combinações de investimentos que um investidor pode escolher. O conjunto de *portfolios* eficientes e possíveis é aquele que atende as seguintes condições: a) não existe outro *portfolio* com um retorno esperado mais alto e o mesmo desvio-padrão do retorno. b) Não existe outro *portfolio* com um desvio padrão menor e o mesmo retorno esperado. Esse conjunto de *portfolios* repousa sobre a linha denominada conjunto eficiente de *portfolios*.

Na construção de um *portfolio*, encontram-se freqüentemente as seguintes situações:

$\mu_A = \mu_B$ e $\sigma_A < \sigma_B$ ➡ Projeto A é melhor do que o projeto B

$\mu_A < \mu_B$ e $\sigma_A = \sigma_B$ ➡ Projeto B é melhor do que projeto A

$\mu_A < \mu_B$ e $\sigma_A < \sigma_B$ ➡ ???

A última situação é aquela em que entra a preferência do gerente. Ou ele prefere um retorno maior mesmo com maior risco, ou ele prefere um retorno menor mas com mais segurança. Essa ponderação depende da capacidade financeira da firma de absorver perdas e da disposição do gerente para correr riscos. A teoria da preferência é importante para dar coerência ao processo de tomada de decisão em projetos de risco.

A escolha do *portfolio* ótimo de um conjunto eficiente requer um *tradeoff*² entre risco e retorno que depende da atitude de risco da organização. Portanto, conhecendo-se as preferências da firma, é possível identificar o *portfolio* ótimo.

² *trade-off* - abrir mão de alguma coisa para se obter outra.

A natureza dos dados

Esse trabalho só tem sentido se lidar com projetos de risco. O risco normalmente é expresso em um percentual (um número entre 0 e 100), mas pode ser expresso de várias outras formas, principalmente como curvas de distribuição.

Essas curvas de distribuição podem ser obtidas por intermédio da análise estatística de resultados passados ou simulações numéricas com projeções futuras. Por exemplo, uma análise estatística da rentabilidade de um ativo poderia mostrar uma distribuição probabilística da taxa anual de retorno de um projeto para vários anos. Com isso, poder-se-ia determinar a taxa de retorno média e o desvio-padrão dessa distribuição e as duas estatísticas representariam o retorno médio esperado do projeto e seu risco envolvido.

Nas projeções para o futuro, dados técnicos podem conduzir analistas a estimar, por exemplo, que o preço do barril de óleo ficará entre 14 e 18 US\$, com distribuição uniforme entre 14 e 18, ou estimar que ele poderá estar mais perto de 18 do que de 14, ou seja, será mais provável que ele esteja em torno de 17. Poderia então ser representado por uma distribuição triangular (14,17,18), em que se teria o valor mínimo, a moda e o máximo, respectivamente.

O risco geológico de um projeto exploratório depende da ocorrência de vários fatores como: presença de rochas-reservatório, presença de uma trapa estrutural e/ou estratigráfica, presença de selo, presença de rochas geradoras de petróleo e da possibilidade de que esses fatores tenham uma relação espacial e temporal adequada para a geração, migração e acumulação de petróleo. A interpretação dos modelos geológicos e dos dados geofísicos permite estimar com maior ou menor eficiência a presença desses fatores que condicionam a ocorrência de petróleo, ponderando-os quanto aos seus respectivos graus de incerteza.

De um modo geral, os analistas consideram esses fatores como variáveis independentes. Portanto, a probabilidade de sucesso de se encontrar uma acumulação de petróleo é dada pela multiplicação da probabilidade de existência de cada um desses fatores, probabilidade essa estimada pelos intérpretes de análise de bacia.

A aplicação prática

A tecnologia se desenvolve com o uso, daí realizarem-se nesse trabalho algumas aplicações práticas da teoria da preferência em problemas do mundo real, em especial na área de petróleo.

Quatro aplicações práticas são introduzidas nessa tese, buscando-se a melhoria dos processos de decisão na atividade de exploração de campos de petróleo e na melhor eficácia de alocação dos recursos. As aplicações foram estruturadas da seguinte maneira:

1) *Análise de portfolio*: Análise de uma carteira com 69 projetos exploratórios com VME positivo, visando à definição do nível ótimo de participação financeira em cada projeto, usando a teoria da preferência para uma firma com um orçamento exploratório anual de 250 milhões de dólares.

2) Definição de alocação de capital em três bacias sedimentares com potencial para conter campos de petróleo de diversos tamanhos (grande, médio e pequeno).

3) Definição de participação financeira ótima em uma parceria para a exploração de petróleo.

4) Aplicação da função-utilidade multi-atributos para definição de alocação de capital em investimentos de petróleo em vários países, considerando o VPL e o risco político.

As aplicações do modelo, discutidas nesse trabalho, pertencem à indústria do petróleo e gás. Entretanto, o método da teoria da utilidade multi-atributos para estratégia de negócio e alocação de capital pode ser aplicado para qualquer setor de negócio.

CAPÍTULO 1: ABERTURA DO SETOR PETRÓLEO NO BRASIL: PARCERIAS NA ÁREA DE EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO

Com as mudanças na legislação do setor petróleo no Brasil, surgem várias questões que devem ser equacionadas segundo a realidade da economia de mercado.

Perguntas tais como: Qual a prospectividade das bacias sedimentares brasileiras?, qual o grau de exploração já realizado nas bacias? qual a dimensão das áreas para concessão (tamanho dos blocos)? qual o investimento mínimo por bloco? qual a qualificação das firmas que irão participar? e qual o nível de recursos disponíveis da PETROBRÁS para parcerias? deverão ser respondidas.

1.1 Prospectividade das Bacias Brasileiras

Três pontos são importantes para a atratividade de investimentos estrangeiros na área de exploração e produção de petróleo em um país: potencialidade geológica, estabilidade política e estabilidade nas relações contratuais.

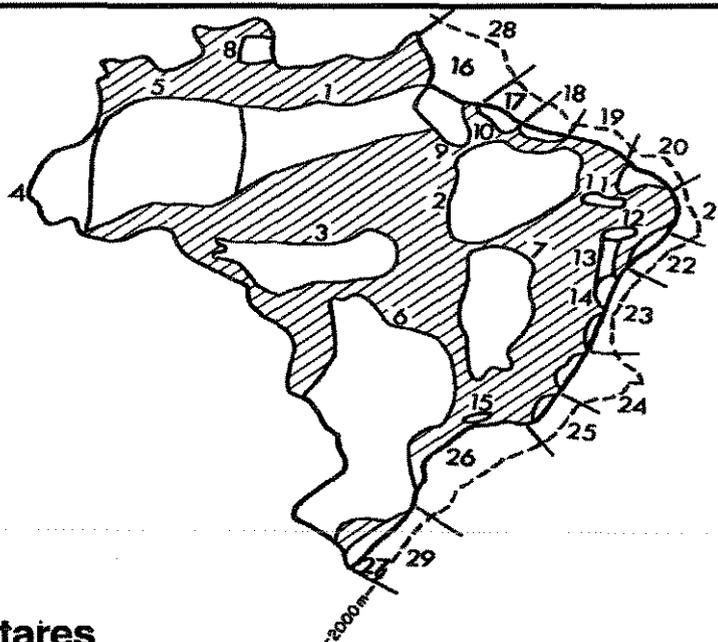
Quanto maior a potencialidade geológica e a estabilidade política de um país, maior a participação do governo nos resultados econômicos da exploração de petróleo. Em contrapartida, o governo pode conceder incentivos fiscais para que as companhias continuem a investir em projetos de maiores riscos dentro do país.

A distribuição das 29 bacias sedimentares brasileiras está configurada na Figura 1.1, compreendendo uma área de 5,1 milhões de km² (mais que a metade do território brasileiro).

Dessa área, 63% (3,2 milhões de km²) são bacias paleozóicas ou mais velhas (Solimões, Amazonas, Maranhão, Parecis e Paraná) ou seja, bacias que se formaram entre 600 e 200 milhões de anos atrás. O restante, 37% (1,2 milhões de km²) são bacias do tipo rifte (rifte abortado, aulacógenos e rifte

evoluído para bacia do tipo margem passiva) que se formaram devido à quebra da placa tectônica de Gondwana, iniciada há 140 milhões de anos (Eo-Cretáceo) e que culminou com a abertura do Oceano Atlântico.

Exploração



Bacias Sedimentares

Terrestres		Área (km ²)	Marítimas		Área (km ²)
1	AMAZONAS	500 000	16	FOZ DO AMAZONAS	300 000
2	PARNAÍBA	600 000	17	PARÁ / MARANHÃO	50 000
3	PARECIS / ALTO XINGU	250 000	18	BARREIRINHAS	60 000
4	ACRE	350 000	19	CEARÁ	40 000
5	SOLIMÕES	600 000	20	POTIGUAR	60 000
6	PARANÁ	1 100 000	21	PARAÍBA / PERNAMBUCO	20 000
7	SÃO FRANCISCO	250 000	22	SERGIPE / ALAGOAS	30 000
8	TACUTU	5 000	23	BAHIA	80 000
9	MARAJÓ	50 000	24	ESPÍRITO SANTO	60 000
10	BRAG. VISEU / SÃO LUÍS	25 000	25	CAMPOS	100 000
11	ARARIPE / RIO DO PEIXE	12 000	26	SANTOS	250 000
12	JATOBÁ	5 000	27	PELOTAS	110 000
13	TUCANO	30 000	28	CONE DO AMAZONAS	100 000
14	RECÔNCAVO	11 000	29	CONE DO RIO GRANDE	100 000
15	TAUBATÉ / RESENDE ETC.	3 000			

Figura 1.1 Bacias sedimentares brasileiras

Fonte: PETROBRÁS

As bacias terrestres atualmente produtoras de petróleo no Brasil são: Solimões, Potiguar, Sergipe/Alagoas, Recôncavo, Espírito Santo e Paraná. A produção do mar provém das bacias: Ceará, Potiguar, Sergipe/Alagoas, Espírito Santo, Campos e Santos (Tabela 1.1).

Tabela 1.1 As bacias produtoras de óleo no Brasil, em 1995 (produção média em barris/dia)

Bacias	Terrestres	Marítimas	Total
Solimões	16.668	-	16.668
Potiguar e Ceará	74.792	28.990	103.782
Sergipe/Alagoas	36.399	10.145	46.544
Recôncavo	62.395	1.453	63.848
Espírito Santo	8.051	1.132	9.183
Campos e Santos	-	537.778	537.778
Paraná (Petro-six)	4.415	-	4.415
Total	202.720	579.498	782.21

Fonte: Brasil Energy, (1995).

Até 1988, a PETROBRÁS investia em média 30% nas bacias não-produtoras e, conseqüentemente, 70% nas bacias produtoras. A partir daquele ano, o Brasil reduziu à metade os investimentos anuais em exploração de petróleo e com isso a PETROBRÁS se concentrou nas bacias produtoras, que passaram a absorver cerca de 90% dos investimentos em exploração (Fig. 1.2).

É importante assinalar que, no final de 1988, a política neoliberal, hoje vigente no Brasil, já se havia iniciado no México, Argentina e Chile, e começava a ser delineada no Brasil. Nesse período, começaram as mudanças estruturais do Estado, refletindo no processo de tomada de decisão das companhias estatais, cuja novas missões serão ainda definidas.

Tal situação tem abalado a confiança no processo de tomada de decisão por parte dos gerentes das estatais, dificultando o processo de qualidade total que, em parte, por força da abertura e da necessidade de competitividade no mercado internacional, teve que ser adotado.



Figura 1.2: Percentual de investimentos nas bacias não-produtoras, refletindo a concentração dos investimentos nas bacias produtoras

A prospectividade para petróleo nas bacias sedimentares está diretamente relacionada com as seguintes questões:

- 1) Quais são as rochas geradoras?, qual é a sua possança para geração de hidrocarbonetos?, onde e quando foram depositadas? e que tipo de óleo pode ser encontrado?
- 2) Quais são as rochas-reservatório? e quais são as suas características físicas: tamanho, distribuição, continuidade, porosidade, litologia e capacidade de acumulação e produção?.
- 3) Como se formaram as acumulações?, que tipo de trapas existe? e que tipo de tectonismo foi responsável pela formação das trapas?.
- 4) Qual é a profundidade de ocorrência do petróleo?, qual é a geografia em relação à lâmina de água?, quais são as dificuldades tecnológicas para descobrir e produzir petróleo? e qual é o custo de produção?

As Bacias Paleozóicas do Brasil

Das bacias paleozóicas (Figura 1.1), as mais promissoras para petróleo são a do Solimões e a do Amazonas. Possuem espessas camadas de rochas geradoras (até 1000 metros de espessura), presença de camadas de sal, que se constituem em eficientes selantes, e vários níveis de rochas-reservatório. Essas bacias poderão conter campos gigantes de petróleo. As rochas vulcânicas

(diabásio) intrudidas na seção sedimentar durante o Triássico, com espessura de até 900 metros, dificultam atualmente a prospecção e podem ter provocado a perda de grandes quantidades de petróleo. As reservas de hidrocarbonetos descobertas na Amazônia são de 98 milhões de barris de óleo (provada + provável + possível) e 58 bilhões de m³ de gás.

A Bacia do Maranhão (Parnaíba) apesar de extensa (600 mil km²), tem uma espessura máxima de sedimentos de apenas 3000 metros, daí as possíveis rochas geradoras apresentarem-se imaturas, ou seja, não tiveram temperatura suficiente para gerar petróleo, além de serem pobres em matéria orgânica e pouco espessas. Isso confere um baixíssimo potencial à bacia, em termos de petróleo.

A Bacia do Paraná não tem camadas de sal, apresentando-se bastante arenosa, com baixa eficiência das rochas selantes. Além disso, as melhores rochas com potencial gerador são os folhelhos Irati, pouco espessos (< 50 metros) e geralmente imaturos, o que proporciona um baixo potencial para petróleo.

As Bacias Cretácicas do Brasil

As bacias do tipo rifte, compreendendo 1,2 milhão de km², foram inicialmente formadas a partir da ruptura do continente Gondwana. A margem brasileira estende-se por cerca de 5000 km e engloba 15 bacias sedimentares (Figura 1.1).

A formação da margem atlântica do Brasil começou há 140 milhões de anos (Eo-Cretáceo), quando se iniciou a individualização dos continentes sul-americano e africano.

Nessa época, as forças geotectônicas responsáveis pela separação dos dois continentes provocaram um afinamento e fraturamento da crosta, com formação de falhas geológicas e surgimento de intenso vulcanismo que provocou um espesso derrame de lavas sobre as áreas das futuras bacias sedimentares, em ambos os lados da extensa geo-fratura.

Com o resfriamento diferencial desse magma, formou-se um grande lago separando o Brasil da África. Apresentando um relevo acidentado, esse lago (ou rosário de lagos, semelhante ao que existe hoje no leste africano) foi preenchido por sedimentos lacustres, ricos em matéria orgânica e que, com espessuras de até 2000 metros, se tornaram os principais geradores de petróleo das bacias da margem leste do Brasil (CHANG et al., 1992).

Esse extenso lago alongado Norte-Sul espalhava-se desde Alagoas até um arco vulcânico na região de Florianópolis, que o separava do mar aberto ao sul. Com o resfriamento e abaixamento desse arco, começaram a ocorrer invasões marinhas que foram responsáveis pela deposição, nesse lago, de uma camada de sal de até 2000 metros de espessura (SZATIMARI et al., 1993), basicamente NaCl, de idade Aptiana (Eo-Cretáceo, 120 Ma).

Enquanto isso, prosseguia a separação entre os continentes sul-americano e africano, evoluindo-se de um lago para um grande golfo e, finalmente, mar aberto com o rompimento definitivo da crosta. As tensões geotectônicas seriam agora absorvidas pela produção de magma na cadeia meso-atlântica, com a criação de uma placa oceânica nova. Hoje, a taxa de separação entre os dois continentes é de aproximadamente 2 cm/ano.

Com a evolução do processo, passa-se da deposição do sal para uma plataforma carbonática e, com a abertura definitiva do mar, depositou-se sobre o sal e os carbonatos uma seqüência de influxo terrígeno, ou seja, de areias e folhelhos (argilas), que perdura até hoje.

Isso resume a história de preenchimento das bacias marginais brasileiras, ou seja, a sua estratigrafia. A seguir, descreve-se como se formaram as estruturas.

Na seção mais antiga do lago, constata-se a atividade das falhas, devido às forças geotectônicas que provocaram o estiramento da crosta e a formação de altos (*horsts*) e baixos (*grabens*). Nesses altos foram encontradas algumas acumulações de petróleo (ex. Campo de Badejo, na Bacia de Campos).

Segue-se uma fase de quiescência tectônica, com a deposição de sal e carbonato. Posteriormente, com o basculamento da placa em direção ao mar, depositou-se sobre o sal uma espessa seção de areias e folhelhos, fazendo o sal movimentar-se intensamente, com isso estruturando a própria seção de areias e folhelhos, formando assim grandes estruturas portadoras de hidrocarbonetos, hoje em águas profundas.

Estilos estruturais variam sistematicamente ao longo da margem, mas são preferencialmente sistemas de falhas distensionais. Entretanto, várias áreas (Bahia Sul, Sergipe/Alagoas, Barreirinhas e Ceará) exibem dobras e estruturas em flor transcorrentes/transpressionais bem-desenvolvidas, que constituem grandes trapas estruturais, provavelmente associadas às zonas de fraturas oceânicas e suas projeções continentais (DAVISON, 1991). Trapas estruturais são também encontradas próximas a abundantes domos de sal nas bacias de Campos, Santos, Espírito Santo, Bahia Sul e Sergipe/Alagoas.

Trapas estratigráficas estão se tornando objetivos muito importantes, desde as grandes descobertas nas Bacias de Campos e Santos. A PETROBRÁS, rotineiramente, vem testando trapas estratigráficas em águas profundas.

Grandes “canyons” preenchidos, com até 50 km de largura e 200 km de comprimento, desenvolveram-se nas bacias de Campos, Espírito Santo, Mucuri, Bahia Sul e Potiguar, desde o Cretáceo até o Oligoceno, formando trapas estratigráficas atrativas, nas bacias de Campos e do Espírito Santo.

Dessas 22 bacias cretácicas brasileiras, 8 são produtoras de petróleo (Ceará, Potiguar, Sergipe/Alagoas, Recôncavo, Bahia Sul, Espírito Santo, Campos e Santos).

As reservas da bacia de Campos (110000 km²) já passam de 8 bilhões de barris de óleo recuperável e a bacia apresenta um potencial de mais 10 bilhões de barris, superando a bacia do Recôncavo(11000 km²), que era a mais prolífera bacia brasileira, com uma reserva original provada de 2 bilhões de barris.

1.2 Estágio Exploratório das Bacias Brasileiras

O conhecimento sobre a prospectividade das bacias brasileiras permite classificá-las em dois grupos: as bacias com produção já estabelecida, objeto dos maiores investimentos da PETROBRÁS ao longo dos últimos quarenta anos, e as bacias ainda não-produtoras (a tabela abaixo, apesar de só abranger até 1990, expressa o estágio exploratório dessas bacias, visto que de 1990 até hoje as atividades se concentraram nas áreas produtoras) (Tabelas 1.2 e 1.3).

Tabela 1.2: Nível de atividade nas bacias produtoras vs não-produtoras (B. terrestres).

Bacias	Produção de óleo Jul/95 (barris/dia) *	N. Poços Exploratórios **	Área da bacia (km ²)	Linhas Sísmicas (km) **
1. Solimões	16.668	108	600.000	44.888
2. Potiguar	74.792	472	30.000	23.028
3. Sergipe/Alagoas	36.399	637	10.000	34.511
4. Recôncavo	62.395	898	11.000	27.771
5. Espírito Santo	8.051	295	13.000	10.295
Total (B. Produtora)	202.720	2.410	664.000	140.493
Total (B. não-Produtoras)	-	512	2.940.000	131.370
Total	202.720	2.922	3.600.000	271.863

Fonte: PETROBRÁS/E&P/Gerpro

** Dados de dez, 1990

* Produção Jul/95

Os investimentos e conseqüentemente o conhecimento das bacias ainda não produtoras são relativamente pequenos e podem ainda reservar grandes surpresas em termos de campos de óleo.

1.2.1 Potencial de Óleo das Bacias Brasileiras

As reservas totais do Brasil (provada, provável e possível) alcançaram no final de 1994, o volume de 7,9 bilhões de barris de óleo equivalente (LUCCHESI et al, 1995). A produção atual é de 782 mil barris de óleo equivalente por dia (dados de jul/95).

As últimas estimativas do potencial petrolífero brasileiro (volume de óleo equivalente a ser descoberto) totalizam cerca de 19 bilhões de barris. Desse total, 55% estaria em lâminas de água maiores que 1000 metros. Por isso, o

programa exploratório dos próximos anos inclui a perfuração de vários poços pioneiros em águas profundas (LUCCHESI, 1994). A PETROBRÁS desenvolve, desde há 4 anos, um projeto estratégico de desenvolvimento de tecnologias para produção de óleo/gás até 2000m de lâmina de água (PROCAP 2000).

Tabela 1.3: Nível de atividade nas bacias produtoras Versus não-produtoras (B. marítimas).

Bacias	Produção de óleo Jul/95 (barris/dia) *	Poços Exploratórios **	Área da bacia (km ²)	Linhas Sísmicas (km) **
1. Ceará e Potiguar	28.990	249	70.000	141.422
3. Sergipe/Alagoas	10.145	190	20.000	68.342
4. Campos	527.278	513	110.000	271.907
5. Santos	10.500	28	250.000	90.415
Total (B. Produtora)	576.720	980	450.000	572.086
Total (B. não-Produtoras)	-	236	350.000	336.561
Total	576.720	1.216	800.000	908.647

Fonte: PETROBRÁS/E&P/Gerpro

** Dados de dez/1990

* Produção Jul/95

O Brasil está entrando em uma excitante fase de exploração com tecnologia própria de produção em águas profundas, quebrando recordes mundiais (1027 metros de lâmina de água) com conhecimentos geológicos e geofísicos substancialmente melhorados em qualidade nos últimos anos.

A reserva provada de óleo no Brasil cresceu quase 50% no quadriênio 90-94, conforme tabela abaixo. Observa-se a progressiva exaustão das bacias terrestres produtoras (-11%) de 90-94. enquanto os campos em lâmina de água entre 400-1000 metros já contribuem com 56% do valor da reserva em 1994.

Os campos descobertos em lâmina de água acima de 1000 metros, descobertos nos últimos anos, ainda não estão sendo computados como reserva provada. Estão situados dentro da categoria de reservas possíveis e prováveis que, se computadas, elevam as reservas de óleo do Brasil para quase 8 bilhões de barris (LUCCHESI, 1995).

Tabela 1.4: Reservas provadas em bilhões de barris

	Mar	Terra	Total
1990	2,08	0,72	2,80
1994	3,50	0,64	4,14
Crescimento	68%	-11%	48%

Fonte: PETROBRÁS/E&P.

1.2.2 Sistema Petrolífero

O principal sistema petrolífero das bacias marginais brasileiras está ilustrado na Figura 1.3.

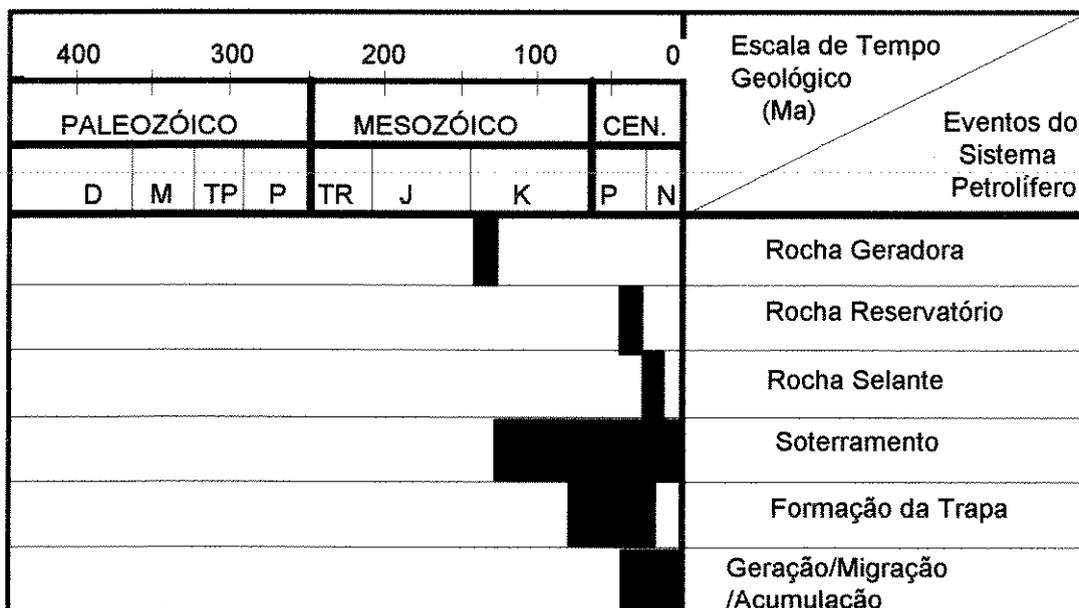


Figura 1.3: Sistema lacustre: Sistema Petrolífero das bacias Marginais.

Fonte: Mello et al (1994), PETROBRÁS.

O sistema petrolífero lacustre é o mais importante sistema petrolífero nas bacias brasileiras e responsável por mais de 90% do óleo encontrado até hoje no Brasil. Esse sistema tem como geradores os folhelhos do Cretáceo Inferior, depositados em um ambiente lacustre.

Outro sistema petrolífero que parece estar presente na Bacia de Santos, e que formou os campos de Tubarão, Coral e Caravelas, tem como principais geradores os folhelhos marinhos carbonáticos de idade Aptiana/Albiana.

Campos gigantes (reservas maiores do que 500 milhões de barris de óleo) em águas profundas, no Brasil, estão, até agora todos na Bacia de Campos e já são em número de seis (6).

Foram basicamente dois fatores importantes que condicionaram a formação dos campos gigantes de águas profundas no Brasil: Primeiro foi o soerguimento da Serra do Mar, próximo e ao longo da costa, devido ao basculamento da placa, tornando-se uma grande fonte de suprimento de areia para a bacia durante o Terciário (60-10 Ma). Grandes leques turbidíticos se depositaram em águas profundas sobre as camadas de sal, provocando a halocinese e abrindo janelas para a migração ascendente de óleo gerado na seção abaixo. O óleo alojou-se nesses reservatórios arenosos, já estruturados devido à própria movimentação do sal.

O segundo ponto importante para a descoberta desses campos gigantes em águas profundas na Bacia de Campos foi que os depocentros das rochas geradoras de petróleo na bacia estão hoje em águas profundas, logo abaixo dos leques turbidíticos, ou seja, o avanço da exploração para águas profundas se dirigiu para o centro da bacia, onde, por condicionantes geofísicos e geoquímicos, se encontra sua melhor zona geradora (“cozinha de geração”).

A Bacia de Campos era, pois, um grande lago durante o Eo-Cretáceo, onde se depositaram as rochas geradoras e atuara como um grande receptor de leques turbidíticos durante o Terciário, na medida em que a Serra do Mar se formava.

Outros lagos similares ao longo da costa leste do Brasil podem estar presentes numa geografia ora mais para costa, ora mais para a região de águas profundas, e esse parece ser o grande desafio para a descoberta de outras bacias produtoras em águas profundas, ao longo da costa brasileira.

Até hoje, existem 34 campos de óleo produzindo na bacia de Campos e mais 7 (sete) estão para entrar em produção. Esses novos campos incluem os gigantes Barracuda e Leste de Marlim, e os campos de Guarajuba, Caratinga, Albacora leste e o campo descoberto pelo poço RJS-409.

1.2.3 Perspectivas Exploratórias

As perspectivas exploratórias para petróleo no Brasil podem ser sintetizadas nos seguintes aspectos:

- Os anos 90 marcaram definitivamente o avanço da exploração de petróleo no Brasil para águas profundas com as descobertas de 6 campos gigantes na bacia de Campos. Existe um grande potencial petrolífero no Brasil, no mar em águas profundas. Estão praticamente inexploradas as áreas de águas profundas das bacias de Pelotas, Santos, Bahia Sul, Sergipe/Alagoas, Potiguar, Ceará e Pará-Maranhão.

- As descobertas de óleo de origem marinha na Bacia de Santos nos campos de Tubarão, Coral e Caravelas abrem uma grande perspectiva para a bacia, visto que esse mesmo gerador é o responsável por 90% de todo o óleo do oeste africano, onde são conhecidos alguns campos gigantes. Isso favorece os prospectos de águas profundas de Santos e também da bacia de Pelotas.

- Em águas profundas, na Bacia de Campos, os objetivos profundos, arenitos do Cretáceo Superior e seção pré-sal, ainda não começaram a ser explorados. Eles oferecem grandes perspectivas, visto que os geradores principais das bacias brasileiras pertencem ao Cretáceo Inferior e as reservas de óleo encontradas até agora estão na seção mais rasa da bacia (Eoceno, Oligoceno e Mioceno). No modelo, fica claro que esse óleo, quando ascendeu das rochas geradoras para esses horizontes mais rasos, provavelmente atravessou e preencheu os reservatórios mais profundos.

- O desenvolvimento dos campos da bacia de Campos pode garantir a auto-suficiência em petróleo do Brasil por mais de 10 anos. Por exemplo, para uma produção diária de 2 milhões de barris/dia, as reservas brasileiras que estão em torno de 8 bilhões de barris, dariam para atender toda essa demanda. A bacia de Campos tem um potencial de mais de 10 bilhões de barris a serem descobertos e o índice de sucesso dos poços exploratórios tem sido maior que 50%. Assim, deverá despertar interesses em associações para o desenvolvimento desses campos, aliado ao fato de que a PETROBRÁS já detém tecnologia para produção de campos em até 1500 metros de lâmina de água.

- As bacias terrestres são de potencialidade menor, mas oferecem perspectivas para o desenvolvimento de EOR (Enhanced Oil Recovery) e ainda estão sub-explorados os prospectos visando trapas estratigráficas.

- Em águas rasas, estão sub-explorados os prospectos que visam horizontes profundos, o que traz possibilidades de mudar o perfil energético brasileiro, desde que as possíveis descobertas de gás, localizadas naqueles níveis, terão um mercado próximo às indústrias brasileiras instaladas ao longo do litoral.

- A plataforma do Pará-Maranhão parece fornecer as melhores perspectivas da região Norte. A descoberta do poço PAS-11 que produziu durante quase um ano 3500 barris/dia, mostrou que essa região pode conter campos gigantes em poços muito profundos, superiores a 5000 metros, ou seja em objetivos abaixo da plataforma carbonática do Terciário. Os geradores são folhelhos marinhos do Terciário e o grande desafio é a identificação de reservatórios em águas profundas. Esse novo sistema petrolífero foi identificado apenas nesse poço, estando ainda pouco estudado.

O Brasil tem um excelente potencial para descobertas gigantes de hidrocarbonetos, tais como as recentes descobertas de Marlim, Albacora leste, Barracuda, entre outras. O Complexo de Marlim (Marlim e Marlim Sul) é provavelmente o maior campo de óleo descoberto no mundo ocidental nos últimos 7 anos, com mais de 15 bilhões de barris "in place".

O Brasil produz hoje 782 mil barris de óleo por dia (jul/95), que representam 60% do consumo de óleo do país. As reservas recuperáveis originais provadas estão estimadas em 7,9 bilhões de barris e o potencial brasileiro é estimado em 19 bilhões de barris. Essas reservas são da magnitude dos Campos do Mar do Norte, Inglaterra (19,4 bilhões de barris) e de águas profundas do Golfo do México (20 bilhões de barris).

1.3. Tamanho dos Blocos para Licitação

Na época dos contratos de risco no Brasil (1975-1988), as bacias sedimentares brasileiras foram divididas em blocos de 1 x 1 grau (longitude x latitude), ou seja, blocos de aproximadamente 10.000 km².

Recentemente, a Venezuela abriu 10 áreas para licitação com dimensões em torno de 2000 km² cada. A Inglaterra foi dividida em quadrantes medindo 1 x 1 grau. Os quadrantes foram numerados e cada um foi dividido em 30 blocos, com tamanho médio de aproximadamente 250 km². Nos EUA, o tamanho médio dos blocos no mar é de no mínimo 5760 acres (23,3 km²), considerado relativamente pequeno, o que justifica a existência de 20 mil blocos arrendados sob várias condições de contratos. Nos EUA, os termos mais comuns das concessões no mar são o "royalty" variando entre 12,5% a 16,7% do valor da produção e uma taxa anual de aluguel do local, equivalente a US\$ 3,00 por acre. O tamanho dos blocos de concessões em áreas federais em terra são de somente 2.560 acres, exceto no Alasca, onde chegam a atingir 5.760 acres.

O tamanho das áreas dos blocos varia com a prospectividade de cada bloco e principalmente com o número de "leads"¹ ou prospectos existentes (visualizados) nos mesmos. A padronização do tamanho dos blocos facilita a administração dos contratos. Assim, pode-se imaginar que os tamanhos de blocos no Brasil possam variar de 1 x 1 ou 0,5 x 0,5 grau.

Observe-se que os blocos nos EUA, de 23.3 km², indicam uma demonstração de soberania do estado. Com blocos pequenos, aumenta o controle do governo sobre as ações das empresas.

Conforme foi dito anteriormente o tamanho do bloco depende da prospectividade da área. Assim, de um modo geral, o tamanho dos blocos depende dos seguintes fatores: tipo de bacia (rifte, intracratônica, margem passiva, etc); intensidade de estruturação da bacia (nível de deformação e tipo de deformação); grau de exploração (madura, senil, jovem); tamanho dos campos potenciais a serem descobertos; número de "leads"; facilidade operacional (profundidade dos objetivos, acesso à área, etc).

Na tabela 1.5 são apresentadas as bacias brasileiras divididas em blocos de 1 x 1 grau para as bacias intracratônicas e 0.5 x 0.5 grau para as bacias tipo rifte.

¹ "Leads" são indicações preliminares de possibilidades de ocorrência de hidrocarbonetos (HC) na área; normalmente são inversões estruturais, possíveis trapas estratigráficas como truncamentos, ou simplesmente uma anomalia de amplitude nas linhas sísmicas, que poderá estar associada à presença de hidrocarbonetos.

Assim dividido, o Brasil teria 743 blocos. Admitindo um investimento mínimo de sísmica e 1 poço por ano por bloco, (custo estimado de US\$ 5 milhões por bloco), necessitar-se-ia de US\$ 3,7 bilhões por ano durante 3 anos para avaliar todos esses blocos. Ou ainda, num plano decenal seriam necessários, aproximadamente 1 bilhão de dólares por ano para avaliar todas essas bacias nos próximos 10 anos. Isso é uma simplificação para permitir a visualização do nível de investimento exploratório necessário, desde que se decidiu não considerar os dados exploratórios já obtidos nesses blocos e imaginar que os novos poços buscariam explorar situações novas não-exploradas pelos trabalhos anteriores.

1.4 Investimento Mínimo

De um modo geral, as atividades exigidas em um contrato de concessão para exploração de petróleo são:

- Levantamentos de sísmica de reflexão (em média de 1000 km (terra) a 10000 km (mar), com custos em torno de 2-3 milhões de dólares.
- Perfuração de Poços: em média, 1 poço por ano, ou sejam 3 poços por bloco, com custos estimados de 9 a 18 milhões de dólares.

A definição dos investimentos mínimos está condicionada a um prazo de realização. Os prazos adotados para exploração desses blocos são de 3 anos para exploração, renováveis por mais 2 anos. Caso ocorra uma descoberta, mais 5 anos para delimitação e, se comprovada uma reserva econômica, mais 20 anos para produção.

Portanto, o investimento mínimo por bloco, em províncias de grande atividade, varia de US\$ 10 a 20 milhões em 3 anos. Ou seja, investimento anual que varia de US\$ 3,5 a 6,5 milhões por bloco.

O prazo de concessão depende de diversos componentes como: tempo necessário para realizar o investimento mínimo; dificuldade operacional da área; obtenção de sísmica e interpretação (de 6 meses a 2 anos) e perfuração de um poço profundo (3 meses a 1 ano).

Tabela 1.5: Uma possível divisão em blocos das bacias sedimentares brasileiras para exploração de petróleo: total de 743 blocos

- Bacias Intracratônicas Paleozóicas		
(blocos de 1x1 grau = +/- 10.000 km ²)		
Amazonas	500.000	50 blocos
Parnaíba	600.000	60 blocos
Parecis/Alto Xingu	250.000	25 blocos
Acre	350.000	35 blocos
Solimões	600.000	60 blocos
Paraná	1.100.000	110 blocos
São Francisco	250.000	25 blocos
=====		
	3.650.000 km ²	365 blocos
- Bacias tipo rifte do Cretáceo (Terra)		
(blocos de 0,5 x 0,5 graus = +/- 2500 km ²)		
Tacutu	5.000	2 blocos
Marajó	50.000	20 blocos
Brag./Viseu/S. Luiz	25.000	10 blocos
Araripe/Rio do Peixe	12.000	5 blocos
Jatobá	5.000	2 blocos
Tucano	30.000	12 blocos
Recôncavo	11.000	4 blocos
Taubaté/Resende	3.000	1 bloco
=====		
	141.000 km ²	56 blocos
- Bacias tipo riftes + margem passiva do Cretáceo/Terciário		
(0,5 x 0,5 graus = +/- 2500 km ² - Bacias produtoras)		
(1x1 grau = +/- 10.000 km ² - bacias não-produtoras hoje)		
	1 x 1	0,5 x 0,5
Foz do Amazonas	300.000	30 blocos
Pará/Maranhão	50.000	5 blocos
Barreirinhas	60.000	6 blocos
Ceará	40.000	16 blocos
Potiguar	60.000	24 blocos
Paraíba/Pernambuco	20.000	2 blocos
Sergipe/Alagoas	30.000	12 blocos
Bahia Sul	80.000	32 blocos
Espírito Santo	60.000	24 blocos
Campos	100.000	40 blocos
Santos	250.000	100 blocos
Pelotas	110.000	11 blocos
Cone do Amazonas	100.000	10 blocos
Cone do Rio Grande	100.000	10 blocos
=====		
	1360.000 km ²	74 blocos
		248 blocos

1.5 Qualificação das Firms e os Investimentos

Fazendo uma comparação com outros países que passaram pelo processo de abertura, pode-se estabelecer dois cenários diferentes: um primeiro em que a PETROBRÁS continuaria operando as áreas que já detém, enquanto que as outras empresas atuariam em novas concessões; um segundo cenário, em que a PETROBRÁS concentraria suas atividades em determinadas áreas ou instalações, repassando para terceiros ou mesmo fechando alguns ativos que ela considere pouco atraentes. Na segunda hipótese, a PETROBRÁS poderia também participar de associações para explorar ou mesmo produzir alguns campos já descobertos.

Das 29 bacias brasileiras, nove já são bacias produtoras em diferentes estágios de desenvolvimento. Uma análise mais expedita da atividade sugeriria que a PETROBRÁS se concentrasse em Campos e Santos, alienasse algumas participações na Bahia, Sergipe/Alagoas, Rio Grande do Norte e Espírito Santo e se associasse para explorar a Amazônia, Pará-Maranhão, e Sul da Bahia (mar). O desenvolvimento dos campos gigantes da bacia de Campos requer investimento elevado, (30-40 bilhões de dólares). Em função disso, uma das opções da PETROBRÁS é realizar contratos de "partilha de produção"² com companhias internacionais.

Dois grandes segmentos que poderiam entrar nesse mercado sem dúvida seriam: um formado pelas companhias internacionais e o outro pelos grupos privados nacionais. Na Argentina, com o processo de abertura, foram criadas várias companhias nacionais. No Brasil, existem companhias que estão investindo grandes somas no setor de serviços na área de petróleo e que poderiam estar interessadas em participar da abertura do mercado petrolífero nacional. Dentre elas, Odebrecht, Montreal, Schain Cury, Queiroz Galvão e Andrade Gutierrez.

É fácil para uma companhia nacional de petróleo entrar em áreas nas quais a tecnologia é bem conhecida e madura. Entretanto, as grandes companhias internacionais de óleo estão comumente dominando as áreas de

² Contrato de partilha de produção: após recuperação dos custos, a produção é rateada entre o governo local e a empresa operadora de acordo com o percentual pré-determinado. Veja Anexo C: Glossário.

tecnologias mais complexas. A importância dessas companhias repousa em seus conhecimentos e experiências nas fronteiras da tecnologia. Por exemplo: Na exploração marítima, as grandes companhias de petróleo internacionais têm especialistas capazes de desenvolver os campos de óleo em águas profundas e colocá-los em produção.

A exploração e o desenvolvimento em águas profundas na Bacia de Campos chamou a atenção do mundo para o Brasil, colocando a PETROBRÁS na vanguarda do desenvolvimento tecnológico em águas profundas. O Brasil detém o recorde de completação submarina, ao completar o poço Marlim-4 em lâmina de água de 1027 metros, em abril de 1994.

Grandes companhias internacionais de petróleo buscam explorar áreas no exterior para descobrir óleo relativamente barato, e os países hospedeiros, com grandes reservas não-exploradas, estão provendo incentivos para essas companhias para atrair seus especialistas e capital.

O custo para a descoberta e desenvolvimento de reservas no exterior é significativamente menor do que nos EUA. Por exemplo, o custo médio de produção de óleo nos EUA nos últimos 5 anos é estimado em US\$ 9,10 por barril, comparado a US\$ 5,85 no exterior (MALIK,1990). Além disso, empresas sediadas nos EUA e Reino Unido recebem incentivos fiscais desses governos para se lançarem à exploração em outros países.

Os campos gigantes de águas profundas do Brasil têm um custo operacional de 3 US\$/bbl e um custo para descobrir e desenvolver de menos de 2 US\$/bbl (BASTOS,1994 , MARTINS,1994).

Para se alcançar a capacidade instalada de produção de 500 000 barris de óleo/dia foram gastos na bacia de Campos US\$ 20 bilhões e para se chegar a 1 milhão de b/d será necessário o investimento de mais de US\$ 12 bilhões (CARNEIRO, 1994). Com investimento de US\$ 400 milhões para a produção na bacia de Campos em 1994, fica muito difícil se alcançar a meta de 1.5 milhão de barris/dia e a auto-suficiência de petróleo no Brasil. Parece óbvio que isso levará a PETROBRÁS a buscar associações para a produção desses campos.

Com as reservas já descobertas, o Brasil tem capacidade se ser auto-suficiente na produção de petróleo hoje (consumo de 1 500 000 bbl/dia), embora

essa não seja necessariamente uma estratégia por si só desejável ou atrativa. As trocas comerciais e os equilíbrios das condições políticas e econômicas devem ser respeitadas. A PETROBRÁS precisará de US\$ 30-40 bilhões para produzir os campos de águas profundas. Assim, quando o Congresso Nacional aprovou a lei que quebrou o monopólio, abriu espaço também para a participação das transnacionais na exploração desses campos.

A exploração em águas profundas para os horizontes mais profundos (3500-4500 metros de profundidade), ou seja, os arenitos turbidíticos do Cretáceo (Campaniano e Santoniano) e a seção pré-sal ainda não estão sendo explorados, apesar das grandes perspectivas devido ao alto custo da exploração. O óleo, nesses horizontes profundos, deverá ser de melhor qualidade do que os óleos pesados e biodegradados dos horizontes mais rasos. A exploração desses horizontes requer maiores recursos financeiros (os custos dos poços são altos) e serão necessários maiores avanços tecnológicos, visando segurança, dadas as altas temperaturas, pressões e a presença de sal. O risco também é maior devido à redução das características permo-porosas dos reservatórios com o aumento da profundidade.

1.6 Capital Exploratório da PETROBRÁS Disponível para Parcerias

O capital exploratório anual da PETROBRÁS nos próximos 5 anos será de US\$ 700 milhões (Tabela 1.6).

Tabela 1.6: Plano Plurianual de Investimentos - PPA 1995/99 (US\$ Milhões)

ATIVIDADES	1995	1996	1997	1998	1999	TOTAL
Exploração	675	686	725	770	827	3.683
Produção	1.009	1.593	1.682	1.412	1.546	7.242
Refino	472	1.020	1.190	1.117	1.185	4.984
Term/Dutos	372	584	686	486	370	2.498
Tr. Marítimo	99	131	137	41	26	434
Outros	173	176	171	163	171	854
Total	2.800	4.190	4.591	3.989	4.125	19.695

Fonte : Brasil Energia - Out., 1995.

Certamente, nem todo o capital exploratório da PETROBRÁS estaria disponível para parcerias. Custos fixos e alguns projetos já em andamento comprometem parte significativa desses recursos. Assim, o orçamento seria

composto de pelo menos 3 partes: Custos fixos, recursos comprometidos e recursos para novos investimentos em parceria (Figura 1.4).

Custos fixos da exploração incluem os cerca de 2000 empregados da área de exploração da PETROBRÁS, custos de manutenção da sede e das 7 unidades de exploração, além de investimentos em pesquisa. É difícil estimar os custos fixos, mas valores da ordem de US\$ 200 milhões anuais são considerados razoáveis, considerando pessoal especializado e manutenção das instalações físicas e laboratórios.

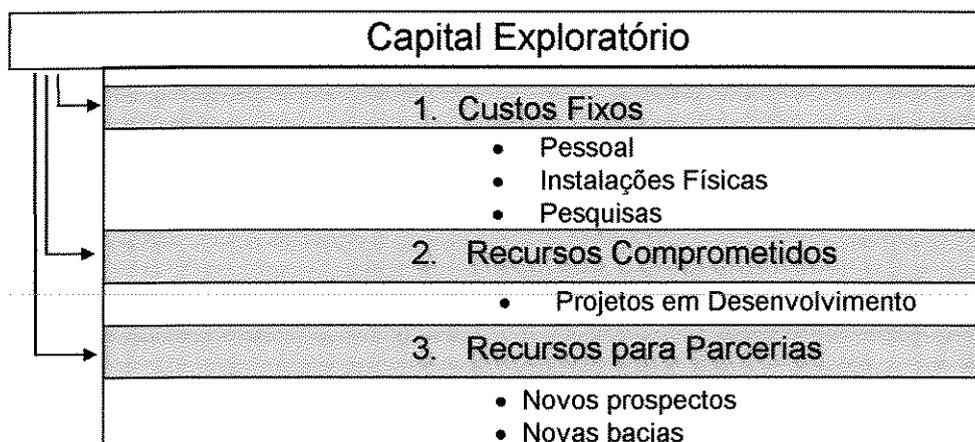


Figura 1.4. Estrutura do orçamento de exploração

A estimativa dos recursos já comprometidos é outro item que, com a abertura do mercado de petróleo no Brasil, deverá sofrer mudanças, pois algumas prioridades deverão mudar com a nova missão da PETROBRÁS.

Para chegar a uma estimativa expedita do nível de recursos disponíveis para parcerias, considere-se o nível de atividade atual da PETROBRÁS em exploração e produção, apresentado na Tabela 1.7.

Tabela 1.7: Atividades de Exploração e Produção da PETROBRÁS

País	Equipes Sísmicas		Atividades de Plataformas e sondas		Poços Perfurados	
	Terra	Mar	Terra	Mar	1993	1994
Brasil	6	1	12	17	354(82)	395(60)

Fonte: Brasil Energy Jun./Jul 1995.

Dos poços perfurados em 1993 e 1994, um total de 82 e 60 daqueles foram poços exploratórios, respectivamente. Nesses dois anos, houve uma mesma relação entre pioneiros e extensões. No mar, 30% dos poços foram de extensão e, em terra, 50%.

Assim, poder-se-ia estimar que dos US\$ 700 milhões, US\$ 200 milhões seriam custos fixos e que dos US\$ 500 milhões restantes, a metade seria para a delimitação dos campos já descobertos, portanto recursos já comprometidos, e a outra metade para novos empreendimentos de exploração, ou seja, recursos que poderiam ser usados em associações com outras empresas (parcerias).

Outra maneira de estimar esses recursos para parcerias seria garantir que a PETROBRÁS mantivesse o mesmo nível de atividade exploratória pioneira de 1994, mas agora associando-se em parcerias para levantamentos sísmicos e perfurações de poços, conforme mostrado na Tabela 1.8.

Tabela 1.8 Custo médio estimado das atividades exploratórias

Atividade	Custo Unitário Estimado	Custo anual US\$ MM/ano
6 equipes sísmicas de terra	US\$ 500.000/Eq/mes	36
1 equipe marítima	US\$ 1.000.000/Eq/mes	12
22 poços pioneiros perfurados no mar	US\$ 6 milhões/poço)	132
14 poços pioneiros perfurados em terra	US\$ 3 milhões/poço)	42
Recursos totais que podem ser usados em parcerias		222

Portanto, de imediato, poder-se-ia imaginar que os recursos orçamentários próprios da PETROBRÁS para parcerias na área de exploração de petróleo estariam em torno de 200-250 milhões de dólares por ano. Claro que as negociações para a utilização dos recursos físicos da PETROBRÁS (infra-estrutura e equipamentos) poderão multiplicar o aporte financeiro para parcerias.

CAPITULO 2. TOMADA DE DECISÃO EM PROJETOS DE RISCO

2.1 Introdução

Um dos principais objetivos da análise da decisão é desencorajar a tomada de decisão intuitiva, quando importantes decisões têm que ser tomadas.

Uma definição de intuição, de acordo com o dicionário, é "*a compreensão imediata ou cognição; o poder da mente de obter o conhecimento direto ou cognição sem evidente pensamento racional e inferências; visão rápida e pronta*". A essência do termo é instinto ou percepção imediata. Muitas vezes, o método intuitivo para tomada de decisão não funciona, mas isso não quer dizer que julgamento e subjetividade estejam também sob ataque.

..... Julgamento tem sido definido como a faculdade mental de decidir corretamente pela comparação de fatos e idéias; penetração, inteligência, criticismo, opinião. Nesse sentido, julgamento é absolutamente necessário no processo de tomada de decisão. Dados de entrada dos problemas que serão tratados nesse trabalho, tais como probabilidades e custos, envolvem julgamentos. Os benefícios de se realizar uma análise muito precisa, e talvez cara demais, podem ser estimados subjetivamente. Isso envolve julgamento. De fato, a quantificação e o uso inteligente do julgamento são os principais objetivos deste trabalho.

Hoje, executivos de sucesso trocaram as decisões intuitivas pela opção de uma análise racional, incluindo quantificação dos resultados finais, avaliação de probabilidades, determinação precisa de estratégias e estudo da sensibilidade das decisões assumidas ou estimadas.

O método científico e racional delineado aqui é uma maneira de pensar sobre decisão, que usa a construção de árvores de decisão e cujo fator crítico é a aplicação desse método científico no mundo real, fato esse ilustrado nos quatro estudos de caso apresentados no capítulo 5 desse trabalho.

Método científico é um método aberto, explícito, auto-corrigível, verificável. Combina lógica e evidências empíricas. Algum outro cientista pode reproduzir os mesmos passos e conseguir os mesmos resultados. Todas as observações, cálculos, suposições, dados empíricos e julgamentos são descritos na análise, de tal maneira que podem ser objeto de verificação, teste, crítica, debate, discussão e possível refutação.

As características ideais de uma investigação científica têm as seguintes etapas:

- 1) Definição do problema (sem problema, não há necessidade de decisão)
- 2) Listagem das opções - no mínimo duas. Havendo só uma opção, tem-se um problema que não precisa de decisão. Havendo apenas um resultado, independente da opção, também não se terá que tomar decisão. Se a melhor decisão não estiver na lista de opções, então a decisão tomada será sub-ótima, na melhor das hipóteses. Tomadores de decisões acertadas pensam em termos de pesquisar e achar as opções, envolvendo criatividade, imaginação e trabalho.
- 3) Definição de critérios - Maximizar o ganho esperado. Algumas medidas de utilidade esperada podem ser apropriadas: minimizar custos, maximizar lucro, melhorar continuamente a qualidade do produto etc. Quando se tem mais de um objetivo, pesos subjetivos devem ser atribuídos a cada objetivo.
- 4) Análise das opções - Isso envolve computação, estimativas e comparações. Riscos devem ser examinados e quantificados. O inevitável "trade-off"¹ deve então ser analisado.
- 5) Escolha de um curso de ação.

2.2 Árvore de Decisão

Virtualmente, todas decisões importantes de negócio são feitas sob condições de incerteza. Tomada de decisão sob incerteza implica que existem pelo menos dois possíveis resultados que poderiam ocorrer se um curso particular de ação fosse escolhido.

¹ "trade-off" - abrir mão de alguma coisa para obter outra.

Análise de decisão é um processo que enriquece a tomada de decisão pelo fornecimento de uma análise lógica e sistemática. Sua representação gráfica é uma árvore de decisão. A Análise de decisão tem vários outros sinônimos: Teoria Estatística da Decisão; Teoria Moderna da Decisão, etc.

O método de análise de decisão não elimina nem reduz risco. A sua utilidade é ser uma ferramenta para melhor avaliar, quantificar, e entender riscos para que o exploracionista e o gerente possam divisar uma estratégia de decisão que minimiza a exposição da firma ao risco.

Os velhos métodos de análise de escolhas de decisões normalmente envolviam somente considerações sobre fluxo de caixa, tais como a computação de uma taxa média de retorno do capital investido. Agora, nova dimensão é adicionada ao processo com a Análise de Decisão, qual seja a consideração quantitativa do risco e incerteza, e como esses fatores podem ser usados na formulação de estratégias de investimentos.

Os conceitos fundamentais usados na Análise de Decisão foram formulados há mais de 300 anos (1654). Entretanto, somente na década de 70 a Análise de Decisão começou a ser usada na exploração e na produção de petróleo (NEWENDORP, 1975).

A Análise de Decisão pode ser sumarizada através de uma série de etapas:

- A: Definir que possíveis resultados poderão ocorrer para cada uma das escolhas de decisão disponíveis ou alternativas.
- B: Avaliar lucros ou perdas para cada resultado;
- C: Determinar ou estimar a probabilidade de ocorrência de cada possível resultado;
- D: Computar um lucro médio ponderado para cada escolha de decisão em que os fatores de ponderação são as respectivas probabilidades de ocorrência de cada resultado. Esse lucro médio ponderado é chamado de valor esperado da decisão alternativa, e é o critério comparativo usado para aceitar ou rejeitar a alternativa.

Para analisar decisões de perfuração (sobretudo os itens C e D), a análise requer que o exploracionista associe probabilidades específicas para possíveis resultados (poço seco, ou descobertas de campos de petróleo com diferentes níveis de reservas). A avaliação quantitativa dessas probabilidades é frequentemente chamada de análise de risco.

Esses passos estão ilustrados na montagem de uma árvore de decisão para um projeto de perfuração de um poço para petróleo (Figura 2.1) em que os possíveis resultados são: 70% de probabilidade do poço ser seco, 20% de descobrir 2 milhões de m³ de óleo e 10% de probabilidade de descobrir 5 milhões de m³.

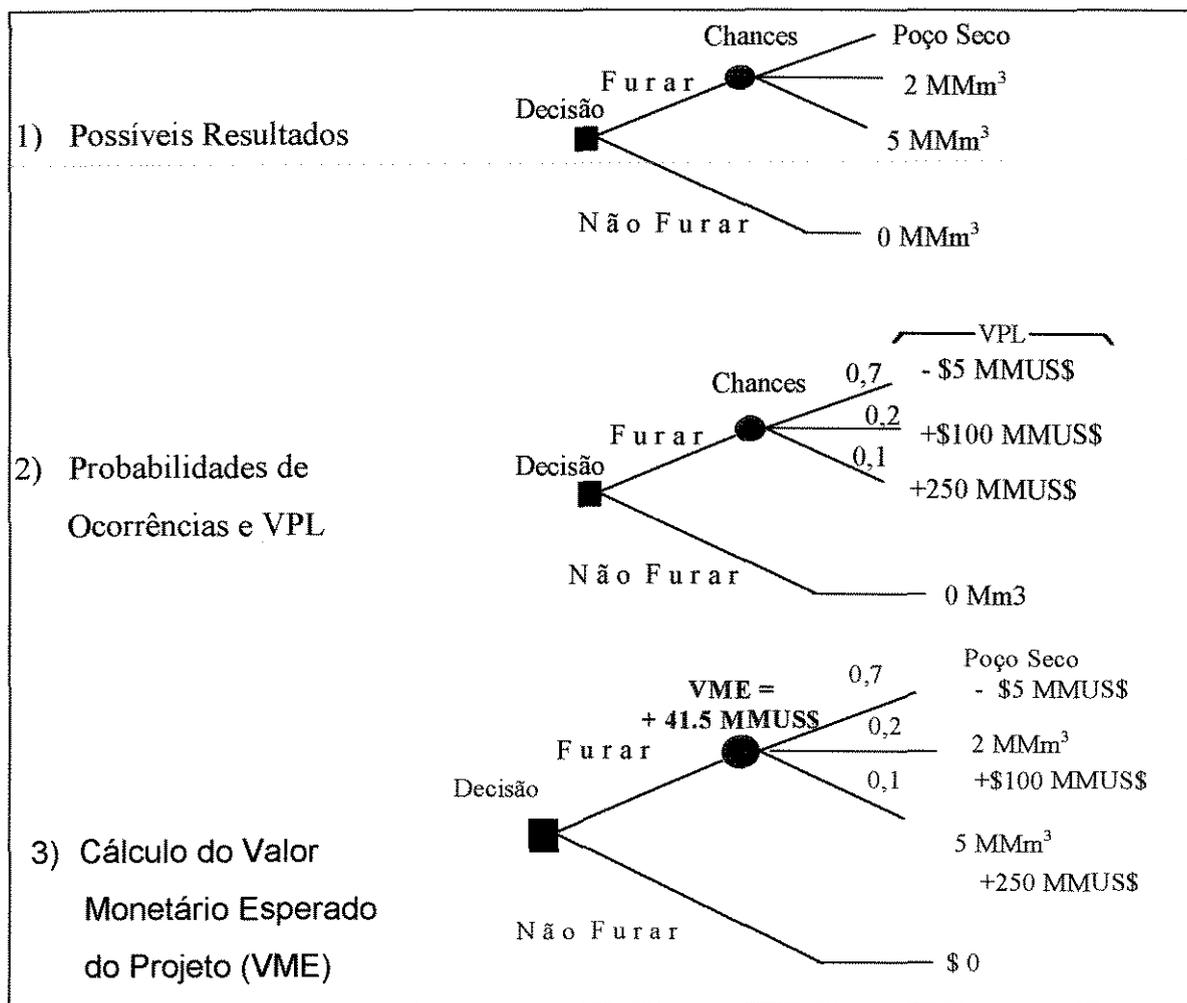


Figura 2.1 Árvore de decisão para um projeto de perfuração de um poço para petróleo

A Figura 2.2 ilustra a forma mais geral para a construção de uma árvore de decisão em exploração de petróleo.

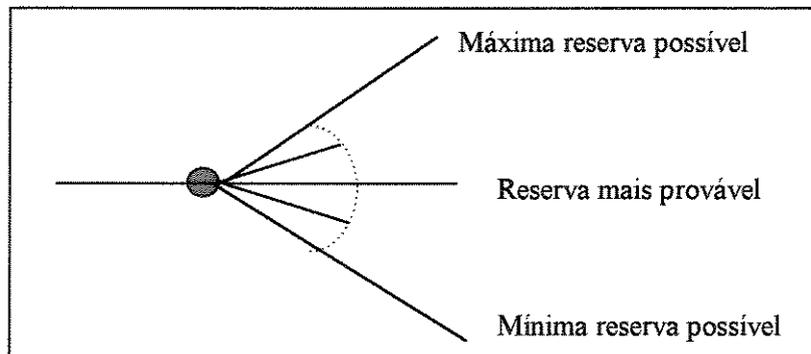


Figura 2.2. Nó de incerteza em exploração de petróleo (valores normalmente fornecidos pelos geólogos)

2.3 Tomada de Decisão

Discutem-se, a seguir, três conceitos, elementos importantes para a classificação de projetos: avaliação econômica, análise de risco, e função de preferência do tomador de decisão frente a um projeto de risco.

A avaliação econômica de projetos de exploração e produção de petróleo trata da estimativa de custos, taxa de retorno, fluxo de caixa, valor presente líquido(VPL), probabilidade de sucesso e valor monetário esperado(VME), que serão definidos mais adiante.

A análise de risco em exploração de petróleo inclui: o risco geológico, que está associado à probabilidade da existência de campos petrolíferos; o risco econômico que está associado ao tamanho dos campos a serem descobertos, aos custos de exploração e produção e aos preços do petróleo no mercado e o risco financeiro que está associado à capacidade financeira da firma de suportar perdas.

As preferências dos tomadores de decisão frente ao risco variam de firma para firma (ou seja, de gerente para gerente). Como o capital das firmas é normalmente pequeno, se comparado ao montante dos investimentos necessários para exploração em petróleo, todas elas apresentam um determinado nível de aversão ao risco.

A determinação desse coeficiente de aversão ao risco é importante para que se possa avaliar todos os projetos com coerência, ou seja, com o mesmo nível de aversão ao risco quando da hierarquização dos projetos, da seleção da carteira de projetos e quando da definição do nível ótimo de participação em cada projeto.

2.3.1 Avaliação Econômica

A Figura 2.3 ilustra um modelo de fluxo de caixa para os projetos de exploração de petróleo. Para entendê-lo, é importante definir inicialmente os conceitos de valor presente líquido do projeto (VPL), e valor monetário esperado (VME), pois esses dois valores serão sempre usados em todos os exemplos.

Valor presente líquido de um projeto é o somatório dos valores de entrada e saída do fluxo de caixa de um projeto, descontados a uma taxa mínima de atratividade e referidos ao final da avaliação (delimitação) da descoberta. (Figura 2.3).

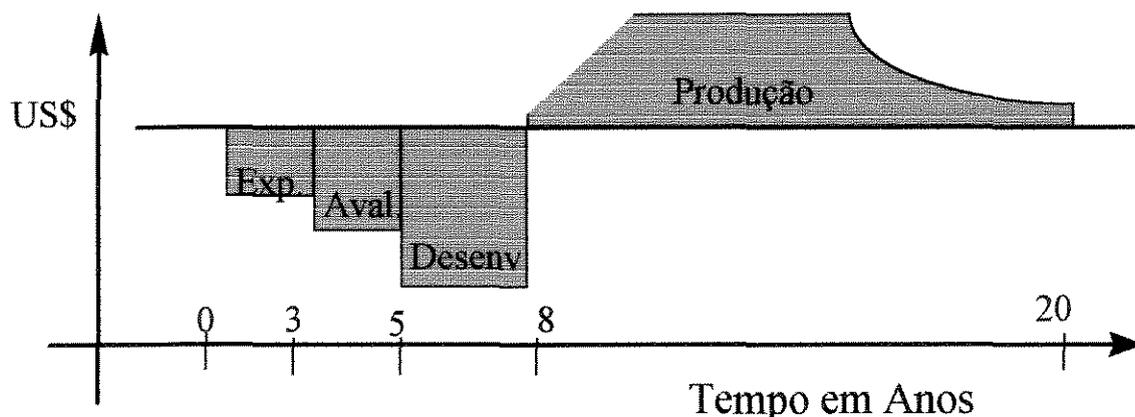


Figura 2.3 Fluxo de caixa esquemático, típico dos projetos de exploração de petróleo, compreendendo as fases de investimento: exploração (período de 1 a 3 anos); avaliação (de 3 a 5 anos) e desenvolvimento do campo (de 5 a 8 anos) e a fase de produção (calculado normalmente até o 20º ano).

O valor tempo do dinheiro é um complicador para a tomada de decisão para alguns gerentes, e o valor presente líquido (VPL) do projeto é uma tentativa para resolver esse problema. Ele pode ser computado por:

$$VPL = \left[\frac{R_1}{(1+i)^1} + \frac{R_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{R_n}{(1+i)^n} \right] - C \quad (2.1)$$

$$= \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+i)^t} - C$$

Em que, VPL = Valor presente líquido

R = Retorno anual (soma do fluxo de caixa) para o ano 1,2,...,n

n = Vida do projeto

i = Taxa de desconto

C = Custo inicial

Um projeto de risco (Figura 2.4) é inicialmente analisado pela técnica do seu valor monetário esperado, sendo necessário atribuir uma probabilidade(p) para cada evento. Valor esperado de um resultado é o produto obtido pela multiplicação da probabilidade de ocorrência do resultado pelo valor condicional que é recebido se o resultado ocorrer. Valor esperado de uma decisão alternativa é a soma algébrica dos valores esperados de cada possível resultado que poderia ocorrer se a decisão alternativa fosse aceita.

Portanto, o valor monetário esperado (VME) de um projeto é o somatório dos valores potenciais de ganhos ou perdas dos eventos multiplicados pelas suas probabilidades de ocorrência (Eq.2.2). A taxa de juros que anula o valor monetário esperado é chamada de taxa de rentabilidade ou taxa interna de retorno (TIR) do projeto, já levando em conta o risco.

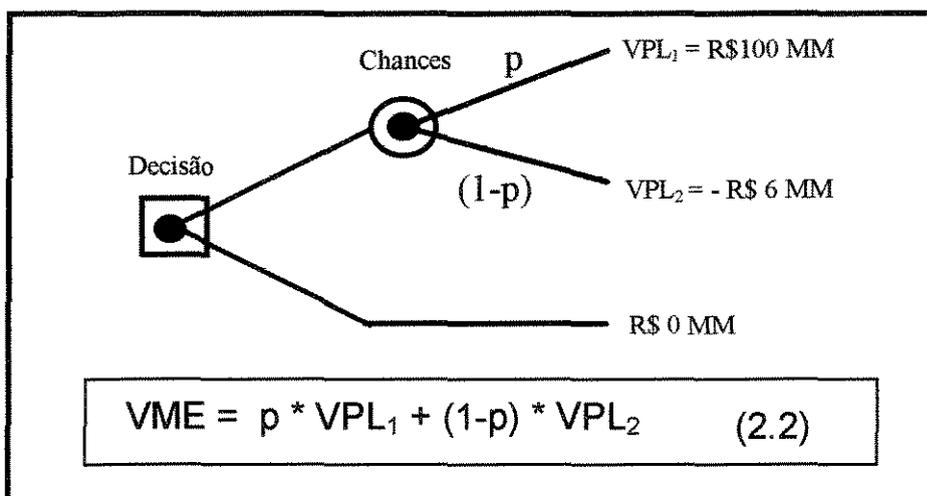


Figura 2.4. Árvore de decisão de um projeto de risco

O conceito de valor esperado é fundamental para a tomada de decisão sob incerteza. O valor monetário esperado(VME) compõe o critério mais usado para seleção de projetos de exploração de petróleo.

A Figura 2.5 ilustra um exemplo simples de uma análise de decisão em exploração de petróleo.

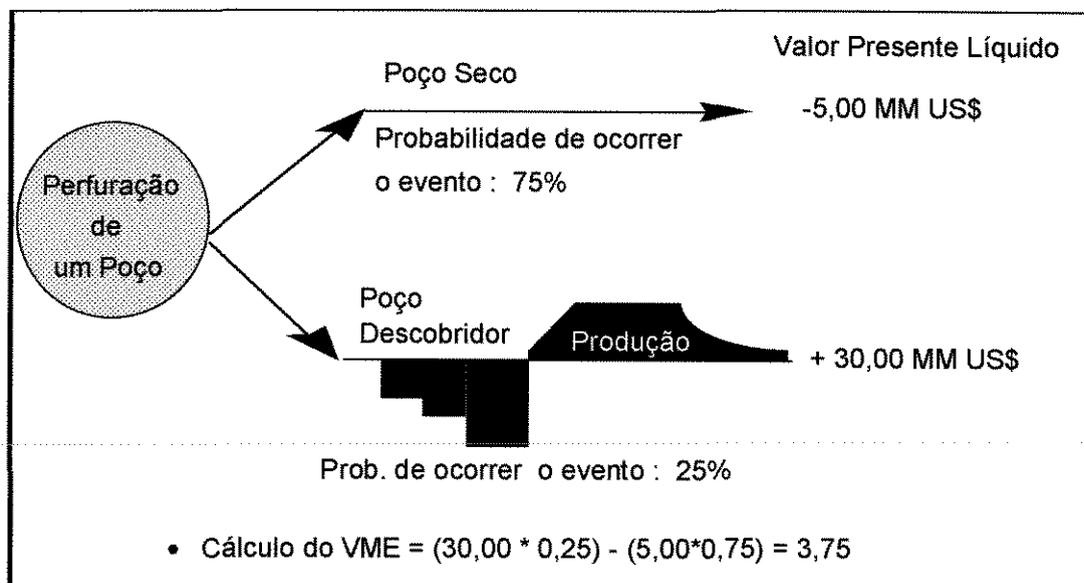


Figura 2.5. Árvore de decisão de um projeto de exploração de petróleo.

Para um melhor entendimento sobre VME, será explorado aqui o exemplo da Figura 2.5. Esse exemplo traz a árvore de decisão de um projeto que consiste na perfuração de um poço com probabilidade de sucesso de 25% de encontrar petróleo. Isso significa que de cada 4 poços que se furar ter-se-á sucesso em um poço. Assim, ganhar-se-ão US\$ 30 milhões com o sucesso desse poço e, com os outros três poços secos, perder-se-ão US\$ 15 milhões, ou seja, com a perfuração desses 4 poços ganhar-se-ão US\$ 15 milhões. Em média, serão ganhos, portanto, US\$ 3,75 milhões por poço. Esse é o significado do VME, isto é, quando se perfura muitos poços e a probabilidade estimada se realiza, pode-se afirmar que se ganha uma quantia igual ao VME por cada poço perfurado. Portanto, o VME diz quanto vale o projeto.

Embora o conceito tenha mais de 300 anos, somente nos últimos 20 anos o seu uso tem sido muito discutido na tomada de decisão em exploração de petróleo.

A Figura 2.6 ilustra um modelo de fluxo de caixa usado em projetos de exploração de petróleo pela BRASPETRO², em que se observam os cálculos para determinação do valor presente líquido do projeto, sua TIR e o valor do VME quando se computa o VPL levando em conta o risco geológico.

INDICADORES ECONÔMICOS										Sem Risco		Com Risco		PRESSUPOSTOS ECONÔMICOS				DADOS DE CAMPO 100%							
Valor Presente Líquido (US\$ MM)										113.8		3.2		Taxa de Inflação				0.00%							
Antes do imposto										578.1		80.6		Taxa de desconto				10.00%							
VPL efetivo (MMUSD)										113.8				API Óleo				26.00							
Taxa interna de retorno(pa)										16.50%		10.70%		Preço (Royalty) (US\$/bbl)				13.23							
Antes do imposto										32.30%		21.70%		Preço Mercado (US\$/bbl)				14.00							
Exposição financeira máxima (MM US\$)										293.4		67.5		PARÂMETROS FISCAIS				Royalty base				16.67%			
"Pay out" desde o início do estudo(anos)										8.0		7.6						Mínimo				4.51%			
														(TIR projetada real 13.8%)				Imposto de renda				66.70%			
																		"Remittance Tax"				0.0%			
																		* % Remitted"				100%			
Análise do Prospecto: Não considera os poços secos.														Prob. Suc. Exploratório				16.67%							

Ano	Preço óleo \$/bbl	Produção óleo MM bbl	Investimentos			Custos oper. MMS	Faturam bruto	Royalties	Faturam acum.	Retorno do Inv.	Parcela do Governo %	Custo adm MMS	Imposto de renda	Fluxo de caixa / imposto		Fluxo de caixa d/ imposto		Fluxo de Caixa com risco	
			Exp	Aval	Desen.									Anual	Acum.	Anual	Acum.		
1996	14.0		5.2							1.5				-6.69	-6.69	-6.7	-5.44	-5.4	
1997	14.0		6.1							2.0				-8.13	-8.13	-14.6	-6.47	-11.9	
1998	14.0		11.0							2.0				-12.95	-12.95	-27.8	-11.28	-23.2	
1999	14.0										2.00			-2.00	-2.00	-29.8	-0.33	-23.5	
2000	14.0			4.6							2.00			-6.64	-6.64	-38.4	-1.11	-24.6	
2001	14.0			9.5							2.00			-11.48	-11.48	-47.9	-1.91	-26.5	
2002	14.0				45.7						2.00			-47.71	-47.71	-95.6	-7.95	-34.5	
2003	14.0				143.8						2.50			-146.27	-146.27	-241.9	-24.38	-58.9	
2004	14.0	8.7			123.0	17.2	122.2	5.2	122	0.27	0.0%	3.15	25.23	-26.32	-51.55	-293.4	-8.58	-67.5	
2005	14.0	12.4			68.4	22.5	172.9	7.4	295	0.32	0.0%	3.15	62.14	71.48	9.34	-284.1	1.56	-65.9	
2006	14.0	17.4			68.4	28.4	243.6	10.4	539	0.47	0.0%	3.15	99.14	133.29	34.18	-249.9	5.70	-60.2	
2007	14.0	20.0			67.6	33.8	308.3	13.1	847	0.56	0.0%	3.15	124.77	190.64	65.87	-184.0	10.98	-49.2	
2008	14.0	26.2			67.6	37.9	367.4	15.9	1214	0.69	0.0%	3.15	153.66	242.76	89.12	-94.9	14.85	-34.4	
2009	14.0	30.1			33.4	41.7	421.4	25.4	1636	0.86	6.4%	19.5	189.44	298.27	108.83	13.9	18.13	-16.2	
2010	14.0	28.4			40.0	397.3	23.5	2033	0.94	6.3%	18.7	3.15	184.82	311.96	127.14	141.1	21.20	5.0	
2011	14.0	25.9			37.6	363.2	22.0	2396	0.96	6.4%	17.4	3.15	167.53	283.04	115.51	256.6	19.26	24.2	
2012	14.0	23.7			35.4	331.9	20.6	2728	0.98	6.6%	16.2	3.15	151.71	256.56	104.87	361.4	17.49	41.7	
2013	14.0	21.7			33.4	303.4	19.4	3032	1.01	6.7%	15.1	3.15	137.22	232.33	95.11	456.5	15.86	57.6	
2014	14.0	19.8			31.6	277.3	18.3	3309	1.05	7.0%	14.2	3.15	123.93	210.16	86.23	542.8	14.37	71.9	
2015	14.0	17.1			29.9	253.5	17.3	3562	1.09	7.2%	13.3	3.15	111.74	189.82	78.08	620.9	13.01	84.9	
2016	14.0	16.6			28.4	231.7	16.5	3794	1.13	7.6%	12.6	3.15	100.53	171.06	70.53	691.4	11.76	96.7	
2017	14.0	15.1			27.0	211.8	15.9	4006	1.19	7.9%	11.9	3.15	90.20	153.87	63.67	755.1	10.61	107.3	
2018	14.0	13.8			25.7	193.6	15.4	4200	1.26	8.2%	11.4	3.15	80.67	137.97	57.31	812.4	9.55	116.9	
2019	14.0	12.6			24.5	177.0	13.6	4377	1.22	8.2%	10.1	3.15	73.39	125.59	52.20	864.6	8.70	125.5	
2020	14.0	11.6			23.5	161.7	11.3	4538	1.11	7.4%	8.4	3.15	67.52	115.40	47.88	912.4	7.99	133.5	
2021	14.0	10.6			22.5	147.8	9.5	4686	1.02	6.8%	7.0	3.15	61.87	105.75	43.88	958.3	7.31	140.8	
2022	14.0	9.7			21.6	135.1	7.9	4821	0.93	6.2%	5.8	3.15	56.59	96.65	40.09	998.4	6.68	147.5	
2023	14.0	8.8			20.8	123.5	6.6	4945	0.85	5.6%	4.8	3.15	51.59	88.16	36.57	1033.0	6.10	153.6	
2024	14.0	8.1			20.0	112.8	5.5	5058	0.77	5.1%	4.0	3.15	46.92	80.23	33.31	1066.3	5.56	159.2	
2025	14.0	6.2			17.5	86.7	3.7	5144	0.56	3.8%	2.2	3.15	35.05	60.14	25.09	1091.4	4.19	163.4	
2026	14.0	4.9			13.5	69.2	3.0	5213	0.46	3.1%	1.4	3.15	28.05	48.15	20.10	1111.5	3.35	166.7	
2027																			
2028																			
TOTAL		372.4	22.3	14.1	617.8	634.5	5213.3	307.1		5.4%	193.9	88.45	2223.88	3335.13	1111.47		166.72		

VPL@															
Taxa de desc.	7.5%	112.5	19.7	9.7	314.4	163.1	1574.9	88.8	50.1	31.7	664.1	877.4	213.4	19.19	
	10.0%	79.1	18.9	8.6	254.8	127.6	1107.3	61.4	33.2	24.7	464.3	578.1	113.8	3.22	
	12.5%	56.7	18.2	7.7	207.8	91.0	793.5	43.3	22.4	19.8	330.7	383.4	52.7	-6.38	
									TIR					10.70%	
														32.30%	
														16.50%	

Figura 2.6. Avaliação Econômica: Modelo de Fluxo de Caixa Usado pela Braspetro

² BRASPETRO - Petróleo Internacional S.A. - Subsidiária da PETROBRÁS.

A aplicação do VME na classificação de projetos é um processo direto e muito usado na área de exploração de petróleo. Como exemplo, considere os projetos cujos dados estão apresentados na Tabela 2.1.

É fácil definir preferências entre projetos quando se tem apenas uma variável. Por exemplo, o projeto A da tabela 2.1 tem um ganho líquido de 100 milhões de dólares, um custo de US\$ 5 milhões e probabilidade de sucesso de 80%. Já o projeto B tem um ganho líquido de US\$ 100 milhões, um custo de US\$ 5 milhões e uma probabilidade de sucesso de 70%. O projeto A é o melhor, pois apresenta maior probabilidade de sucesso e as outras variáveis são iguais.

Definir preferências fica mais difícil quando se tem mais de uma variável. Por exemplo, o projeto C da tabela 2.1 tem um ganho líquido de US\$ 100 milhões, um custo de US\$ 5 milhões e uma probabilidade de sucesso de 10%. O projeto D tem um ganho líquido só de US\$ 10 milhões, o mesmo custo de US\$ 5 milhões, mas tem uma probabilidade de sucesso de 40%. Qual o melhor projeto?

Tabela 2.1 Dados do projetos A e B, C e D

Projeto	A	B	C	D
Ganho Líquido (VPL)	100	100	100	10
Custo MM US\$	-5	-5	-5	-5
Prob. Sucesso (%)	80	70	10	40
	A é o melhor projeto		Qual é o melhor projeto?	

Alguns exploracionistas usam o valor monetário esperado (VME) para decidir qual o melhor projeto.

$$\text{VME Proj. C} = (100 \times 0,1) - (5 \times 0,9) = \text{US\$ } 5,5 \text{ milhões}$$

$$\text{VME Proj. D} = (10 \times 0,4) - (5 \times 0,6) = \text{US\$ } 1,0 \text{ milhão}$$

Nas decisões exploratórias, quanto maior o VME, melhor é o projeto. Assim, o projeto C é melhor que o projeto D.

Esse conceito trouxe muitas vantagens, pois é uma fórmula simples de juntar 3 variáveis e gerar um valor único capaz de dizer qual o melhor projeto.

Como mostrado anteriormente, quando a empresa participa de muitos projetos, a probabilidade se realiza e o VME representa o ganho real.

Por outro lado, o VME não considera a magnitude do dinheiro exposto à chance de perda e não leva em consideração a preferência do gerente em relação ao risco. Ele é apropriado para um gerente indiferente ao risco, ou seja para uma firma que tenha um capital ilimitado. Sendo assim, pode bancar qualquer projeto sem ser afetada pelo valor do projeto até que a probabilidade se realize. Um exemplo dessa restrição está ilustrado na Figura 2.7.

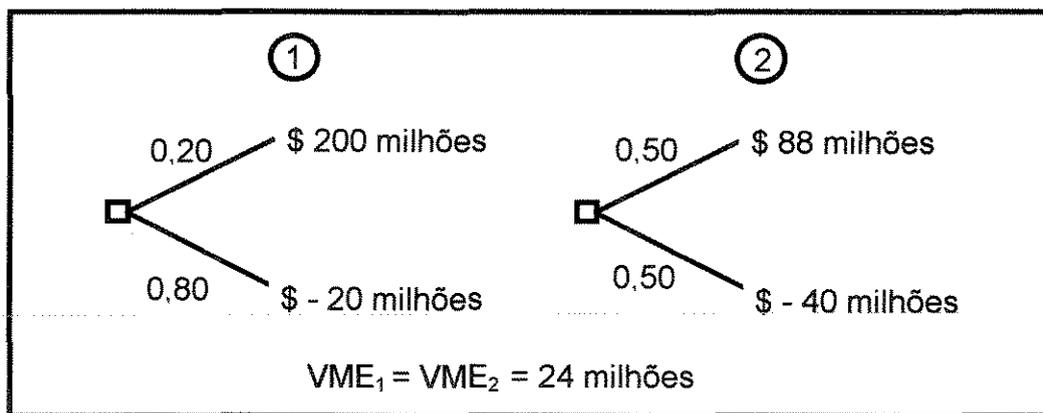


Figura 2.7. Dois projetos diferentes com o mesmo VME. Embora os valores esperados dos projetos 1 e 2 sejam iguais os riscos associados com cada projeto são bastante diferentes.

O número simples do VME (US\$ 24 MM) não explicita o fato que no projeto 1 tem-se apenas 20% de chance de sucesso, enquanto no projeto 2 tem-se 50% de chance de sucesso. Ainda, no projeto 1 a firma se expõe a perder 20 milhões de dólares e no projeto 2 ela pode perder 40 milhões, o que pode significar a falência da empresa, a depender, naturalmente, do poder de investimento da firma.

Uma outra restrição ao VME é que ele não reproduz resultados afins ao comportamento dos seres humanos frente ao risco. Normalmente, as pessoas apresentam uma aversão ao risco quando a decisão envolve grandes valores. Para exemplificar esse comportamento frente ao risco, considera-se o exemplo abaixo (Figura 2.8), em que, no primeiro caso, tem-se um jogo de moeda (cara ou coroa), podendo o jogador ganhar 10 reais ou perder 5 reais. Para esse jogo, certamente serão encontrados muitos jogadores. No segundo caso, tem-se o mesmo jogo, com as mesmas probabilidades, mas agora os valores são: ganhar

100 mil reais ou perder 50 mil reais, ou seja, num lance o jogador pode perder o equivalente ao valor de um apartamento ou ganhar dois. Nesse caso, serão encontrados poucos jogadores, evidenciando uma aversão ao risco dos seres humanos quando os valores são elevados.

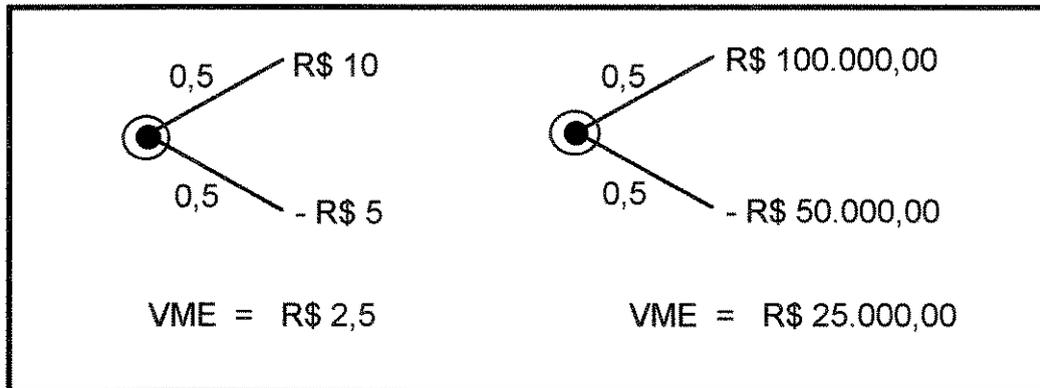


Figura 2.8. Dois jogos de referência (jogo de azar), com valores de saída diferentes.

Ou seja, mesmo o VME sendo de R\$ 25000, 10000 vezes maior do que no primeiro jogo que aceitou, o jogador não aceitará jogar. Esse exemplo ilustra a necessidade de uma teoria que mantenha a coerência matemática do VME e que incorpore as preferências dos gerentes frente ao risco. É essa teoria que será discutida nesse trabalho (seção 2.3.3).

2.3.2. Análise de Risco

O maior objetivo desta tese é a incorporação de modo quantitativo do fator risco no processo de tomada de decisão em exploração de petróleo. Para isso, o parâmetro risco será caracterizado de várias formas.

Afirmações quantitativas sobre risco e incertezas são dadas como probabilidades numéricas ou probabilidades de ocorrência. Probabilidades são frações decimais no intervalo entre zero e 1. Um evento ou resultado certo de ocorrer tem uma probabilidade de ocorrência 1,0. Quanto mais a probabilidade se aproxima de zero mais o evento ou resultado será menos provável de ocorrer. Um evento que não pode ocorrer tem uma probabilidade de ocorrência zero. Exemplo: em um jogo de moeda (cara ou coroa) a probabilidade de dar cara é 0,5.

A probabilidade de sucesso na perfuração de poços de petróleo (risco geológico) está associada à existência de um sistema petrolífero, às estimativas de volumes de óleo a serem descobertos e aos tamanhos individuais dos campos de óleo e gás, por isso depende das ferramentas e tecnologias exploratórias utilizadas. Com o aumento do conhecimento geológico das bacias sedimentares e o avanço tecnológico, sobretudo em sísmica e programas de modelagem numérica de bacias, esses riscos têm sido reduzidos.

Os riscos econômicos estão associados às expectativas futuras do preço do petróleo, aos custos operacionais e à avaliação acurada do volume de óleo/gás a ser produzido, ou seja, estão associados à probabilidade de realização do fluxo de caixa previsto.

Os riscos financeiros estão associados à capacidade de investimentos da firma (capital exploratório), ao número de prospectos disponíveis, às ações não técnicas (políticas, sociais, ambientais) que podem embargar o processo exploratório, ao risco da probabilidade de sucesso estimada estar errada, etc.

Se o investimento representar uma pequena fração do orçamento da companhia, o tomador de decisão poderá conservar seu critério de decisão, baseado no VME. Entretanto, se a perda for significativa, podendo abalar as finanças da empresa, deverá rever sua posição. A noção de risco varia, portanto, de uma empresa para outra e de um indivíduo para outro, em função de sua capacidade para assimilar perdas (BETTINI, 1984). O mesmo projeto pode ser "arriscado" para uma firma e atrativo para outra. O mesmo indivíduo pode avaliar um projeto de maneiras distintas, variando as circunstâncias.

A apresentação do parâmetro risco pode ser expressa como um número que represente a probabilidade de ocorrência do valor mais provável de um evento. Por exemplo, a probabilidade para os vários resultados da perfuração de um poço para petróleo segundo a Figura 2.9 ou sob a forma de uma distribuição probabilística dos parâmetros de entrada de uma avaliação econômica ou mesmo uma distribuição probabilística do valor presente líquido do projeto (Figura 2.10).

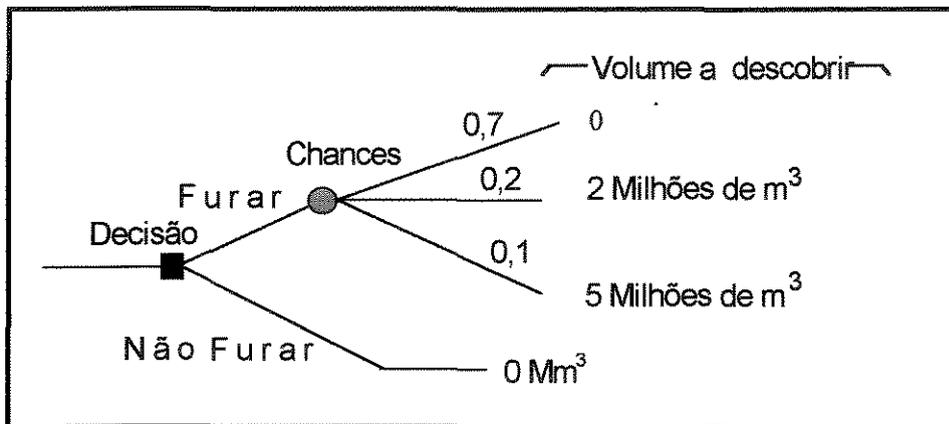


Figura 2.9. Árvore de decisão mostrando as probabilidades de descobertas de vários volumes de óleo

Em uma distribuição probabilística do valor presente líquido (Figura 2.10), pode-se visualizar a magnitude do retorno e o risco do projeto. O VPL não leva em conta o risco, que é dado pela dispersão da distribuição do VPL.

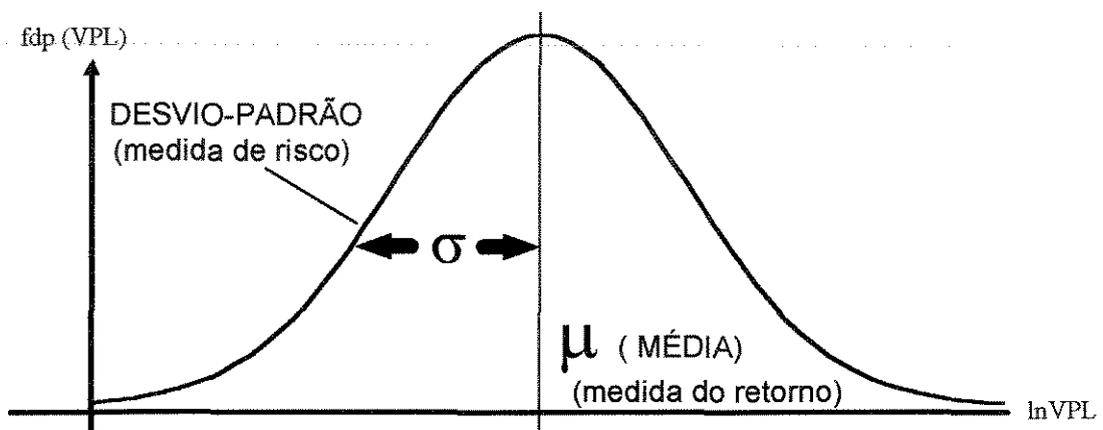


Figura 2.10. Distribuição do valor presente líquido do projeto para o tempo t . As decisões de investimentos podem ser avaliadas usando o retorno esperado e o desvio-padrão da distribuição do retorno, em que desvio padrão é visto como uma medida de risco.

Essa noção de risco está ilustrada pelo estudo de caso na seção 5.3 desse trabalho, na qual os dados de entrada são distribuições probabilísticas.

A experiência tem mostrado que a probabilidade de sucesso de poços pioneiros para petróleo é baixa, reforçando o risco de perda de quantias elevadas na sua exploração. Entretanto, as empresas frequentemente aceitam esse risco calculado, com base na expectativa de prêmios compensadores. Não raro, a descoberta de um único campo representa o sucesso de todo um programa

exploratório, que consiste em atividades de aquisição de informações (principalmente sísmica de reflexão) e de perfuração de vários poços.

Para dar um noção do que é baixo, médio e alto risco, apresenta-se a Figura 2.11, extraída do trabalho de AGUILERA(1995), que ilustra a consistência da quantificação de riscos na exploração de petróleo para a companhia de petróleo “Chevron Overseas Petroleum”.

GRÁFICO DE CONSISTÊNCIA DO FATOR RISCO				
Distância de campos				
Produtores	< 5 km	< 10 km	< 50 km	> 50 km
Mesmo play Estrutura Adjacente	Mesmo Play Estrutura próxima	Novo Play- Mesmo trende Velho Play - Novo trende	Novo play - Nova Bacia Play c/resultado negativo	
Área madura		Área emergente		Área remota
Delimitação	Prospecto		Play	Província
Risco Muito Baixo	Risco Baixo	Risco Moderado	Risco Alto	Risco Muito Alto
$P_{med.} = 0.75$	$P_{med.} = 0.375$	$P_{med.} = 0.183$	$P_{med.} = 0.092$	$P_{med.} = 0.05$
1:2	1:4	1:8	1:16	
$P_{med.}$ = Probabilidade de Sucesso Geológico 1:2 = Significa 1 sucesso em cada 2 poços perfurados, ou seja $P_{med} = 0.5$				

Figura 2.11. Critério de quantificação do risco geológico. Fonte: AGUILERA(1995).

Portanto, para a análise de risco, é clara a necessidade de alimentar as decisões exploratórias com os seguintes elementos:

- (a) Risco geológico: avaliação dos parâmetros associados ao insucesso geológico;
- (b) Risco econômico: avaliação dos parâmetros associados aos possíveis prêmios.

2.3.2.1 Risco Geológico (risco inerente ao negócio/atividade)

Essa primeira parte consiste na análise estatística dos parâmetros geológicos que determinam a existência de acumulações petrolíferas (estrutura, selo, reservatório, gerador e tempo de migração), quantificando a probabilidade de uma acumulação ser descoberta numa bacia.

Para que ocorra o trapeamento de petróleo em volumes economicamente viáveis em um dado prospecto, certas condições geológicas têm que ser satisfeitas.

As condições para que ocorra acumulação de hidrocarbonetos são as seguintes:

1. Ocorrência de rocha geradora;
2. Ocorrência de rocha reservatório;
3. Conexão espacial entre a rocha-reservatório e a rocha-geradora;
4. Relação adequada de tempo entre geração, migração e estruturação;
5. Existência de uma trapa estrutural ou estratigráfica que permita a acumulação de petróleo;
6. Ocorrência de rocha selante.

A identificação da existência de todos esses elementos caracteriza o trabalho dos geólogos e geofísicos, definindo os sistemas petrolíferos das bacias sedimentares. A ausência completa de um deles tornará inviável a acumulação de hidrocarbonetos. A pujança de cada um determinará o porte da acumulação.

A atribuição de probabilidades de ocorrência desses parâmetros é normalmente executada pelo método Delphi, em que um grupo multidisciplinar de especialistas (geólogos, geofísicos, engenheiros de petróleo) se reúne para debater o assunto. Cada membro do grupo atribui uma probabilidade para cada uma dessas condições. A probabilidade "consensual" para cada condição é estimada pela média das opiniões dos especialistas participantes (PEREIRA, 1992).

A probabilidade de sucesso (p) é dada pelo produtório dos seguintes dados: probabilidade de existência de geração (G), probabilidade de existência de uma trapa (E), probabilidade de existência do reservatório (R), probabilidade de

existência do selo (S), probabilidade da existência de uma relação espacial que permitiu ao óleo migrar da rocha geradora ao reservatório (M) e probabilidade de todos esses elementos ocorrerem no tempo certo (T) (Equação 2.3).

$$PS = G * E * R * S * M * T, \quad (2.3)$$

Onde, PS = Probabilidade de Sucesso;
G = Gerador;
E = Trapa estrutural ou estratigráfica,
R = Reservatório,
S = Selo;
M = Migração, e
T = Tempo (timing).

O esquema para estimar o risco exploratório baseia-se na proposição que os elementos individuais do sistema petrolífero sejam independentes. Entretanto, a independência é um caso especial de probabilidade e será válido somente em condições particulares e bem definidas.

Em certos sistemas petrolíferos, os elementos são plenamente independentes. Por exemplo, a deposição do reservatório é independente da formação da trapa no sudeste do Mar do Norte. Nessa bacia, a deposição dos arenitos Rotliegendes ocorreu bem antes dos eventos tectônicos que formaram as trapas (CARRAGHER, 1993) . Em muitos outros sistemas petrolíferos, a noção de independência não é válida. Por exemplo, a deposição de reservatórios e a formação da trapa não são completamente independentes em trapas com falhas de crescimento. Esse é também o caso de quase todos os poços, perfurados nas estruturas correlatas, os quais são classificados de “alto risco”.

2.3.2.2 Risco Econômico

Essa parte inclui a análise estatística dos parâmetros que determinam a distribuição de tamanho (área e volume) das possíveis acumulações(área da estrutura, espessura, porosidade, saturação de óleo), redistribuindo os índices de sucesso em probabilidades de descobertas de vários tamanhos de campos de petróleo (Figura 2.12).

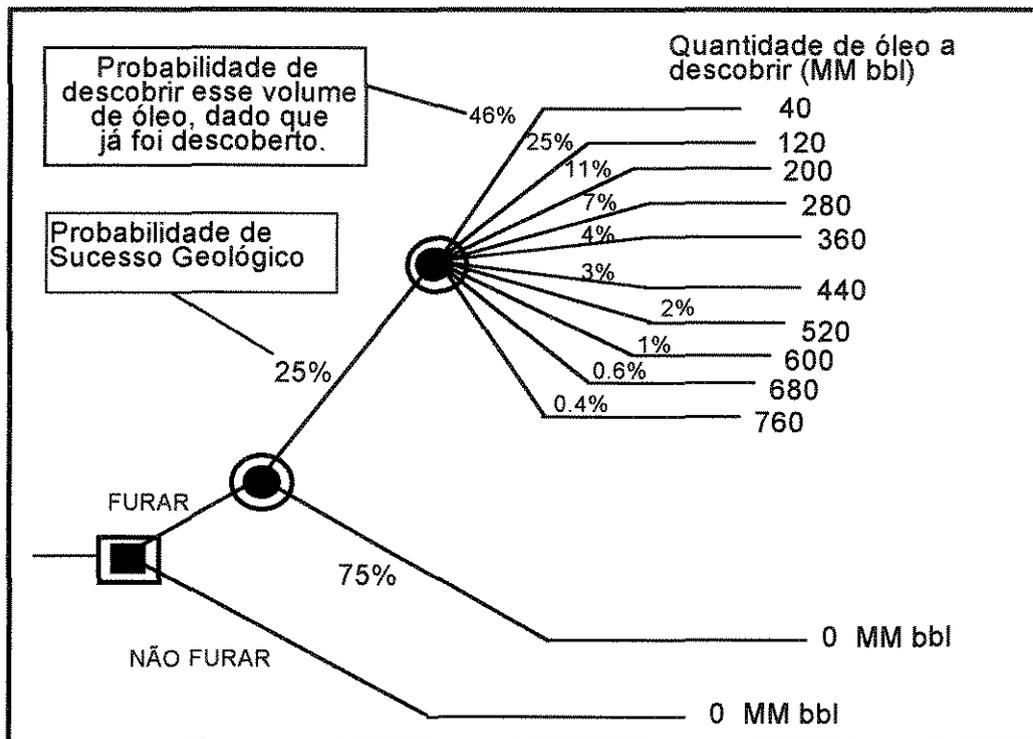


Figura 2.12. Redistribuição das probabilidades de sucesso geológico. Árvore de decisão de um prospecto exploratório para óleo, mostrando a probabilidade de sucesso para óleo e a redistribuição de probabilidades para a descoberta de campos com várias quantidades de óleo.

A indústria petrolífera admite, com poucas restrições, que os métodos exploratórios são eficientes o bastante para adquirir e processar informações, a ponto de selecionar as áreas ou prospectos com maior chance de sucesso. Isso equivale a dizer que a aquisição de dados e sua interpretação por equipes especializadas contribui efetivamente para a redução do risco exploratório.

Os prospectos exploratórios são apresentados pelos geólogos e geofísicos em mapas com estimativas das áreas das possíveis estruturas contendo petróleo (A), estimativas de espessuras (E) e porosidade(Φ) dos reservatórios e estimativas dos níveis de saturação de óleo(S_o), baseando-se quase sempre em resultados obtidos em poços anteriores.

Esses dados normalmente são apresentados como a melhor estimativa (um número mais provável), ou uma distribuição muitas vezes triangular (máxima, mínima, e a mais provável) como no caso de tamanho das estruturas, ou ainda como distribuições log-normais como no caso da porosidade.

O volume de óleo recuperável a ser descoberto é calculado pela fórmula:

$$\text{Volume de óleo} = A * E * \text{Phi} * \text{So} * \text{Fr}, \quad (2.4)$$

em que, A = área da acumulação, E = espessura do reservatório; Phi = porosidade efetiva do reservatório, So = saturação de óleo e Fr = fator de recuperação.

Como já visto, o volume de óleo é o produtório de um grande número de outras quantidades independentes. Portanto, os tamanhos dos campos de petróleo poderiam ser representados por uma curva de distribuição log-normal.

Estatisticamente, a ocorrência das diferentes magnitudes na natureza tende a seguir uma distribuição matematicamente simulável como uma curva log-normal assimétrica com a moda situada à esquerda da média. Por exemplo, a distribuição de volumes de óleo por campo em uma bacia (Figura 2.13). Em outras palavras, a maior frequência de campos está concentrada abaixo do tamanho médio (PORTO e PEREIRA,1992).

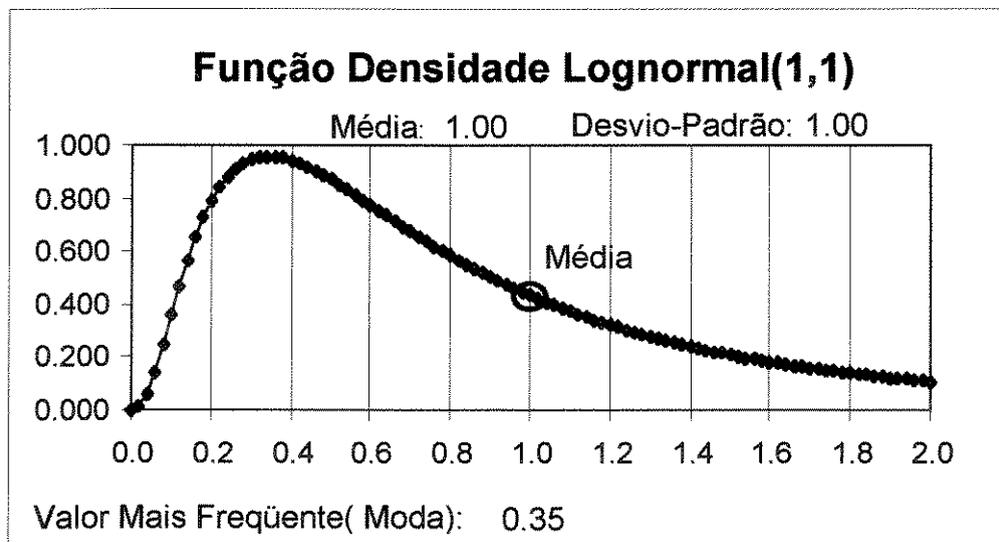


Figura 2.13. Curva de distribuição probabilística Log-normal (média, desvio-padrão), típica da distribuição dos tamanhos dos campos de petróleo em uma bacia sedimentar.

Outro aspecto a ser considerado é o estágio exploratório de uma determinada bacia. Em geral, os campos de maiores dimensões tendem a ser descobertos nos estágios iniciais da história exploratória de uma bacia, enquanto

que em um estágio de maturidade avançada, a tendência é para ocorrência de descobertas de pequeno porte

Com base no exposto acima, o conhecimento de distribuição dos volumes de reserva dos campos em uma dada bacia em associação com seu histórico exploratório é de fundamental importância para as considerações sobre probabilidades de volumes durante a avaliação de projetos de exploração (PEREIRA, 1992).

O estudo da distribuição do tamanho de campos descobertos ao longo do tempo, em bacias que atingiram sua maturidade exploratória, revela que os maiores campos são descobertos cedo, enquanto o tamanho médio de campo tende a decrescer à medida que avança a exploração (HARBAUGH & DUCASTAING, 1981). Além de afetar a eficiência exploratória, esse fato interfere também nos custos de desenvolvimento e produção. À medida que uma bacia se aproxima da maturidade exploratória, torna-se progressivamente mais oneroso produzir cada barril de "óleo novo", eventualmente atingindo um nível crítico, acima do qual o processo torna-se anti-econômico.

Conclui-se que uma avaliação de potencial petrolífero, com vistas à análise de decisão exploratória dentro do planejamento global de uma empresa, deve incluir os seguintes indicadores:

- a) distribuição de probabilidade acumulada do volume de óleo recuperável a descobrir.
- b) distribuição probabilística do tamanho dos campos não-descobertos;
- c) Probabilidade de sucesso: medida da eficiência do processo exploratório.

2.3.3 Introdução à Teoria da Preferência

Muitas companhias fazem a priorização ("ranking") de seus projetos para alocação de investimentos em projetos de exploração e produção baseadas no valor monetário esperado (VME), ou seja, na lucratividade do projeto, e na taxa interna de retorno (TIR) (WALLS, 1994a).

Estes métodos de alocação de capital freqüentemente conduzem a escolhas não-apropriadas de investimentos que apresentam diferentes riscos. Eles também fornecem pouca ou nenhuma visão sobre o valor ótimo de investimento em cada projeto, visando a compartilhar riscos.

A teoria da preferência será discutida em maior profundidade nos capítulos 3 e 4, mas nessa seção serão discutidos, brevemente, os conceitos gerais e a aplicação da teoria da preferência na tomada de decisão, fazendo uma analogia com o critério do valor monetário esperado discutido na seção 2.3.1.

Uma forma conveniente de expressar a preferência em relação ao risco é através de funções-utilidade definidas por John von NEUMANN e Oskar MORGENSTERN,1944 (von NEUMANN e MORGENSTERN(1953); COZZOLINO(1977); BETTINI(1984), WALLS(1994b).....

Utilidade é um número abstrato que é agregado a um possível resultado da decisão. Cada resultado tem uma utilidade (as mais desejáveis têm valores mais altos que as menos desejáveis). Neste trabalho, analisa-se a utilidade do valor monetário de cada um dos resultados possíveis do projeto.

Utilidade esperada, semelhantemente ao VME, é o somatório das utilidades de cada possível evento multiplicadas pela suas probabilidades de ocorrência. Um tomador de decisão racional maximizará a utilidade esperada.

A função-utilidade é construída atribuindo-se um valor numérico maior para o melhor resultado possível e um valor numérico menor para o evento menos preferível. A obtenção de valores numéricos intermediários permite construir a curva da função-utilidade que é única para cada tomador de decisão.

Essas curvas, lançadas em um gráfico de valor do investimento versus valor da função-utilidade, apresentam-se como uma reta para um tomador de decisão indiferente ao risco, como uma parábola com concavidade para baixo para um tomador de decisão com aversão ao risco e como uma curva convexa para um tomador de decisão propenso ao risco (Figura 2.14).

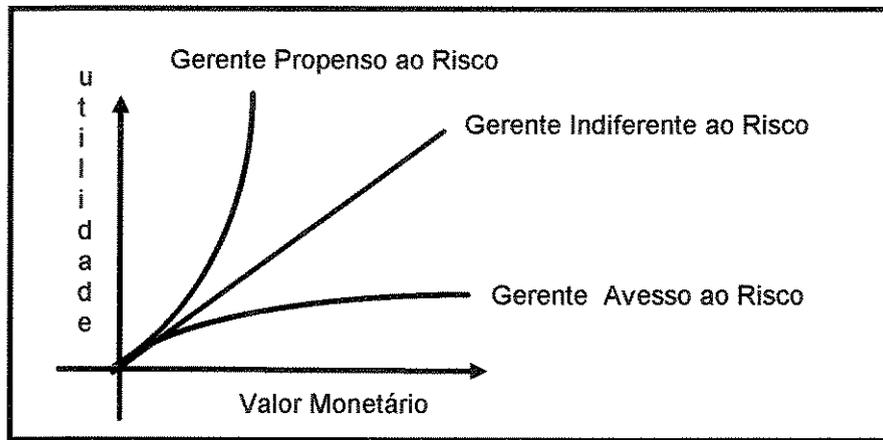


Figura 2.14. Curvas de comportamento frente ao risco

A função-utilidade pode ser definida empírica ou analiticamente. A definição empírica faz-se através de uma entrevista, conforme ilustrado no capítulo 3. Alternativamente, a função-utilidade para uma determinada variável, pode ser definida utilizando-se de expressões analíticas, como nos exemplos seguintes:

- (a) linear $U(x) = cx$
- (b) exponencial: $U(x) = 1 - e^{-cx}$
- (c) logarítmica: $U(x) = \ln(x+c)$, $c > 0$, $x > -c$
- (d) raiz quadrada: $U(x) = \sqrt{x+c}$, $c > 0$, $x > -c$

Dois conceitos importantes para a aplicação desse método da teoria da preferência foram introduzidos por PRATT(1964). Ele definiu os conceitos de equivalente certo e de função de aversão ao risco associado com a função-utilidade.

Muitas vezes, uma opção arriscada pode ser comparada com uma sem risco. Os executivos poderiam perguntar: Qual o menor valor em dinheiro que eu aceitaria, sem risco, como retorno pela escolha arriscada com esse valor esperado? Esse valor é o equivalente certo da escolha arriscada (MAITAL, 1996).

A função de aversão ao risco foi definida estudando-se como a curva de preferência variava quando se aumentava o valor monetário (valor do atributo).

HAMMOND (1974) mostrou que uma função-utilidade exponencial (o único tipo que tem função de aversão ao risco constante) poderia servir como

um substituto para muitas outras funções-utilidade sob algumas condições. COZZOLINO (1977) mostrou que essa função exponencial é importante na avaliação e implementação da análise de risco nos projetos de exploração de petróleo, desde que a maioria das companhias não conhece realmente suas funções-utilidade. WALLS(1994b) mostrou que a função-utilidade mais usada na exploração de petróleo é uma função exponencial do tipo:

$$U(x) = - e^{-cx} \quad (2.5)$$

em que: x = Valor da variável considerada (valor monetário)

c = Coeficiente de aversão ao risco = $1/$ tolerância ao risco.

O nível de aversão ao risco é o conceito chave para desenvolver uma medição mais objetiva de risco financeiro. Ele será discutido em detalhe na seção 3.5. Um nível de aversão ao risco igual a zero indica que a tomada de decisão será feita pelo valor monetário esperado. A consistência de decisões sobre risco é encontrada pela avaliação de todos os projetos com o mesmo nível de aversão ao risco.

A teoria da preferência ao risco não indica que nível de aversão ao risco uma companhia deveria usar em suas tomadas de decisões. Uma regra simples sugerida por COZZOLINO(1977), que parece ser útil na determinação da ordem de magnitude de um nível de aversão ao risco de uma companhia, é o recíproco do orçamento de investimento de capital da companhia. Entretanto, deve-se ter em mente que essa regra não é baseada em nenhuma razão teórica ou mesmo em um estudo empírico.

Por outro lado, um estudo empírico feito por WALLS & DYER(1992), analisando 50 companhias de petróleo independentes nos EUA, no período de 1981 a 1990, concluiu que a tolerância ao risco nas companhias americanas de petróleo é normalmente igual a $1/4$ do capital exploratório anual da firma.

O equivalente certo de um projeto, usando função-utilidade exponencial para os diagramas de dois braços mostrado na Figura 2.15 é calculado pela equação 2.6 (demonstrada no anexo A).

$$\text{EqC}(x) = -1/c \ln [p_1 e^{-c(x)VPL_1} + p_2 e^{-c(x)VPL_2}] \quad (2.6)$$

em que, c representa o nível de aversão ao risco do tomador de decisão.

EqC = Equivalente certo do projeto em milhões de dólares

p_i = Probabilidade de ocorrência do evento i

VPL_1 = Valor presente líquido do evento 1 (Sucesso)

VPL_2 = Valor presente líquido do evento 2 (Insucesso)

c = Coeficiente de aversão ao risco

x = Nível de participação financeira da firma no projeto em %.

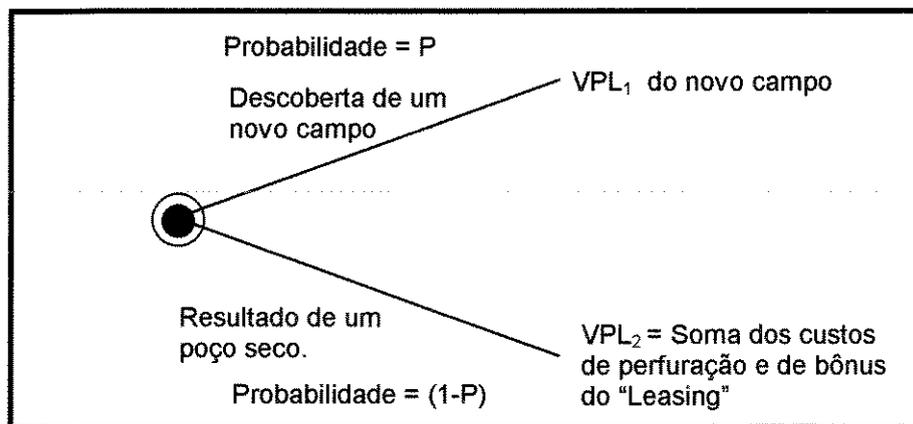


Figura 2.15. Nó de incerteza simplificado com dois possíveis resultados.

Na aplicação da teoria da preferência para a definição de qual é o melhor projeto da tabela 2.1 (projeto C ou D), admitiu-se que o tomador de decisão tem uma função de preferência representada por uma função-utilidade exponencial do tipo da Equação 2.5, e que a tolerância ao risco da firma é de 1/4 do capital exploratório anual, que é de 160 milhões de dólares, ou seja, uma tolerância ao risco de US\$ 40 MM. A tolerância ao risco é o inverso da aversão ao risco. Assim, o coeficiente de aversão ao risco usado foi de 0.025.

Inicialmente, os projetos da tabela 2.1 serão representados como árvores de decisão (Figura 2. 16)

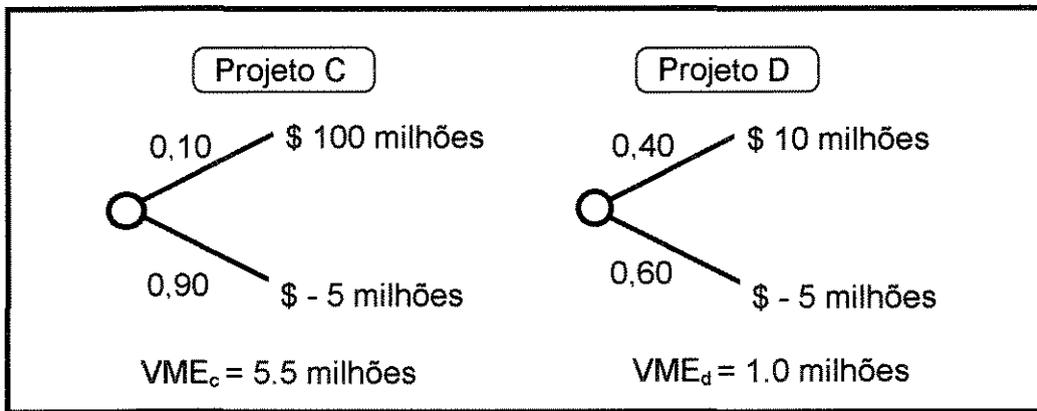


Figura 2.16. Nós de incerteza dos projetos da tabela 2.1, mostrando que, se a decisão for feita pelo VME, o melhor projeto é o projeto C.

Usando a equação 2.6, calcula-se o equivalente certo para diferentes níveis de participação, de zero a 100% em cada um dos dois projetos, e lançam-se os resultados no gráfico da Figura 2.17, mostra que o projeto C é melhor que o projeto D para uma participação de 30%, mas que, para uma participação de 100%, o projeto D é o melhor projeto para essa firma.

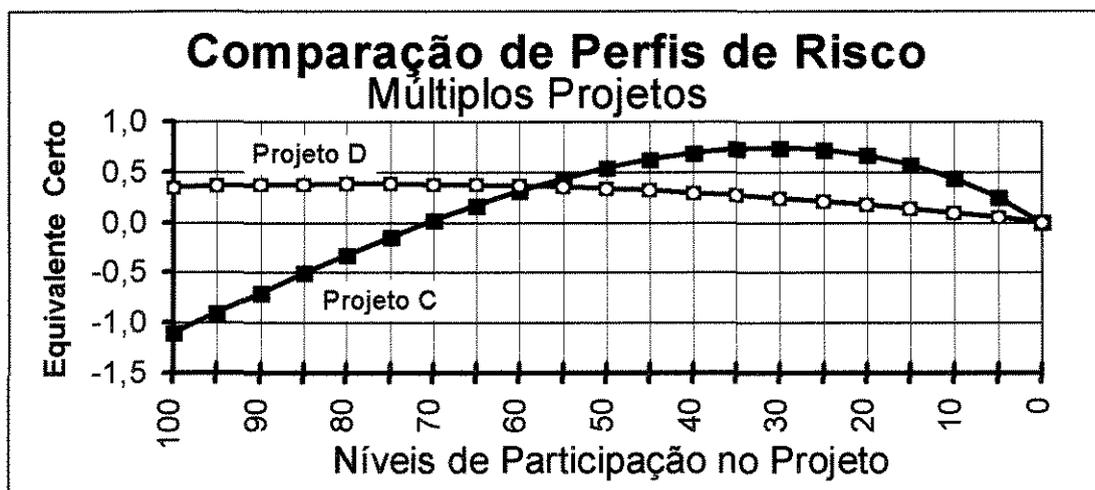


Figura 2.17. Equivalente Certo do Projeto versus Nível de Participação Financeira no Projeto.

A aplicação da teoria da preferência a esses dois projetos revela os seguintes aspectos:

- 1) A Figura 2.17 mostra a comparação de perfis de risco dos projetos C e D, com níveis de participação ótimo de 30% e 75%, respectivamente.

2) Para uma participação de 100%, o melhor projeto é o projeto D, que apresenta um menor risco e um equivalente certo de 0,345, enquanto para uma participação de apenas 30%, o melhor projeto é o projeto C, conforme prognosticado pelo VME, e com um equivalente certo de 0,742.

3) As etapas para a Análise de Decisão usando o VME são muito semelhantes às etapas da análise da decisão usando a teoria da preferência, conforme sumarizada abaixo.

Análise da Decisão Usando VME	Análise da Decisão Usando Teoria da Preferência
1) Definir as alternativas de decisão e os possíveis resultados	1) Definir as alternativas de decisão e os possíveis resultados
2) Determinar as probabilidades de ocorrência para cada resultado	2) Determinar as probabilidades de ocorrência para cada resultado
3) Computar os valores monetários de perdas/lucros para cada resultado	3) Computar os valores monetários de perdas/lucros para cada resultado
4) Multiplicar a probabilidade de ocorrência de cada resultado pelos valores monetários	4) Ler na curva de utilidade o valor de preferência correspondente a cada VPL
5) Computar o VME do Projeto	5) Multiplicar a probabilidade de ocorrência de cada resultado pelos correspondentes valores de preferência
6) Selecionar a alternativa que maximiza o VME	6) Computar o Valor Esperado da Utilidade(VEU)
	7) Selecionar a alternativa que maximiza o VEU

2.3.4 Análise de *portfolio*

Para introduzir o leitor no estudo da teoria da utilidade, e subsequente aplicação em situações de tomada de decisão, faz-se necessária uma breve discussão dos conceitos básicos dentro do contexto da análise de *portfolio*.

Na análise de *portfolio*, SHARPE(1970) discute que decisões de investimentos podem ser avaliadas, usando o retorno esperado e o desvio-padrão (ou variância) da distribuição do retorno, em que o desvio-padrão é visto como uma medida de risco.

Assim, na construção de um *portfolio* tem-se uma carteira de projetos com diversos retornos esperados e respectivos riscos associados. O investidor tem dois objetivos: maximizar o retorno esperado e minimizar o risco.

Suponha um *portfolio* constituído por dois projetos (μ_1, σ_1) e (μ_2, σ_2) , o retorno e o risco do *portfolio* será dado por:

$$\mu_p = \sum_{i=1}^n X_i \mu_i \quad (2.7)$$

e

$$\sigma_p^2 = X_1^2 \sigma_1^2 + X_2^2 \sigma_2^2 + 2 X_1 X_2 \rho_{1,2} \sigma_1 \sigma_2 \quad (2.8)$$

Em que: X = percentual de participação financeira no projeto

μ_i = retornos esperados do projeto i

σ_i^2 = variância dos retornos do projeto i = risco do projeto

$\rho_{1,2}$ = coeficiente de correlação entre os projetos 1 e 2

Para fixar essa relação, apresenta-se um exemplo em que $X_1 = 0.50$, $X_2 = 0.50$, $\sigma_1 = 3.9$, $\sigma_2 = 5.1$, $\rho_{1,2} = -0.70$. Assim, usando a equação, 2.8 tem-se que $\sigma_p = 1.8\%$.

Portanto, o desvio-padrão do *portfolio* é menor do que o desvio-padrão de cada investimento (3.9% e 5.1%). Todas as vezes que dois investimentos têm um coeficiente de correlação menor do que +1, alguma redução de risco será possível pela combinação desses investimentos em um *portfolio*. Observa-se que se pode conseguir uma redução de risco de itens positivamente correlacionados. Isso dá um significado extra para o gerenciamento do *portfolio*.

Pode-se verificar, na tabela abaixo o impacto de vários coeficientes de correlação assumidos para os investimentos 1 e 2 do exemplo anterior.

Coeficiente de correlação	Desvio-padrão do <i>portfolio</i>
+ 1,0	4.5%
+ 0.5	3.9%
0.0	3.2%
- 0.5	2.3%
- 0.7	1.8%
- 1.0	0.6%

O coeficiente de correlação é dado por

$$\rho_{A,B} = \frac{\text{COV}(\mu_A * \mu_B)}{\sigma_A * \sigma_B}$$

Em que: $\rho_{A,B}$ = coeficiente de correlação entre projeto A e proj. B.

μ_A e μ_B = retornos esperados dos projetos A e B respectivamente.

σ_A e σ_B = desvios-padrão dos projetos A e B respectivamente.

Agora, quando um *portfolio* é constituído por n projetos e deseja-se substituir ou incorporar um novo projeto nesse *portfolio*, têm-se as seguintes situações:

Parâmetros	Descrição	Decisão
$\mu_A = \mu_B$ e $\sigma_A < \sigma_B$	Projetos com iguais retornos, mas o risco do projeto A é menor do que o do projeto B	Projeto A é melhor do que o projeto B
$\mu_A < \mu_B$ e $\sigma_A = \sigma_B$	Projetos com risco idênticos, mas o retorno do projeto B é superior ao do projeto A	Projeto B é melhor do que projeto A
$\mu_A < \mu_B$ e $\sigma_A > \sigma_B$	O retorno do proj. B é superior ao do proj. A e o risco do proj. B é menor do que o do proj. A	Projeto B é melhor do que o do proj. A.
$\mu_A > \mu_B$ e $\sigma_A < \sigma_B$	Em uma situação inversa à anterior, onde o retorno do proj. A é superior ao do proj. B e o risco do proj. A é menor do que o do proj. B.	projeto A é melhor do que o projeto B.
$\mu_A < \mu_B$ e $\sigma_A < \sigma_B$	Projeto A tem risco menor mas também tem ganho menor do que o projeto B	???
$\mu_A > \mu_B$ e $\sigma_A > \sigma_B$	Projeto A tem ganho maior mas também tem risco maior do que o projeto B	???

Figura 2.18. Situações de decisão na construção de um *portfolio* de projetos de exploração de petróleo. A é o novo projeto e B é qualquer um dos projetos do *portfolio* que deve ser substituído.

Nas duas últimas situações entra a preferência do gerente. Ele prefere um retorno maior mesmo arriscando mais ou ele prefere um retorno menor, mas com mais segurança? Essa ponderação depende da capacidade financeira da firma de absorver perdas e da disposição do gerente de correr riscos. A teoria da preferência é importante para dar coerência ao processo de tomada de decisão em projetos de risco, especificando o nível ótimo de participação financeira para cada projeto e preservando a firma quanto a perdas financeiras que ela não seria capaz de suportar, em um contexto de expectativa racional do negócio.

Usa-se o termo *portfolio* para indicar as combinações de investimentos que um investidor pode escolher. O conjunto de *portfolios* eficientes possíveis são aqueles que atendem às seguintes condições: a) não existe outro *portfolio* com um retorno esperado mais alto e o mesmo desvio-padrão do retorno. b) Não existe outro *portfolio* com um desvio-padrão menor e o mesmo retorno esperado. Esse conjunto de *portfolios* repousa sobre a linha denominada fronteira eficiente ilustrada na Figura 2.19.

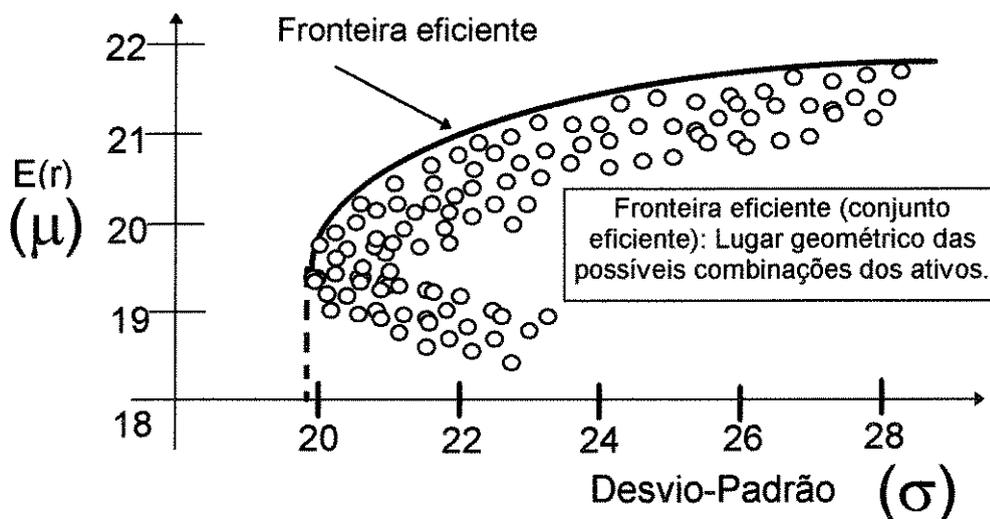
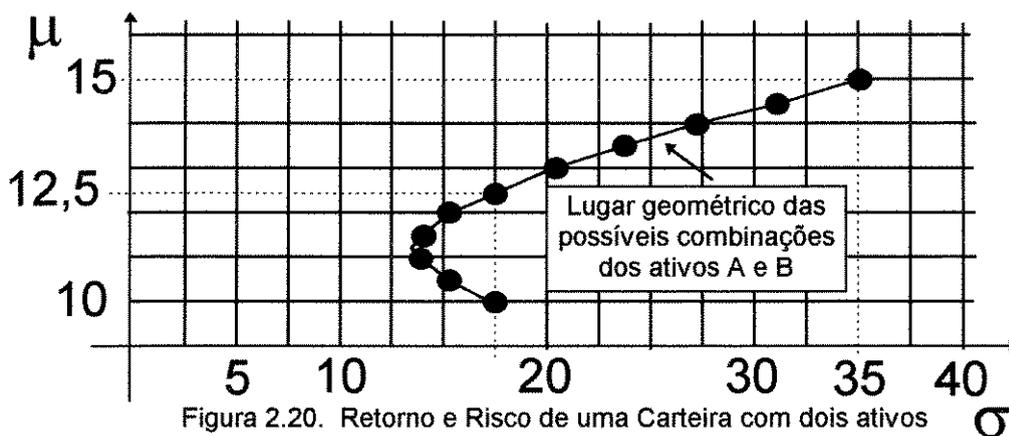


Figura 2.19. Retorno e risco da carteira com vários ativos.

Fronteira eficiente representa o lugar geométrico das melhores combinações dos ativos, ou seja, as combinações com mesmo risco e com maior retorno ou mesmo retorno com menor risco. Os mais desejáveis *portfolios* para a firma são aqueles que repousam sobre o conjunto eficiente.

Para fixar mais essa idéia, considere o seguinte exemplo para construção de um *portfolio* pela combinação de dois projetos, em que X_i é a participação em cada projeto i que pode variar entre 0 a 1, ou seja $X_A + X_B = 1$:

$$\mu_A = 10 < 15 = \mu_B, \quad \sigma_A = 17,5 < 35 = \sigma_B \quad \text{e} \quad \rho_{AB} = -0.25$$



Usando as equações 2.7 e 2.8, e conforme mostra a Figura 2.20, para $X_A = X_B = 0.5$, tem-se $\mu_P = 12,5 > 10 = \mu_A$ e $\sigma_P = 17,5 = \sigma_A$. Observe que o risco do *portfolio* pode ser menor que o risco do projeto A que é o projeto de mais baixo risco do *portfolio*, isto é, para $X_A = 0,7$, tem-se $\mu_P = 11,5$ e $\sigma_P = 14$.

2.3.4.1 Diversificação

Os conceitos básicos usados nessa tese envolvendo diversificação são: a) decisões são baseadas no "trade-off" entre risco e retorno, em que o retorno é medido pelo valor monetário esperado e o risco é medido pela variância ou desvio-padrão e b) diversificação reduz o risco da carteira porque retornos de diferentes investimentos não se movem exatamente juntos.

Pode-se perguntar: Será que o risco diminui continuamente à medida que o número de ativos aumenta ou há um limite para a diminuição do risco?

Para responder a essa pergunta, é necessário classificar os riscos em dois tipos: riscos sistemáticos e riscos não-sistemáticos: Riscos não-sistemáticos são riscos que podem ser potencialmente eliminados pela diversificação. Exemplos: riscos específicos de uma indústria ou firma, risco gerencial, riscos financeiros etc.

Como exemplo de risco sistemático, têm-se: mudanças na economia que afetam todos os negócios; risco da taxa de juros, inflação, etc.

Portanto, a diversificação diminui o risco da carteira até se alcançar o risco sistemático (Figura 2.21).

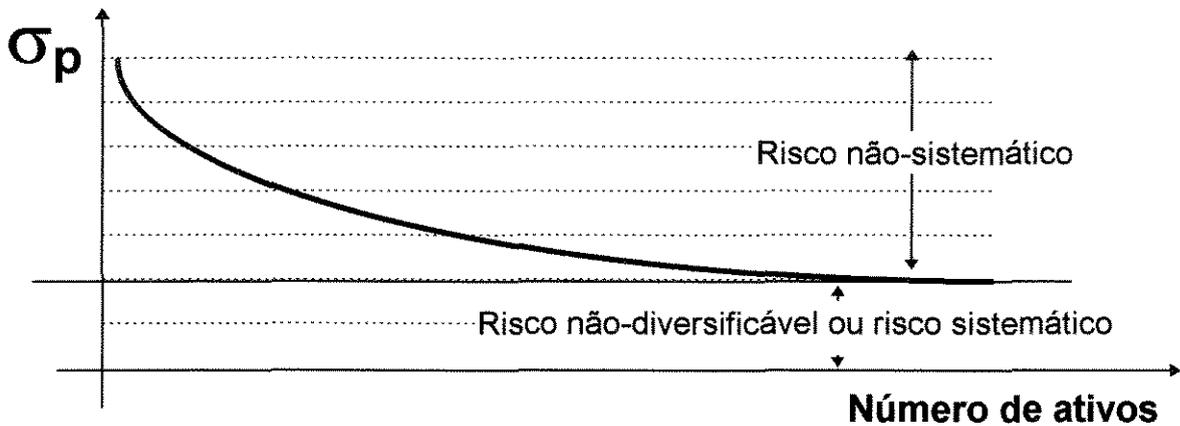


Figura 2.21. Risco Versus Número de ativos.

A Figura 2.21 mostra que a diversificação diminui o risco da carteira de projetos, quando se aumenta o número de ativos. Os cálculos para a diversificação com "N" ativos podem ser feitos com a ajuda das equações 2.9 e 2.10.

$$\mu_P = \sum_{i=1}^n x_i \mu_i \quad (2.9)$$

$$\sigma_P = \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2 \sigma_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n x_i x_j \underbrace{\rho_{ij} \sigma_i \sigma_j}_{\text{COV}_{ij} = \sigma_{ij}}} \quad (2.10)$$

Quando o número de ativos é muito grande, tem-se:

$$\sigma_P = \sqrt{\frac{1}{N} \overline{\sigma^2} + \left(1 - \frac{1}{N}\right) \overline{\text{COV}}}; \quad \text{no limite tem-se que } \sigma_P = \sqrt{\overline{\text{COV}}},$$

em que, $\overline{\sigma^2}$ = variância média e $\overline{\text{COV}}$ = covariância média.

Com um número de ativos muito grande (limite), o risco da carteira depende apenas da covariância dos ativos que compõem a carteira.

Risco devido à covariância dos ativos significa risco não-diversificável ou risco sistemático ou risco de mercado.

2.3.4.2 Portfolio e Teoria da Preferência

Qualquer *portfolio* pode ser representado por um ponto no espaço retorno médio (μ_p), desvio-padrão (σ_p). Dependendo das restrições do investidor, somente certos *portfolios* serão viáveis. Uma região viável possível está ilustrada na Figura 2.22b. A região é convexa ao longo da sua borda superior³. Essa borda, na teoria do *portfolio*, é referida como a fronteira não dominada, ou conjunto eficiente.

As curvas de indiferenças⁴ (iso-utilidades) de um investidor podem ser representada como mostrado na Figura 2-22b. Quanto mais alta a linha, mais desejáveis são as situações que repousam ao longo dela. A melhor curva de indiferença é aquela mais afastada para a esquerda, como indicado pela curva 3 na Figura 2.22b. O ponto de tangência da curva 3 com a fronteira CD, ponto T(μ_p , σ_p), identifica a melhor solução, isto é, o *portfolio* com as características de retorno-risco que tem a mais alta utilidade para o investidor.

Então, a fim de encontrar a melhor solução, torna-se necessário avaliar a função-utilidade do tomador de decisão. Para problemas com múltiplos objetivos, isso envolve avaliação da função-utilidade multi-atributos. Desde que a função-utilidade um-atributo (unidimensional) é uma parte do procedimento para avaliar a função-utilidade multi-atributos, o procedimento de avaliação da função-utilidade unidimensional será discutida, primeiramente, no capítulo 3 dessa tese.

³ A forma da região é determinada pelas restrições enfrentadas por cada investidor. A convexidade da borda superior resulta das considerações dos requerimentos de portfólios não-dominados (Sharpe, 1970, pp 52-53).

⁴ Uma curva de indiferença (iso-utilidades) (Ferguson, 1972) é o local em que os pontos componentes da curva apresentam o mesmo nível de utilidade total. Isto é, o tomador de decisão seria indiferente às diferentes combinações de risco e retorno esperado ao longo da curva.

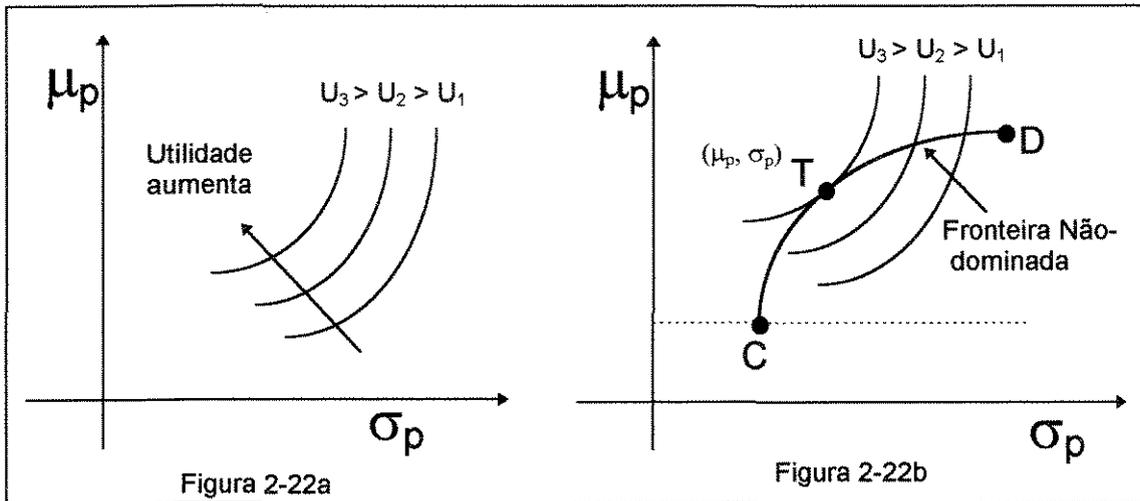


Figura 2-22 Curvas de indiferenças e fronteira não-dominada.

Dados esses conceitos básicos sobre *portfolio* de investimentos, pode-se frisar que:

- Técnicas de otimização de *portfolio* representam uma valiosa ferramenta para a orçamentação de capital.

- A diversificação pode reduzir o risco em um *portfolio* de oportunidades de investimentos

- Alternativas de investimentos correlacionados negativamente ou independentes reduzem os riscos de um *portfolio* mais do que alternativas correlacionadas positivamente.

- A escolha do *portfolio* ótimo de um conjunto eficiente requer um “trade-off” entre risco e retorno que depende da atitude de risco da organização. Portanto, conhecendo-se as preferências da firma, é possível identificar o *portfolio* ótimo.

CAPÍTULO 3: FUNÇÃO-UTILIDADE UNIDIMENSIONAL

3.1 Teoria da Preferência

A teoria da preferência relaciona-se a uma extensão do conceito de valor esperado, na qual o sentimento do tomador de decisão e suas atitudes sobre dinheiro são incorporados dentro de um parâmetro de decisão quantitativo. Mencionou-se no capítulo 2 que a utilização do VME como critério para tomada de decisão supõe que o gerente (ou sua firma) seja totalmente indiferente ao capital e à magnitude do potencial de lucros e perdas.

A teoria da preferência é uma tentativa de incorporar essas atitudes e sentimentos com respeito a dinheiro dentro de um parâmetro quantitativo chamado de “valor esperado da utilidade”, que teria todas as características do VME. Usa-se o termo “teoria da preferência” como um sinônimo para a teoria da utilidade definida por von Neumann e Morgenstern, ou seja, utilidade não significa se o evento é útil ou não, mas significa um número cardinal abstrato refletindo a preferência de um gerente associada a um resultado do evento.

Diversos pesquisadores vêm adotando este método (COZZOLINO, NEWENDORP, KEENEY, RAIFFA, GOICOECHEA, BAIRD, entre outros). Entende-se que esse método fornece ao tomador de decisão o mais representativo parâmetro de decisão já desenvolvido. Seu uso resultará em uma política de decisão mais consistente na avaliação de projetos de risco, cuja coerência é dada pela avaliação de todos os projetos com o mesmo coeficiente de aversão ao risco.

Até 1944, não existia uma teoria matemática formal estabelecida que descrevesse, em um senso quantitativo, atitudes e sentimentos de um tomador de decisão sobre dinheiro. Essa teoria foi desenvolvida por dois matemáticos da Universidade de Princeton, John von Neumann e Oskar Morgenstern, embora Daniel Bernoulli tenha feito uma tentativa em 1738 para quantificar as emoções de um indivíduo acerca de dinheiro.(NEWENDORP, 1975).

A medida de utilidade de Neumann-Morgenstern foi estabelecida com o propósito de predição, para permitir ao teórico determinar, no caso de ausência do jogador, qual das várias proposições de risco o mesmo preferiria.

Para determinar a utilidade que o tomador de decisão agregará a cada possível resultado, ele deve responder a uma série de perguntas que indicarão suas preferências em relação ao risco. Posteriormente, será discutido com mais detalhes como construir uma curva de preferência para um indivíduo ou uma organização. Para ilustrar um pouco mais o conceito de utilidade, adianta-se que as utilidades requeridas podem ser encontradas em dois passos:

1) Estabelecem-se arbitrariamente as utilidades para dois valores monetários (x_m e x_M). A utilidade da melhor consequência é estabelecida como mais alta do que a utilidade do pior evento. Tipicamente $U(x_m)=0$, onde x_m representa o valor monetário mais baixo e $U(x_M) = 1$, em que x_M representa o valor monetário mais alto. Mostra-se que os resultados finais das análises não dependem de quais números foram escolhidos, desde que a utilidade da melhor consequência seja estabelecida como maior que a utilidade do pior evento (MANSFIEL, 1985).

2) No segundo passo, mais complexo, se oferece ao tomador de decisão uma escolha entre a certeza de um valor monetário (x) e um jogo (Figura 3.1), em que os resultados possíveis são os dois valores monetários (x_m , x_M), cujas utilidades foram arbitrariamente estabelecidas. Para fazer isso, pergunta-se ao tomador de decisão se ele prefere a certeza do valor x ou o jogo em que existe a probabilidade (p) de ganhar x_M e a probabilidade ($1-p$) de ganhar x_m . A partir daí testam-se vários valores de (p) até achar aquele em que o tomador de decisão é indiferente entre a certeza de x e o jogo. Como o tomador de decisão sempre maximiza a utilidade esperada, diz-se que a utilidade esperada de x é igual a utilidade esperada do jogo (BAIRD, 1989, GOICOECHEA *et alii*, 1982)

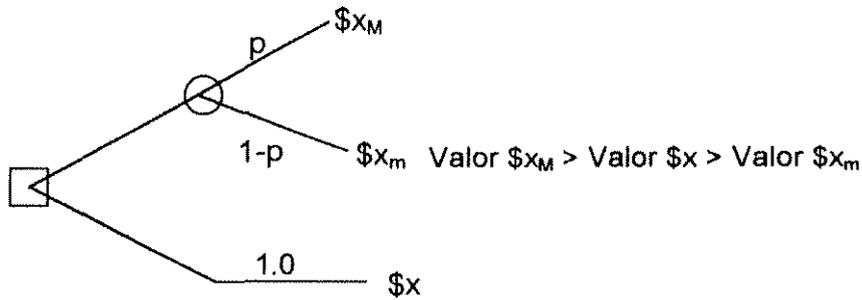


Figura 3.1. Jogo referência

Uma vez que p tenha sido determinado, fica estabelecida uma correspondência entre x e p . Com essa relação conhecida, a utilidade de (x) pode agora ser calculada da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 u(x) &= (1-p)u(x_m) + pu(x_M) \\
 &= (1-p) * 0 + p * 1 \\
 &= p
 \end{aligned}$$

Através da variação de (p) e a mudança dos valores do jogo (valores de x), qualquer número de pontos sobre a curva de utilidade do tomador de decisão pode ser gerado. Esses pontos podem ser colocados num gráfico $(x, u(x))$ para determinar a forma da curva (Figura 3.2). Se desejado, uma curva pode ser ajustada para estimar a forma funcional da função-utilidade.

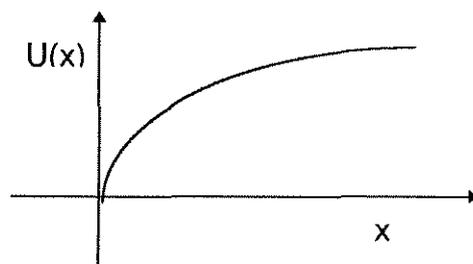


Figura 3.2. Função de preferência de um tomador de decisão avesso ao risco

Uma função-utilidade é simplesmente um mapeamento de valores na faixa de um atributo (ou seja, um objetivo) dentro de uma escala de valor cardinal, determinado pelo indivíduo. Com efeito, uma função-utilidade do indivíduo é uma representação matemática formal de sua estrutura de preferência.

Normalmente, uma função-utilidade é definida sobre um conjunto de atributos com valores no conjunto dos números reais. O domínio pode conter um ou vários atributos. No caso de vários atributos, a função é chamada uma função-utilidade multi-atributos. Funções-utilidade para problema com múltiplos objetivos serão discutidas no capítulo 4.

A literatura sobre teoria da utilidade é abundante e encontra aplicabilidade na economia e na teoria da demanda, na tomada de decisões públicas, e em gerenciamento corporativo. Os primeiros trabalhos sobre a teoria da utilidade, como uma disciplina, são encontrados nos esforços de Von NEUMANN e MORGENSTERN(1953), que desenvolveram os axiomas para comparações de preferências interpessoais e para a tomada de decisão em projetos de risco. Mais recentemente, muitos livros têm capítulos inteiros sobre a teoria da preferência, como, NEWENDORP, 1975 (capítulo 5); BAIRD, 1989 (capítulo 10) , GOICOECHEA *et alii* , 1982 (seções 2.3. e 4.3), LUCE and RAIFFA, 1967 (cap 2), KEENEY e RAIFFA, 1976 (capítulos 4, 5 e 6). CLEMEN, 1990 (capítulo 16), BEKMAN, 1993 (capítulo 4) . O prêmio Nobel de Economia de 1994 foi concedido a três cientistas que trabalharam durante muito tempo no desenvolvimento dessa teoria (John C. Harsanyi, John Nash e Reinhard Selten). O prêmio comemorava, além dos trabalhos desses cientistas, os 50 anos da teoria desenvolvida por John von Neumann and Oskar Morgenstern.

3.2 As Bases Matemáticas para a Teoria da Preferência

Uma teoria matemática tem como base um ou mais axiomas. Um axioma é simplesmente uma afirmação, ou ponto de partida sobre o qual a teoria é desenvolvida. A teoria resultante é válida somente até o ponto em que os axiomas nos quais ela se baseia têm sentido. Von Neumann and Morgenstern iniciaram essa teoria com oito axiomas, que eles consideraram ser a base lógica fundamental da tomada de decisão racional. Para ilustrar a natureza geral desses axiomas lista-se abaixo alguns deles, rerepresentados por LUCE & RAIFFA(1967):

AXIOMA 1: ORDENABILIDADE

O Tomador de Decisão (TD) deve ser capaz de estabelecer preferências entre os prêmios de uma loteria (possíveis projetos). Se uma loteria tem prêmios A, B e C, o TD deve ser capaz de dizer qual é o melhor, qual o segundo, etc. Usando o símbolo $>$ para significar "é preferível a" e o símbolo \sim para indicar "indiferença", o TD deverá estabelecer se $A > B$, $A \sim B$ ou $A < B$.

AXIOMA 2: TRANSITIVIDADE

Se uma loteria tem prêmios A, B e C, e $A > B$ e $B > C$ então $A > C$.

AXIOMA 3: CONTINUIDADE

Se $A > B > C$ então existe a probabilidade p , $0 < p < 1$, tal que $B \sim [A, p; C, 1-p]$
 $[A, p; B, 1-p]$ representa uma loteria que leva ao prêmio A com probabilidade (p) ou ao prêmio B com probabilidade ($1-p$).

AXIOMA 4: SUBSTITUIBILIDADE

Se $A \sim B$, então $[A, p; C, 1-p] \sim [B, p; C, 1-p]$

AXIOMA 5: MONOTONICIDADE

Se $A > B$, então $[A, p; B, 1-p] > [A, q; B, 1-q]$ se e somente se $p > q$.

AXIOMA 6: REDUTIBILIDADE

$[[A, p; B, 1-p], q; B, 1-q] \sim [A, pq; B, 1-pq]$.

Esses 6 axiomas são apresentados aqui meramente para sugerir ao leitor os tipos de pressupostos sobre os quais a teoria matemática da preferência está baseada. Virtualmente, todos os pesquisadores da teoria da preferência estão de acordo com a validade dos axiomas propostos por Von Neumann and Morgenstern (LUCE & RAIFFA(1967), COZOLLINO(1977)).

Qual a repercussão desses axiomas no processo de tomada de decisão? A contribuição de Von Neumann e Morgenstern deveu-se às provas matemáticas

de que: “Se um tomador de decisão tem um sistema de valores descritos pelos oito axiomas da tomada de decisão, existe uma função a qual descreve completamente suas atitudes e sentimentos sobre dinheiro”. Essa prova foi longa, entretanto sua importância foi entendida imediatamente pelos especialistas que estudavam o aspecto emocional de como as pessoas tomam decisões sob incertezas.

A teoria da utilidade assume que um indivíduo pode escolher entre as alternativas disponíveis, de tal maneira que a satisfação derivada de sua escolha é tão grande quanto possível. Isso implica que o indivíduo é conhecedor de todas as suas alternativas e é capaz de avaliá-las. Mais ainda, admite-se um vetor de objetivos, em que todas as informações dos vários níveis dos objetivos podem ser capturadas por uma função-utilidade do indivíduo.

Entretanto, é geralmente reconhecido que preferências de um indivíduo devem satisfazer a certas condições para que possam ser representadas por uma função-utilidade. Os axiomas representados acima relatam ambas as escolhas entre resultados certos e incertos. Isto é, se um indivíduo concorda com os axiomas acima, uma função-utilidade pode ser derivada, expressando suas preferências tanto para resultados certos, como para escolhas em situação de risco. Em essência, esses axiomas são equivalentes a assumir que as pessoas são racionais e coerentes na escolha entre alternativas de risco (LUCE & RAIFFA(1967).

3.3. Determinação de uma Função de Preferência

Será descrito aqui um método-padrão para determinação da função de preferência, baseando-se em BAIRD(1989), GOICOECHEA *et alii*(1982) e LUCE & RAIFFA(1967).

Se os pressupostos(axiomas) delineados na seção anterior forem aceitos, uma função de preferência (função-utilidade para dinheiro) pode ser determinada. Uma vez que ela tenha sido determinada, pode ser incluída em uma análise de tomada de decisão como ilustrada no capítulo 5.

Para gerar uma função de preferência, os conceitos de equivalente certo e jogo de referência (às vezes conhecido como jogo de azar), são muito importantes. Considere a figura 3.3 e um tomador de decisão envolvido com uma escolha entre a ação A e a ação B. Se a ação A é selecionada, o ganho é uma quantidade V_0 com uma probabilidade 1. Em outras palavras, V_0 será recebido com certeza. Não existe jogo. Se, entretanto, o tomador de decisão escolhe a ação B, o ganho V_1 será recebido com probabilidade p ou ganho V_2 será recebido com probabilidade $1-p$. Assume-se que o valor de V_0 esteja em algum lugar entre V_1 e V_2 ($V_1 > V_0 > V_2$). Essa idéia básica é chamada de jogo de referência (Figura 3.3).

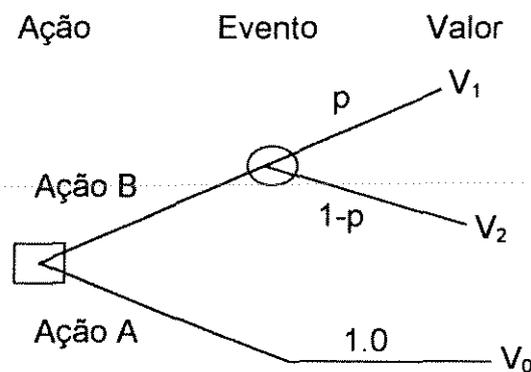


Figura 3.3. O jogo referência.

Que ação deveria o tomador de decisão escolher, A ou B? Obviamente, a resposta para essa questão depende tanto dos valores de V_0, V_1, V_2 quanto do valor de p . Assuma, a propósito de ilustração, que $V_1 = \$10000$, $V_0 = \$5000$, e $V_2 = \$0$. O jogo referência então torna-se como aquele mostrado na figura 3.4. O valor monetário esperado de ação B é $\$10000(p) + \$0(1-p)$, ou seja: $VME = \$10000(p)$. A ação A resulta em um pagamento certo de $\$5000$. A questão é: para que valor de (p) o tomador de decisão seria indiferente para escolher a ação A ou a ação B? Assuma que o tomador de decisão chamado João, seja indiferente ao risco e que suas ações são decididas pelo valor do VME. Desse modo, o ponto de indiferença seria $p = 0.5$. O valor esperado da ação B seria de $\$10000(0.5)$, ou seja $\$ 5000$. Desde que esse valor esperado fosse igual ao pagamento certo de $\$5000$ resultante da ação A, o tomador de decisão seria

indiferente. Para o João, tomar ação A ou deixar uma moeda ser jogada sob a ação B não faria diferença. O pagamento certo de \$5000 é equivalente ao jogo da ação B se $p=0,5$. Esse valor de \$5000 é chamado o equivalente certo desse jogo para o João.

Assuma que se mantenham constantes todas as coisas no jogo-referência descrito anteriormente, exceto os valores de V_0 e p (o pagamento certo e a probabilidade de mais alto pagamento sob ação B). Assim, quando se atribui um valor a (p), e pede-se ao tomador de decisão que determine o valor de V_0 para o qual ele seria indiferente entre ação A e ação B. Dois valores finais óbvios estão mostrados na figura 3.5. Se o valor de p é 1.0, que valor de V_0 faria o tomador de decisão ser indiferente entre a ação A e a ação B?. Claro que será \$10000, porque sob ação B o pagamento mais alto de \$10000 é também certo. Se o valor de (p) fosse zero, que valor de V_0 faria o tomador de decisão ser indiferente entre ação A e ação B? O valor é, obviamente, \$0 porque este é o pagamento recebido por certo sob ação B.

Suponha, entretanto, que o valor de p é 0,25. A ação A então teria um valor esperado de $\$10000(0,25) + \$0(0,75)$, ou seja, \$2500. João seria indiferente entre a ação B e a ação A, com um valor esperado de \$2500 e um pagamento certo sob a ação A de \$ 2500. Similarmente, se o valor de (p) fosse 0,75, a ação B teria um valor esperado de $\$10000(0,75)+ \$0(0,25) = \$ 7500$. O pagamento certo, nesse caso, teria de ser igual a \$ 7500 para que João fosse indiferente entre ação A e ação B.

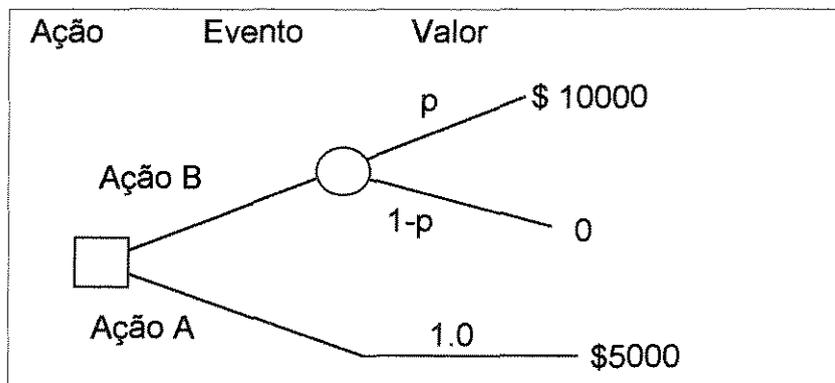


Figura 3.4. Um Jogo Específico

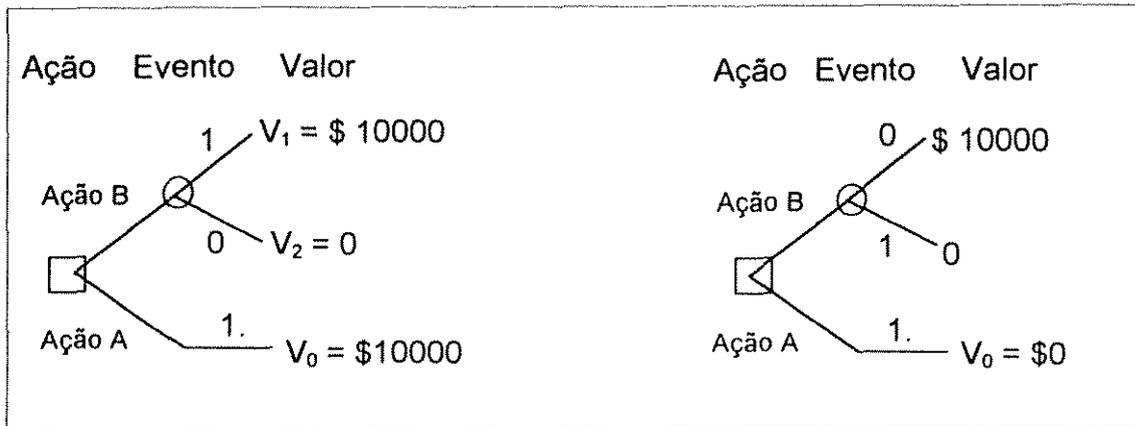


Figura 3.5: Dois jogos triviais

Os cinco valores determinados para V_0 e p estão mostrados na tabela 3.1. Constrói-se agora um gráfico das relações entre V_0 e (p) (Figura 3.6a). O relacionamento é uma linha reta. Essa linha representa pontos de indiferenças na mente do João, o tomador de decisão. Ele é indiferente entre o equivalente certo por um lado e a correspondente probabilidade de receber \$10000 e a probabilidade complementar de receber nada por outro lado. Alternativamente colocado, V_0 é seu equivalente certo para o jogo e (p) é sua preferência para V_0 , relativa a V_1 e V_2 .

Quando se selecionam arbitrariamente os dois pontos extremos como valores de preferências tal que \$0 esteja associado com a preferência de 0 e \$10000 com a preferência de 1.0, então tem-se uma ferramenta descritiva útil da atitude pessoal de João em direção ao risco, compreendendo quantidades de dinheiro entre \$0 a \$10000. Isso é uma medida de utilidade, embora esses pontos extremos sejam escolhidos arbitrariamente. Outros valores poderiam ter sido escolhidos para o eixo horizontal. A preferência relativa para dinheiro é que é importante, não o valor absoluto da utilidade atribuída para um particular valor monetário.

Tabela 3.1 Pares casados de equivalentes certos e probabilidades de ganhar V_1

Valores de V_0 (equivalente certo)	p , probabilidade de um ganho mais alto sob ação B
\$ 0	0,00
2500	0,25
5000	0,50
7500	0,75
10000	1,00

Suponha-se que um outro indivíduo fosse questionado com o mesmo jogo referência (Figura 3.3). Que valor de (p) , a probabilidade de receber \$10000, com probabilidade $(1-p)$ de receber \$0, seria equivalente a receber \$ 5000 com certeza?. Assuma que esse indivíduo é um estudante com posses escassas e grande necessidade de dinheiro. O valor de indiferença de (p) torna-se, por exemplo, 0,7 (mais do que 0,5), como mostrado na figura 3.6b. Se o estudante fosse confrontado com um pagamento certo de \$ 5000 ou um jogo com 0,7 de chance de receber \$ 10000 e 0,3 de chance de receber nada, ele seria indiferente. Se o valor de p fosse 0,69, ele preferiria o pagamento certo de \$ 5000, muito embora o valor esperado do jogo fosse de \$ 6900. Se o valor de p fosse 0,71, ele preferiria o jogo. Por que? Por que ele é avesso ao risco de não ganhar nada e por isso ele requer uma probabilidade mais alta de uma vitória do que João. Com uma probabilidade de 0,69 de ganhar os \$10000, ele verificou que existe uma probabilidade de 0,31 de não ganhar nada. Essa chance de sair do jogo sem nada é alta demais. Certamente para ele, uma chance de 50% é muito alta. O questionamento contínuo mostra que ele alcança indiferença para 0,30.

As mesmas posições extremas se aplicariam para esse indivíduo se o pagamento certo fosse \$10000, a probabilidade de ganhar os \$ 10000 no jogo teria de ser 1.0 para ele ser indiferente. Se o pagamento certo fosse \$0, ele seria indiferente se a chance de ganhar \$ 10000 no jogo fosse também igual a 0.

Assuma que dois outros equivalentes certos fossem selecionados \$ 2500 e \$7500, e, após deliberação, o estudante decidiu que seria indiferente para esses pagamentos certos se a probabilidade de ganhar \$ 10000 fosse 0,46 e 0,90, respectivamente. Por exemplo, ao estudante seria indiferente aceitar um pagamento certo de \$7500 ou participar de um jogo onde ele tem uma probabilidade de 0,90 de ganhar \$10000, e uma probabilidade de 0,10 de ganhar \$0 (valor esperado = \$9000). As cinco probabilidades geradas para os cinco equivalentes certos (\$0, \$2500, \$5000, \$7500, e \$10000) estão colocadas no gráfico da na figura 3.6b. Essa curva representa os valores de preferências para o estudante, exatamente com o mesmo sentido como a relação linear mostrado na Figura 3.6a.

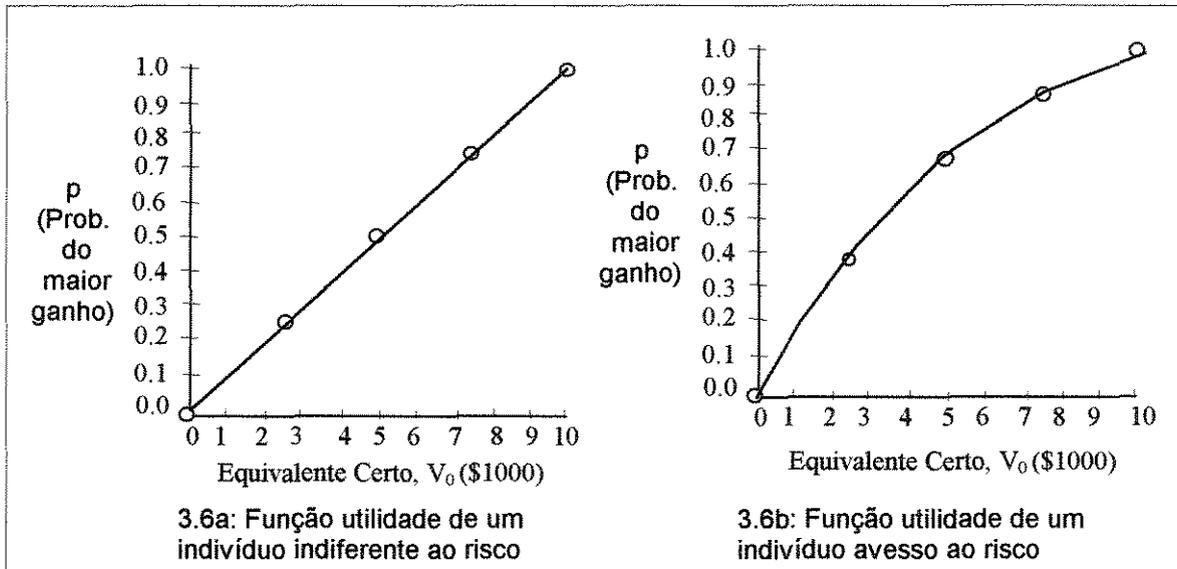


Figura 3.6: Equivalente Certo Versus Probabilidade de sucesso de ganhar V_1

Claramente, essas duas curvas de preferências são diferentes. Isso não significa que uma delas esteja errada. A atitude do estudante em relação ao risco não é a mesma do João que é um jogador padrão e toma decisões com base nos valores monetário esperados. Ou seja, se o valor esperado é maior do que o pagamento certo, o pagamento certo é rejeitado; se o valor esperado é menor do que o pagamento certo o valor esperado é rejeitado. A atitude dos jogadores-padrão é então dita ser risco neutro. A pessoa nem evita risco nem o prefere. É meramente irrelevante. Um valor esperado é computado, e então, tratado em cada sentido como um pagamento certo de uma quantidade igual. A curva de preferência do estudante gerada, que é côncava para baixo, é típica de uma pessoa que é avessa ao risco. Por várias razões, que podem ser reais ou fantasiosas, essa pessoa evita risco. Um jogo-referência deve ter um valor esperado mais alto do que o pagamento certo para ser psicologicamente equivalente.

Um terceiro tipo de atitude em relação ao risco é possível. Isso seria chamado "amante do risco" ou propenso ao risco. Essa atitude é indicativa de um jogador que tem satisfação inata ao risco e então prefere situações arriscadas àquelas que envolvem certezas. Valores esperados menores do que o pagamento certo são preferíveis. Por razões reais ou fantasiosas, os

tomadores de decisão propensos ao risco às vezes rejeitam um pagamento certo de valor igual ao valor esperado de um jogo de azar porque as possibilidades do pagamento mais alto são importantes para o indivíduo, mesmo sob a sombra da probabilidade zero de ganhar. As utilidades do tomador de decisão diferem dos dois tipos anteriores por causa daqueles valores pessoais referentes às conseqüências. Uma curva de preferência desse tipo será côncava para cima. Seria determinada exatamente como a curva risco neutro ou risco avesso, isto é, pelo uso de pontos de indiferença de jogo-referência e equivalentes certos.

Antes de prosseguir para a aplicação das preferências na tomada de decisão, parece apropriado sumarizar a técnica usada para determinar as funções de preferência.

1. Um jogo de referência é aquele em que uma escolha deve ser feita entre ação A e ação B. A ação A leva a um pagamento certo de V_0 . A ação B é um jogo de azar envolvendo o pagamento V_1 com probabilidade p e V_2 com probabilidade $(1-p)$.
2. A função de preferência deve varrer um intervalo completo de valores monetários no problema da decisão. V_1 é definido como a melhor conseqüência possível e V_2 como a pior conseqüência possível. V_0 poderá assumir vários valores na faixa de V_2 a V_1 .
3. A preferência é então definida em termos da probabilidade de V_1 , o mais alto pagamento no jogo referência. Deixa-se tudo constante, variando apenas o valor de V_0 (o pagamento certo), como uma função de p (a probabilidade do mais alto pagamento sob ação B). O tomador de decisão deve determinar os pares dos valores de V_0 e p que fazem as duas ações igualmente atrativas.
4. A função de preferência é a relação entre V_0 e p , o equivalente certo e a probabilidade do mais alto pagamento.

3.4 Tipos de Curvas de Preferências

Com propósito de realizar uma discussão mais concreta, o único atributo será identificado como “dinheiro”. Deveria ser evidente que o valor agregado ao dinheiro não é o mesmo para todos os tomadores de decisão. O nível de riqueza de um tomador de decisão e sua atitude em relação ao risco, ambos têm um efeito sobre sua função-utilidade.

Por exemplo, suponha que existam dois investidores considerando as mesmas alternativas de investimentos. A primeira alternativa de investimento envolve um dispêndio de \$50 000 e o resultado é um ganho de \$150 000 com uma probabilidade de 0.6 ou uma perda de \$50 000 com uma probabilidade de 0.4. Assim, o retorno esperado desse investimento é \$70 000. O segundo investimento alternativo também envolve um dispêndio de \$50 000 mas tem um ganho certo de \$10 000.

Considere agora a riqueza dos dois investidores. Suponha que o primeiro investidor tem um nível de riqueza total de \$50 000, enquanto o segundo investidor tem um nível de riqueza total de \$1 000 000. Muitos prediriam que o primeiro investidor não investisse na alternativa arriscada, uma vez que ele poderia perder toda a sua riqueza. Entretanto, o segundo investidor estaria somente arriscando uma pequena percentagem de sua riqueza total para uma possibilidade de ganho muito atrativa. Muito provavelmente, investiria na alternativa arriscada.

O comportamento mostrado pelo primeiro investidor é chamado de aversão ao risco. Aceitou um ganho certo de \$10,000, menor do que a expectativa de ganho de \$70,000. Quando tomadores de decisão aceitam um equivalente certo que é menor do que o valor esperado do jogo, eles são chamados avessos ao risco. Quando o equivalente certo dos tomadores de decisão é igual ao valor esperado do jogo, eles são neutros ao risco. Quando o equivalente certo dos tomadores de decisão é maior do que o valor esperado do jogo, eles são propensos ao risco.

A forma das curvas de utilidade varia com as categorias acima. Para tomadores de decisão avessos ao risco, a curva de utilidade é côncava para baixo. Para tomadores de decisão neutros ao risco, é uma linha reta. E, finalmente, para propensos ao risco, a curva de utilidade é côncava para cima. Essas três possibilidades estão mostradas na figura 3-7.

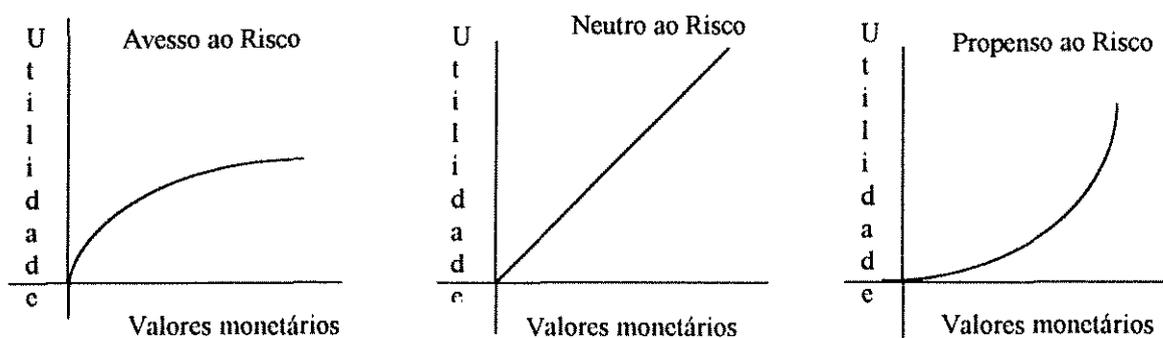


Figura 3-7. Três tipos de curvas de utilidade

3.5 Avanços na Aplicação Prática da Teoria da Preferência

Para facilitar o entendimento e a maneira de como aplicar esse método em exemplos práticos, serão sintetizados nesta seção os avanços históricos introduzidos por vários autores ao longo dos anos para a implementação dessa teoria e, na última parte da mesma, serão apresentadas as contribuições deste trabalho para a implementação desse método.

Inicialmente, os trabalhos de RAIFFA(1957 e 1968), trouxeram uma interpretação dos trabalhos de Von Neumann e Morgenstern e introduziram a aplicação desse método na tomada de decisão em projetos de risco. O critério de julgamento dos projetos apóia-se no valor da utilidade esperada, que guarda uma relação direta com o VME, em que,

$$VME = pV_1 + (1-p) V_2 \quad (3.1)$$

$$VEU = p(u(V_1)) + (1-p)u(V_2) \quad (3.2)$$

em que, VME = Valor monetário esperado; VEU = Valor esperado da utilidade; p = probabilidade de ganhar V_1 ; V_1 = Valor monetário no caso de sucesso; V_2 = Valor monetário no caso de insucesso e $U(V_1)$ = utilidade do V_1 , extraída da função-utilidade do tomador de decisão.

Como visto anteriormente, substituiu-se o valor do VME pelo VEU, usando uma função-utilidade do tomador de decisão.

Esse novo método para análise de projetos de risco baseado na teoria de preferência ao risco foi primeiramente recomendado para a avaliação de projetos de exploração de petróleo por GRAYSON(1960). Dois conceitos importantes para a aplicação desse método da teoria da preferência foram introduzidos por PRATT (1964), que definiu o conceito de equivalente certo e função de aversão ao risco associada com a função-utilidade.

a) Como foi mostrado na seção anterior sobre a construção da função-utilidade, equivalente certo(EqC) é aquele valor justo que torna o tomador de decisão indiferente entre receber esse valor ($E_{qC} = V_0$) ou participar de jogo referência que tem p probabilidade de ganhar V_1 e $(1-p)$ chance de ganhar V_2 ($V_1 > V_0 > V_2$).

Para quem não gosta de risco, o equivalente certo é geralmente menor do que o valor esperado. A diferença entre o equivalente certo e o valor esperado é o “**prêmio de risco**”: o valor em dinheiro da incerteza, como é percebido pela pessoa disposta a tolerá-lo (Figura 3.8).

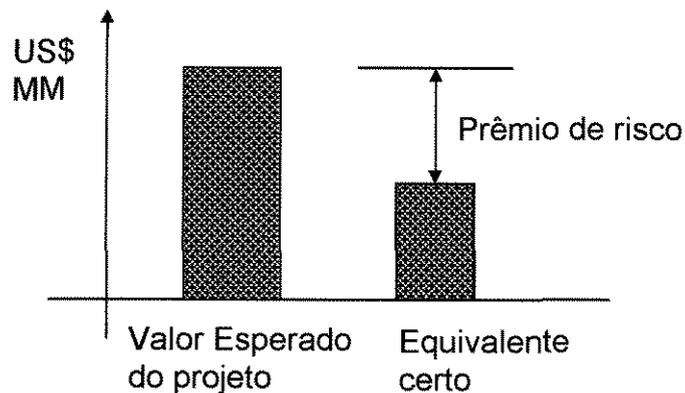


Figura 3.8 Definição do prêmio de risco

Para consolidar ainda mais o conceito de equivalente certo, será tomado como exemplo a função-utilidade $U(x) = -e^{-cx}$ em que c é a função de aversão ao risco.

Como o tomador de decisão sempre maximiza a utilidade esperada de sua decisão, pode-se dizer que quando ele define seu equivalente certo para um

determinado jogo, está implícito que: “a utilidade do equivalente certo é igual à utilidade esperada do jogo”.

$$U(\text{EqC}) = \text{VEU}$$

portanto ,

$$-e^{-c\text{EqC}} = p(-e^{-cV_1}) + (1-p)(e^{-cV_2})$$

$$e^{-c\text{EqC}} = pe^{-cV_1} + (1-p)e^{-cV_2}$$

$$-c\text{EqC} = \text{LN}(pe^{-cV_1} + (1-p)e^{-cV_2})$$

$$\boxed{\text{EqC} = -1/c \text{ LN}(pe^{-cV_1} + (1-p)e^{-cV_2})} \quad (3.3)$$

b) A função de aversão ao risco foi definida estudando como a curva de preferência varia quando se aumenta o valor monetário (valor do atributo).

.....Ou seja,.....

$$c(x) = \frac{-U''(x)}{U'(x)}$$

em que,

$U'(x)$ = primeira derivada de $U(x)$. Informa sobre o crescimento da função e,

$U''(x)$ = Segunda derivada de $U(x)$. Indica a forma de crescimento da função.

Para a função, $U(x) = -e^{-cx}$,

$$U'(x) = ce^{-cx}$$

$$U''(x) = -c^2e^{-cx}$$

portanto,
$$\frac{-U''(x)}{U'(x)} = \frac{-(-c^2e^{-cx})}{ce^{-cx}} = c$$

Portanto, a função de aversão ao risco para essa função é uma constante chamada de coeficiente de aversão ao risco. Essa propriedade será usada mais adiante.

Pode-se assim definir a equação do equivalente certo e a função de aversão ao risco para diversas outras funções analíticas também usadas na

avaliação de projetos de exploração (COZZOLINO, 1980), como a função-utilidade do tipo logarítmica $U(x) = \ln(x+a)$ e a função-utilidade do tipo $U(x) = \sqrt{x+a}$. As demonstrações encontram-se no anexo A.

a) A função-utilidade do tipo logarítmica é definida pela expressão: $U(x) = \ln(X+a)$, para $a > 0$ e $x > -a$ (COZZOLINO, 1980) sendo,

$$c = 1 / (x+a) \quad (3.4)$$

$$EqC = \prod_{i=1}^n ((X_i + a)^{p_i}) - a \quad (3.5)$$

A expressão de c mostra que a aversão ao risco diminui quando x cresce. O parâmetro a representa a disponibilidade de capital para investimento, dessa forma, incorpora essa grandeza ao modelo de utilidade do investidor.

b) A função-utilidade do tipo raiz quadrada: $U(x) = \sqrt{x+a}$, sendo,

$$c = \frac{1}{2(x+a)} \quad (3.6)$$

$$EqC = \prod_{i=1}^n ((X_i + a)^{p_i}) - a \quad (3.7)$$

A construção de uma função-utilidade para um gerente ou uma firma tornou-se o grande passo para se estabelecer um processo de tomada de decisão coerente e consistente para ser aplicado na avaliação e comparação de projetos de risco.

Porém, ainda hoje, a dificuldade de construção dessa curva de preferência para uma organização reside na falta de motivação do gerente. Segundo NEWENDORP(1975), *"a ciência da decisão tem crescido fora da vida dos gerentes, por isso eles ainda não entendem o poder dessa ferramenta. Eles são desfavoráveis a tomada de decisões sistemáticas e preferem voar dentro de sua seara porque isso é mais seguro para seu ego"*.

Um grande avanço nessa área veio com o trabalho de HAMMOND (1974). Ele mostrou que uma função-utilidade exponencial (a única com função de aversão ao risco constante) poderia servir como um substituto para muitas outras funções-utilidade. Como a maioria das companhias não conhece realmente suas funções-utilidade, ele mostrou que a utilização de uma função exponencial, limitando-se a estimar os coeficientes de aversão ao risco das firmas, pode ser um método prático para obter os benefícios da teoria da utilidade sem as bem-conhecidas dificuldades de medição das curvas de utilidade.

Um trabalho prático da teoria da utilidade para medir e controlar risco em exploração de petróleo apresentado por COZZOLINO (1980) traz vários avanços na aplicação desse método:

1º.) COZZOLINO (*op. cit.*) introduziu a curva de perfil de risco que mostra o equivalente certo para vários tomadores de decisão (Figura 3.9), já que esse é um gráfico de equivalentes certos versus o nível de aversão ao risco. Ele garantiu que uma medida mais objetiva de risco pode ser alcançada registrando-se um espectro de equivalentes certos.

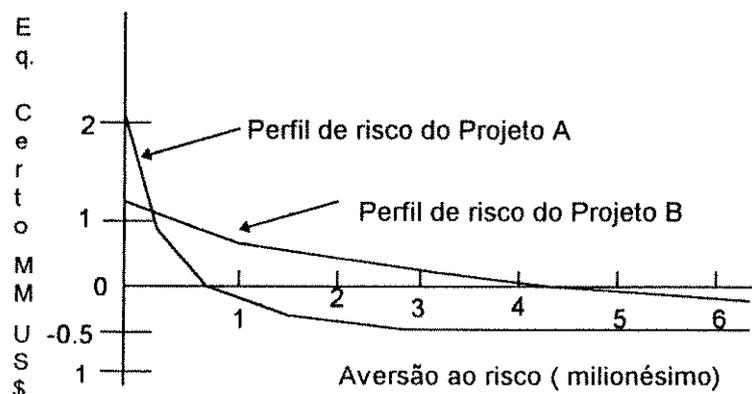


Figura 3.9. Comparação de curvas de perfis de risco.

Lembra-se, entretanto, que a consistência de decisões sobre risco é encontrada pela avaliação de todos os projetos com o mesmo coeficiente de aversão ao risco.

2°.) A teoria da preferência ao risco não indica que nível de aversão ao risco uma companhia deveria usar em suas tomadas de decisão. Uma regra prática sugerida por COZZOLINO(*op. cit.*) que parece ser útil em determinada ordem de magnitude de um nível de aversão ao risco de uma companhia é o inverso do orçamento de investimento de capital anual da companhia. Entretanto, essa regra não se baseia em nenhuma razão teórica ou um estudo empírico.

Os níveis de aversão ao risco aproximados de companhias de exploração sugeridos por COZZOLINO encontram-se na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 : Níveis de aversão ao risco sugerido por COZZOLINO

Níveis Orçamentários	Níveis de aversão ao risco (milionésimo)
\$10.000	100.
\$ 100.000	10.
\$ 1 MM	1.
\$ 5 MM	0.2
\$ 10 MM	0.1
\$ 100 MM	0.01
\$ 1 bilhão	0.001

3°.) Outro ponto levantado por COZZOLINO (*op. cit.*) é da determinação da participação ótima em um projeto de risco.

As companhias de petróleo lidam com empreendimentos de altos riscos. O método rotineiramente empregado pelas companhias independentes e também pelas "majors"¹ para controlar e sistematicamente reduzir risco em empreendimentos de alto risco, como nas licitações de exploração de petróleo no mar, é a diversificação pela participação fracionada em um número de projetos relativamente muito grandes (COZZOLINO, 1980).

¹ "Majors"= Pequeno grupo de grandes empresas multinacionais de petróleo que possuem um alto grau de integração vertical e faturamento bruto anual superior a US\$ 20 bilhões (p. ex. EXXON, SHELL, BP, etc).

O VME nada diz sobre o nível ótimo de participação em um projeto. A análise de participação fracionada num projeto visando reduzir risco tem sido discutida por ARPS & ARPS (1974) e McCRAY (1975), usando a teoria da ruína do jogador. GRAYSON (1960) mostrou um exemplo de avaliação de participação baseada no método da utilidade. RAIFFA (1968) analisa o problema geral de fracionamento do risco do ponto de vista de dois ou mais parceiros (teoria dos jogos). COZZOLINO (1980) analisa a participação fracionada nos projetos usando a teoria da preferência. Estabelece a participação desejada e as vantagens de diversificação de risco pelo fracionamento da participação.

A melhor participação em um empreendimento particular depende de sua característica de risco e do nível de aversão ao risco do tomador de decisão. Uma firma com baixo nível de aversão ao risco pode desejar 100% de participação em um projeto. Uma firma com um alto nível de aversão ao risco pode desejar uma pequena parte, mesmo sacrificando parte do valor esperado do retorno para uma redução potencial de perda.

Segundo COZZOLINO (*op. cit.*), uma maneira encontrada para julgar a diversificação do risco é computar a probabilidade de todos os poços serem secos. Esse resultado em conjunto resulta em uma perda do orçamento inteiro. Por exemplo, admita que a probabilidade de sucesso em cada projeto seja de 30%, isto é uma probabilidade de perda de 70%. Assim, a probabilidade de perda total com os 4 projetos no orçamento é de $(0.7)^4 = 0.24$.

Vários trabalhos práticos apresentados por WALLS & DYER (1992), WALLS (1994b) e WALLS (1995), usando a função-utilidade exponencial no estudo de tomada de decisão em várias companhias de exploração de petróleo (Texaco, Phillips Petroleum e Anadarko Petroleum), trouxeram grandes contribuições para a estimativa do nível de aversão ao risco das várias companhias internacionais do petróleo.

WALLS (*op. cit.*) forneceu algum significado para o coeficiente c , caracterizando o inverso do coeficiente de aversão ao risco, $1/c$, como a medida de tolerância ao risco. A medida de tolerância ao risco toma a unidade de valor da

função-utilidade de interesse, nesse caso, unidades monetárias. Apresentou pelo menos três métodos para a determinação do coeficiente de aversão:

1º.) Definiu empiricamente o coeficiente de aversão ao risco apresentado por algumas companhias internacionais de exploração de petróleo. Transcrevem-se abaixo os principais resultados de três desses trabalhos:

a) Recomendou a reanálise das decisões passadas de alocação de recursos sob condições de risco e incertezas, pois ela fornece um meio de avaliar a função-utilidade da firma. Em um estudo de WALLS (1991) sobre uma licitação de projetos "offshore" pela BP Exploration Inc., soube-se que a companhia analisou 60 oportunidades de investimentos com variados graus de risco e que todas as 60 alternativas de investimentos tinham VME positivo. Devido à limitação de capital, a firma decidiu apresentar proposta (lance) em somente 48 dos 60 blocos e, dos 48, elegeu para reter 100% de participação em somente 8 desses. A análise dos dados sugeriu que o parâmetro de risco usado pela firma, c , em uma função-utilidade exponencial, foi aproximadamente 0.033×10^{-6} , ou um nível de tolerância ao risco de \$ 33 milhões. O orçamento da exploração da firma nessa época foi aproximadamente \$200 milhões.

b) Um estudo empírico feito por WALLS e DYER (1992) utilizou o modelo da teoria da preferência para medir o coeficiente de aversão ao risco aplicado nas 50 maiores companhias de petróleo no período de 1981 a 1990. Esse modelo reconstruiu cada alocação de parte do orçamento anual da área de exploração das firmas, nos diversos empreendimentos de exploração de risco. Baseado no montante que cada firma estava disposta a pagar para participar desses empreendimentos de risco, estimou-se um coeficiente de aversão de risco(c) para cada firma, em cada ano. Os autores descobriram que existe uma significativa relação positiva entre o tamanho da firma e a tolerância ao risco da corporação($1/c$). Em outras palavras, em termos absolutos, quanto maior a firma, maior o seu valor de tolerância ao risco. A tabela 3.3, apresentada no trabalho de WALLS e DYER(1992) mostra o nível de tolerância ao risco para o período de 1983-1990 para as 25 maiores companhias de petróleo nos EUA. A motivação dos autores para esse estudo foi identificar o nível apropriado de tolerância ao risco, dado um

exploração. O estudo sugere que há uma política ótima de risco para um dado tamanho de firma. A importante implicação prevista é que é possível estimar um coeficiente apropriado de aversão ao risco(c), uma vez que se conheça o tamanho da firma.

Tabela 3.3 Medida de Tolerância ao risco: uma visão da propensão ao risco da competição industrial.

NÍVEL DE TOLERÂNCIA AO RISCO (1/C) 1983-1990 PARA AS 25 MAIORES COMPANHIAS AMERICANAS (baseado no ativo total de E & P em 1990)									
	1990	1989	1988	1987	1986	1985	1984	1983	Ativos da E & P (1990) (\$milhões)
Exxon	24.9	18.9	20.8	16.5	16.8	16.1	18.0	19.4	69 781
Chevron	17.4	23.8	16.9	11.5	11.3	13.8	10.7	156.5	29 193
Texaco	22.7	281.3	10.9	12.0	12.4	10.2	15.7	10.2	19 710
Mobil	61.6	13.0	12.8	8.0	6.4	5.4	6.1	6.3	17 218
Amoco	5.3	12.9	25.2	17.5	9.1	13.3	35.2	26.5	16 977
Shell Oil	85.4	62.7	64.4	37.5	34.3	43.4	44.8	58.1	14 585
USX Corp.O&G Unit	8.6	6.5	6.7	6.4	6.2	4.7	7.6	10.2	11 332
ARCO	31.0	29.0	24.5	26.4	28.3	22.7	24.3	33.7	11 146
Amerada Hess	497.8	21.6	8.9	7.3	9.1	11.9	11.8	19.3	9 057
Conoco	55.7	40.8	37.7	37.8	33.8	37.3	38.0	40.0	6 732
Oryx Energy	29.3	18.4	12.8	10.0	10.7	N/A	N/A	N/A	5 252
Unocal	38.2	25.8	21.4	20.2	N/A	N/A	N/A	N/A	4 852
Occidental Petroleum	32.5	29.4	26.5	23.7	19.6	25.6	26.1	42.4	4 813
Phillips Petroleum	18.4	21.0	34.1	27.4	21.4	19.1	19.8	22.6	4 277
Burlington Resources	2.3	7.4	3.6	3.0	3.4	4.0	3.7	2.2	3 441
Consolidated Nat. Gas	1.3	1.3	1.3	5.9	8.9	5.5	4.8	6.6	2 899
Union Pacific Resources	15.5	15.2	N/A	N/A	15.9	13.0	19.2	19.6	1 880
Anadarko Petroleum	12.8	8.0	7.4	7.1	9.2	8.6	12.2	N/A	1 647
Union Texas Petroleum	10.6	13.2	12.1	10.9	14.3	9.6	12.3	72.5	1 554
Freeport McMoRan	5.6	4.2	5.0	N/A	8.9	11.8	23.7	11.6	1 547
Kerr-McGee	13.2	19.5	N/A	8.9	12.0	27.6	6.6	N/A	1 426
Enron	1.5	1.3	1.9	1.5	1.6	5.3	2.1	3.2	1 379
Pennzoil	4.5	2.8	8.3	N/A	N/A	2.5	2.5	2.4	1 342
Enserch	N/A	N/A	16.5	15.2	16.9	15.9	14.7	13.0	1 246
Maxus Energy	N/A	N/A	9.4	16.6	17.0	11.7	10.0	18.7	1 158

Fonte WALLS & Dyer(1992).

Como visto anteriormente, a tolerância ao risco financeiro depende do capital da firma e da disposição do gerente de correr risco. Entretanto, verifica-se na tabela 3.3 que a tolerância ao risco decorre mais da cultura da empresa do que do valor concreto do ativo de E & P. A EXXON, tradicionalmente muito conservadora em suas iniciativas industriais, com um ativo da E & P mais de 16 vezes superior àquele da Phillips, exibe uma tolerância ao risco menor do que

esta. Paralelamente, entre as empresas com ativo da E & P menor que 3 bilhões, não é raro encontrar tolerância ao risco semelhantes às das maiores.

c) Descobertas gerais num grupo de 18 companhias integradas e independentes de petróleo, sugerem uma regra simples, relacionando a tolerância ao risco da firma com o seu nível de orçamento anual. Essas descobertas indicam que, como primeira aproximação, o valor da tolerância ao risco de uma firma é igual a 1/4 do orçamento anual de exploração da firma. Por exemplo, uma firma com um orçamento de exploração anual de 40 milhões teria um nível de tolerância ao risco de aproximadamente igual a 0.10×10^{-6} . Entretanto, deve-se notar que essa regra representa somente um ponto para começar a avaliar o coeficiente de aversão ao risco da firma individual. Seria fácil imaginar duas firmas com orçamentos anuais de exploração idênticos que podem ter níveis de aversão ao risco significativamente diferentes. Essas diferenças são motivadas por um número de fatores incluindo filosofia gerencial da exploração, política de risco da corporação, contribuição da unidade de negócio exploração para o portfólio da mesma, etc.

2º) Um outro método, apresentado por WALLS, para avaliar a medida de tolerância ao risco das firmas de petróleo, é o questionário específico da indústria. O tomador de decisão é questionado para decidir sobre 5 oportunidades de investimentos (Investimentos em perfuração) como parte de suas considerações sobre o orçamento anual. O tomador de decisão deve fazer uma escolha entre seis discretas opções de participação com amplitude variando entre 0% a 100%. Pedese então para ele escolher o nível de participação que sua companhia prefere. Com base na escolha de participação do tomador de decisão para cada uma das oportunidades de investimento de risco oferecido, um nível de tolerância ao risco da corporação pode ser aproximadamente calculado, usando-se uma função exponencial como a forma da função-utilidade da firma.

Exemplo: Ofereceram à sua firma perfurar um poço. Os parâmetros são os seguintes: Chance de sucesso 50%, VPL_1 de sucesso = \$ 13 milhões, VPL_2 de insucesso = \$ -4 milhões. Assim, escolha sua participação: 100%, 75%, 50%, 25%, 12,5%, 0%.

A aversão ao risco pode ser expressa pela escolha do nível de participação num projeto (Equação 3.8, veja demonstração no anexo A).

$$c = \frac{\ln\left(\frac{-pVPL_1}{(1-p)VPL_2}\right)}{N. Part * (VPL_1 - VPL_2)} \quad (3.8)$$

Se sua seleção foi:

100%	seu nível de aversão ao risco é de	0,000693
75%	" " " " " " " "	0,000924
50%	" " " " " " " "	0,001387
25%	" " " " " " " "	0,002773
12,5%	" " " " " " " "	0,005547
0%	" " " " " " " "	>> 1

3º.) O terceiro método apresentado por WALLS é baseado na quantificação do nível de aversão ao risco de uma firma em função do seu equivalente certo para vários projetos. Para isso, usa-se um questionário a ser respondido pelos gerentes sobre o preço de venda dos projetos de exploração.

A relação entre o valor do equivalente certo (EqC) e o valor monetário esperado (VME) é acompanhada pela medida de aversão ao risco c , exibido pela firma (Equação 3.9, ver anexo A).

$$\text{EqC} = -1/c \ln [p e^{-cVPL_1} + (1-p) e^{-cVPL_2}] \quad (3.9)$$

Exemplo: Considere o caso de apenas um poço, com probabilidade de sucesso de 50%; O valor presente líquido de sucesso é igual a \$10 MM; e o custo do poço seco = \$ 2 MM.

$$\text{Valor monetário esperado} = 0.5 * 10 + 0.5 * (-2) = \$ 4 \text{ MM}$$

Como exemplo, assuma que a firma A venderia por \$ 2 MM (EqC_A), e a firma B venderia por \$ 3 MM (EqC_B).

O preço que a firma prefere vender e não perfurar representa aquele ponto de indiferença da firma (Equivalente certo) entre o valor certo (venda) e um outro mais lucrativo, mas um jogo arriscado(perfurar).

Usando os valores do equivalente certo (\$ 2 MM para a firma A e \$ 3 MM para a firma B) e resolvendo a equação (3.9), tem-se:

Firma A tem um nível de aversão ao risco de 0,1203 e,

Firma B tem um nível de aversão ao risco de 0,0566

Não existe um nível certo ou um errado de aversão ao risco. O propósito, nesse trabalho, é estabelecer o nível de risco que uma firma está preparada para assumir, e aplicá-lo consistentemente, de prospecto para prospecto.

Avanços introduzidos neste trabalho

Nesse trabalho, apresenta-se um método para facilitar a determinação do coeficiente de aversão ao risco pelo gerente de exploração, expondo em um gráfico toda a carteira de projetos da firma versus o nível de tolerância ao risco requerido para cada projeto para que a participação ótima seja de 100% (Figura 3.10).

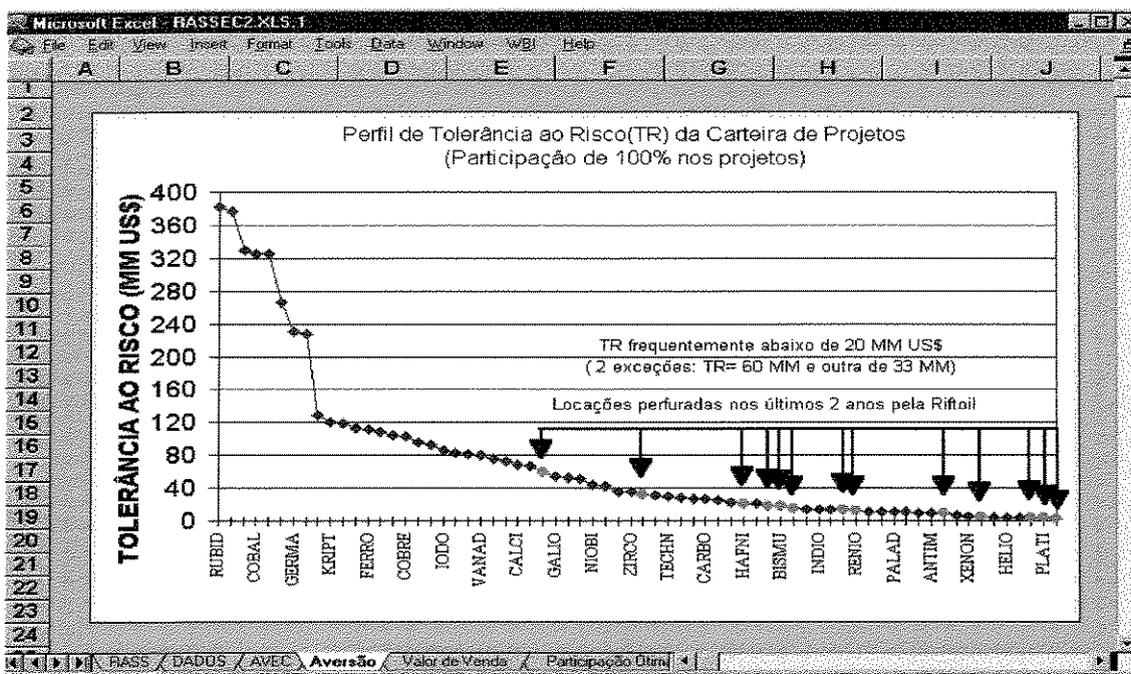


Figura 3.10. Tolerância ao risco de cada um dos projetos da carteira de projetos necessária para uma participação ótima de 100%.

Sobre esse gráfico, o gerente de exploração poderá definir quais os projetos que ele gostaria de participar com 100%. Quando esses projetos estiverem definidos automaticamente, o nível de participação ótima em cada projeto será determinado.

O segundo ponto explorado neste trabalho é que ao invés de entrar com dados de melhor estimativa, entra-se com uma curva de distribuição probabilística do VPL e/ou curva de distribuição da probabilidade de sucesso, e/ou curva de distribuição de custos, ou ainda com curvas de distribuição probabilística dos parâmetros que determinam cada uma dessas distribuições. Por exemplo, os parâmetros que determinam o VPL como custo operacional, receita, investimentos, etc. (Figura 3.11).

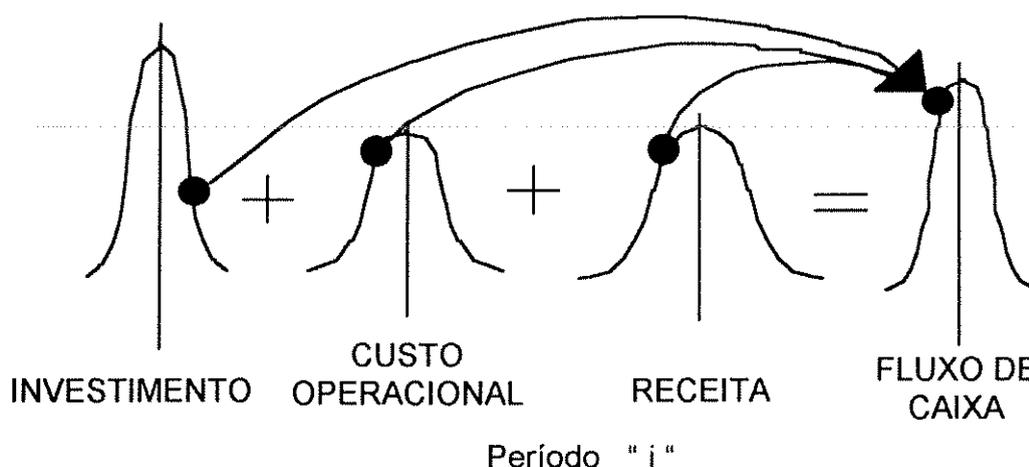


Figura 3.11. Simulação de Monte Carlo

Esses cálculos de simulações das curvas de distribuição resultante são feitos com o auxílio do programa @Risk[®] da Palisade, desenvolvido dentro do Excel[®] que executa várias operações matemáticas de distribuições, usando simulação de Monte Carlo para gerar uma distribuição de saída.

Para usar esses dados, construiu-se uma árvore de decisão, fazendo-se a discretização da curva de distribuição probabilística e usando um número de classes compatível com o tamanho dos campos de petróleo.

Com a árvore de decisão construída, usou-se toda a teoria descrita anteriormente, calculando-se o VME e o equivalente certo do projeto para os níveis de participação de 0% a 100%.

O estudo de caso, descrito na seção 5.3, ilustra a aplicação desse método para a determinação do nível ótimo de participação numa parceria em projetos de exploração de petróleo. Para familiarizar o leitor com esse método, será apresentado aqui um exemplo bem simplificado:

Problema:

Uma firma produz 1 milhão de barris de petróleo, a um custo unitário total de R\$20, incluindo impostos, custo operacional, custo de capital, etc. O preço de venda varia entre 19 e 23 R\$, com distribuição de probabilidade triangular, (Triang(mín, moda, máx)). Qual o nível ótimo de participação financeira nesse projeto, sabendo que a firma tem um capital de US\$ 1.5 milhões?

Solução:

1) Dados do Problema:

Custo	US\$ 20
Preço de Venda	Triang(19,21,23)
Produção	1000000 bbl
Lucro:	=Produção* preço de venda - Produção * custo

2) Inicialmente usou-se o programa @Risk para computar o lucro líquido:

$$\text{Lucro (L)} = \text{Preço de Venda} * \text{Quantidade} - \text{Custo} * \text{Quantidade}$$

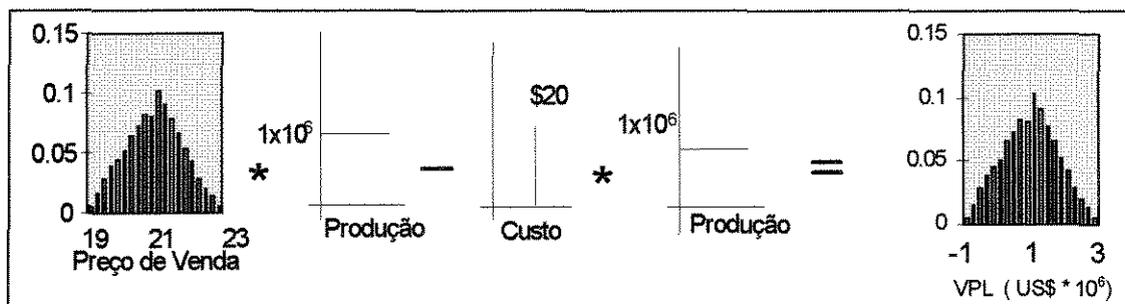


Figura 3.12. O programa @Risk faz operações matemáticas, multiplicação, divisão, soma e subtração de distribuições probabilísticas.

Ou seja, simulou-se a distribuição probabilística do resultado financeiro (Figura 3.13).

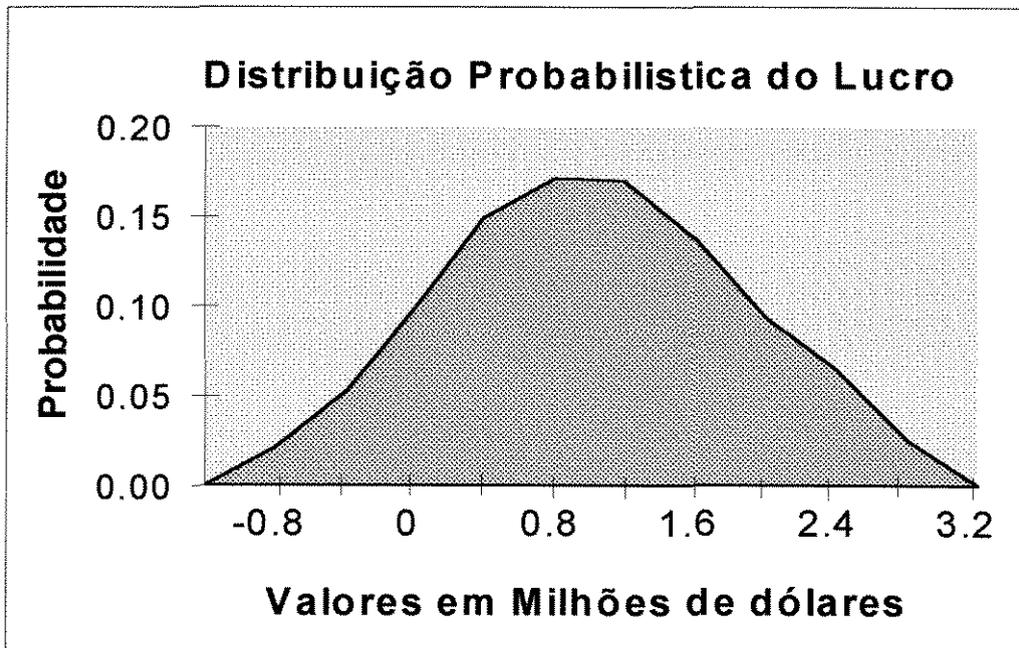


Figura 3.13: Distribuição probabilística dos lucros do projeto, calculada através da simulação de Monte Carlo (aplicação do programa @Risk da Palisade).

3) Dividiu-se essa distribuição probabilística dos lucros em 10 classes (Figura 3.14), a fim de construir uma árvore de decisão que colocasse o problema de uma maneira mais explícita para o tomador de decisão (Figura 3.15).

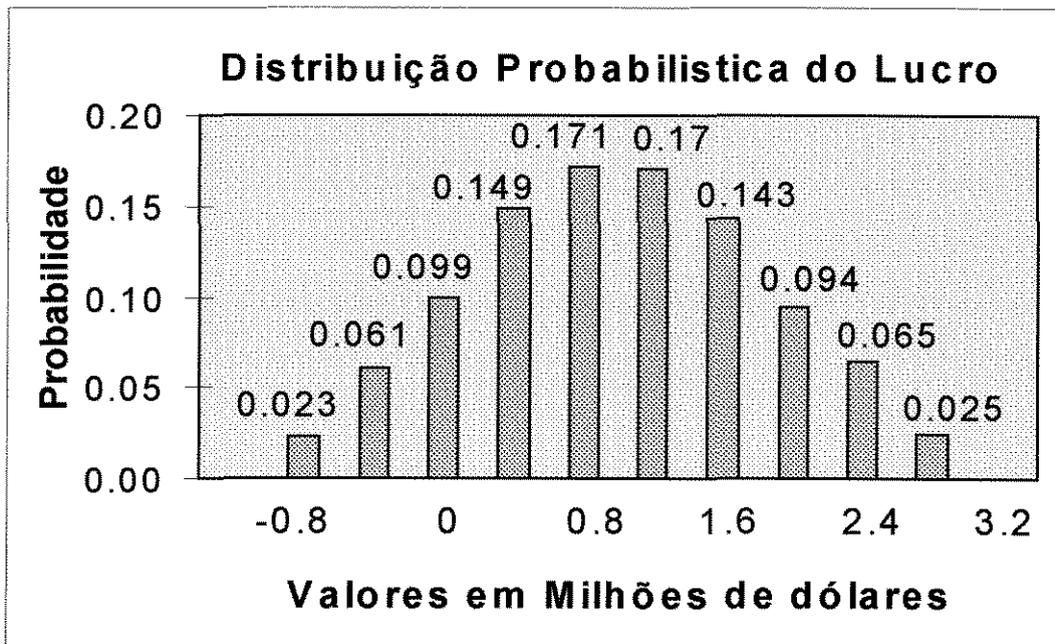


Figura 3.14: Distribuição probabilística discreta da Figura 3.13, amostrada em 10 classes.

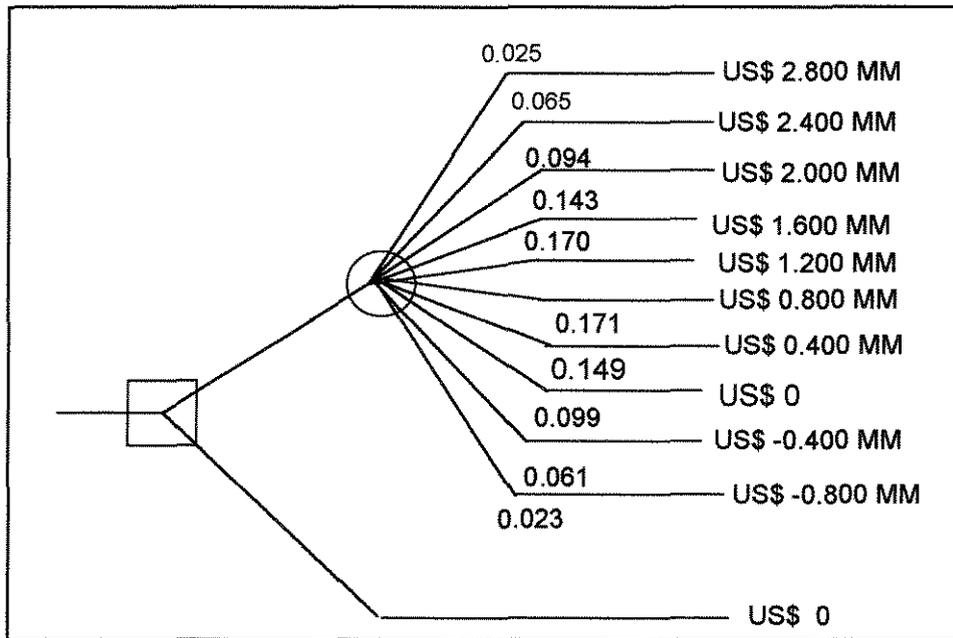


Figura 3.15: Árvore de decisão da Figura 3.14, mostrando a distribuição probabilística para os vários possíveis resultados.

4) Calculou-se o valor monetário esperado(VME):

$$VME = \sum_{i=1}^{n=no.declasses} p_i * L_i \quad (3.10)$$

em que, p = Probabilidade de sucesso e L_i = Lucro

Tabela 3.4 : Valor monetário esperado do projeto da figura 3.15.

p_i	VPL_i US\$ * 10^6	$p_i L_i$ US\$ * 10^6
0.025	2.8	0.070
0.065	2.4	0.156
0.094	2.0	0.188
0.143	1.6	0.228
0.170	1.2	0.204
0.171	0.8	0.137
0.149	0.4	0.060
0.099	0.0	0.000
0.061	-0.4	-0.024
0.023	-0.8	-0.018
		VME 1.000

Portanto o valor monetário desse projeto é VME= US\$ 1.0 Milhão (Tabela 3.4). Isso significa que se a firma participasse de vários projetos como esse, ganharia em média 1 milhão de dólares por projeto. Esse é o significado do VME.

5) Aplicação da teoria da preferência.

Três passos são importantes: (1) definição da função-utilidade a ser empregada, (2) determinação do coeficiente de aversão ao risco da firma e, (3) o cálculo do equivalente certo para diferentes níveis de participação financeira no projeto.

Normalmente, o comportamento das pessoas frente ao risco financeiro depende da quantidade de dinheiro(capital) que elas têm, e pode ser bem representado por uma função exponencial do tipo $U(X) = -e^{-cx}$, em que (c) é o coeficiente de aversão ao risco da pessoa ou da firma e (x) é o valor monetário.

Para esse exemplo, supõe-se que a tolerância ao risco dessa firma seja de 1/4 do seu capital. Tolerância ao risco é o inverso da aversão ao risco. Assim, assume-se que a tolerância ao risco seja de $1.5/4 = \text{US\$ } 0.375$ milhões, ou seja, o índice de aversão ao risco dessa firma é de 2.667. Obs.: Esse valor de aversão é determinado para valores de projetos em milhões de dólares. O fator escala é importante.

Assim, calculou-se o equivalente certo desse projeto para os vários níveis de participação de 0 a 100% e encontrou-se o nível de participação que maximiza o equivalente certo (Equação 3.11).

$$EqC = -\frac{1}{c} LN\left(\sum_{i=1}^{n=n.classes} p_i e^{-cl_i} \right) \quad (3.11)$$

A participação ótima dessa firma que tem um capital de US\$ 1.5 milhões e um coeficiente de aversão de 2,667 nesse projeto é de 63%, ou seja, essa é a participação que maximiza o equivalente certo do projeto (EqC = US\$ 0.29 MM).

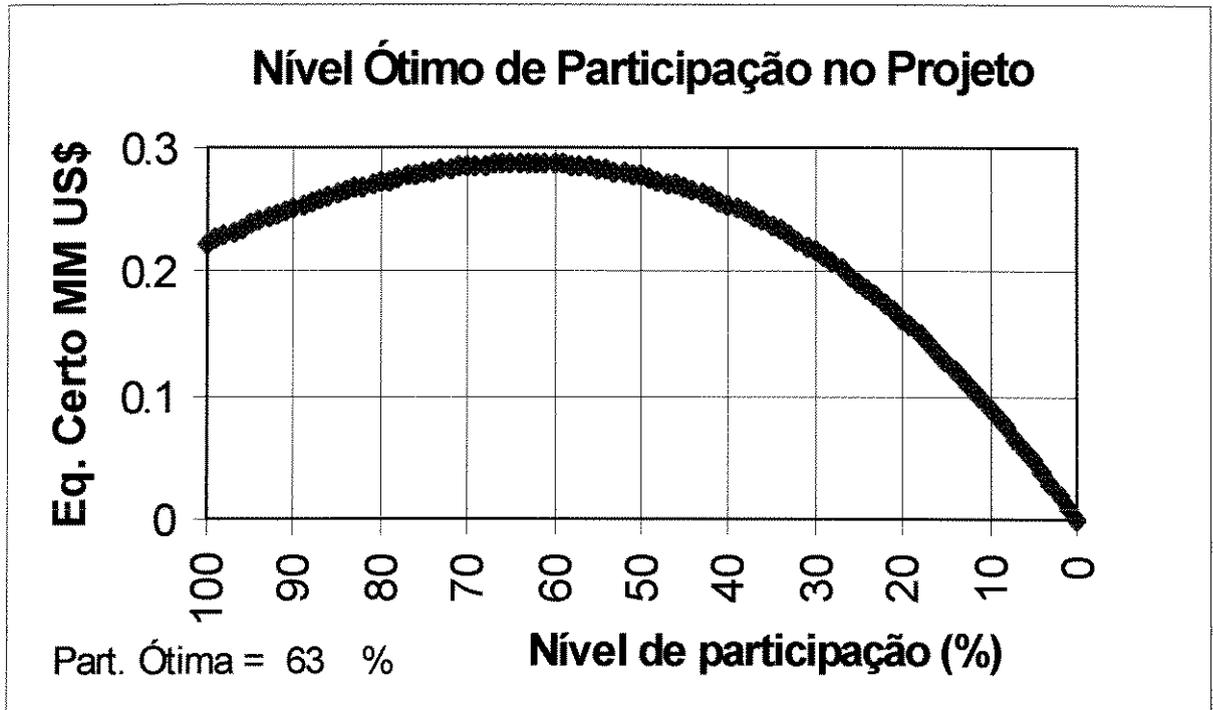


Figura 3.16. Nível ótimo de participação em um projeto de risco

CAPÍTULO 4: FUNÇÃO-UTILIDADE MULTI-ATRIBUTOS

A visão exposta neste capítulo é a do usuário, portanto todo o formalismo matemático será o mínimo possível para não sobrecarregar o texto que, preferencialmente, poderá ser utilizado por gerentes de exploração, envolvidos em tomada de decisão e que estejam interessados em soluções operacionais práticas.

Inicialmente, serão descritos alguns conceitos, definições e procedimentos em tomada de decisão com múltiplos critérios sob certeza (BAIRD,1989). Depois, descrever-se-á a tomada de decisão sob incerteza, utilizando funções de preferência ao risco apresentadas pelos tomadores de decisão, dando ênfase aos procedimentos de avaliação das funções-utilidade multi-atributos (KEENEY & RAIFFA,1976 e WALLS,1994a).

Em seguida, serão apresentados os procedimentos para a aplicação da teoria da utilidade multi-atributos usando um exemplo prático apresentado por KEENEY E RAIFFA(1976), que foi reapresentado por CLEMEN(1990) e se refere à avaliação de uma função-utilidade de um banco de sangue de um hospital. Todos esses procedimentos podem ser utilizados em exemplos práticos de exploração e produção de petróleo, como o exemplo da seção 5.4, em que se substituiu a falta e o vencimento do sangue por dois outros atributos: valor presente líquido(VPL) e risco político(RP).

Todos esses conceitos serão utilizados no estudo de caso usando função-utilidade multi-atributos(seção 5.4), visando à alocação de recursos financeiros em projetos exploratórios em diversos países, tendo como critérios dois atributos: rentabilidade do projeto e risco político de cada país onde se encontra o projeto.

4.1 Conceitos e Definições em Tomada de Decisão Múltiplos Critérios.

Uma importante parte da análise de decisão é o tratamento explícito da defesa. Quais são as bases, os pressupostos? Quais os objetivos (critérios)

específicos que devem ser incluídos e com que pesos para defender e vender o curso de ação recomendado? Quem tem o poder de aprovar ou desaprovar, e o que é importante para ele? Qual a faixa dos escores para cada critério?

4.1.1 Critérios, Pesos, Escores e Mecanismo de Premiação

Na classificação de uma carteira de projetos mais complexos não é possível reduzir todos os fatores a um simples e único valor monetário e julgar as propostas em termos matemáticos de custo ou lucro monetário esperado. Assim, vários critérios são especificados para decidir a classificação dos projetos. Quase sempre não é fácil reduzir esses critérios a valores monetários e, muitas vezes, tais critérios não podem ser expressos usando uma base comum, tornando-se difícil avaliá-los e compará-los.

De posse de todos os critérios(objetivos) definidos, o passo seguinte é a definição de um mecanismo de atribuição de escore. Como exemplo, pode-se dizer que cada critério toma valores entre 0 e 100 pontos. Zero significa que o atendimento ao critério foi totalmente insatisfatório. Um escore de 100 significa que o critério foi satisfeito completamente para o máximo grau possível.

O próximo passo é ponderar os critérios. Nesse item é inevitável a questão: "Qual é a ordem relativa de importância e de quanto? Então, pesos devem ser atribuídos a cada um dos critérios.

Além dos critérios, pesos e escores estabelecidos, é necessário estabelecer o mecanismo de premiação, por exemplo, escolhas de pessoas que julgarão as propostas, dando valores dentro da faixa estabelecida para os escores, ou seja, hierarquizando as propostas para cada critério estabelecido.

Daí, pode-se computar um escore ponderado total para cada projeto ou firma pelo somatório ou produtório das diversas parcelas da multiplicação de cada peso dos critérios pelos escores das firmas, dependendo se os objetivos são substitutos ou complementares. Tal assunto é discutido na seção 4.1.2.5.

Decisões complexas envolvem interesses conflitantes. Isso significa que cada passo no processo de premiação deve ser aberto e “racional” Esses passos são basicamente os mesmos para qualquer decisão envolvendo mais de um critério.

1. Definição do PROBLEMA. O que se quer?
2. Listagem das alternativas. Quais os projetos disponíveis?
3. Definição dos critérios. Quais os objetivos preliminares que devem ser usados como guias de decisão?
4. Quantificação dos pesos. Qual é a ordem relativa de importância dos vários critérios?
5. Avaliação de cada alternativa para cada critério. Com que grau cada possível curso de ação satisfaz cada objetivo?
6. Escolha de um curso de ação. Qual é a melhor alternativa?

4.1.2 Objetivos Conflitantes

A introdução de múltiplos critérios, mais do que a dificuldade de encontrar uma medida simples de efetividade, traz novos problemas significativos. Talvez seja útil caracterizar alguns desses problemas potenciais que ocorrem no tempo e no espaço. Esses novos itens são mais fáceis de compreender se apresentados em situações de certeza.

4.1.2.1 Definição do domínio

Em situações complexas, o tomador de decisão deve explicitar um conjunto finito de objetivos e ponderá-los, sabendo que vários novos problemas poderão surgir.

O termo sub-otimização usualmente refere-se à otimização de uma parte do sistema, o que não significa otimizar o sistema inteiro. O que é bom para um departamento não é necessariamente bom para a firma inteira. O que é melhor agora não será necessariamente melhor no futuro.

Sub-otimização é o mais sério problema, tanto temporal quanto espacialmente. Um exemplo comumente apresentado é o seguinte: Um gerente de fábrica está constantemente enfrentando situações em que vários departamentos competem, reportando-se a um único administrador. Um gerente de produção quer poucas linhas padronizadas de produtos com longas corridas. O gerente financeiro deseja pequenos estoques e freqüentes corridas curtas de produção, de maneira que o custo de capital e outros custos financeiros sejam mínimos. O gerente de vendas deseja ter uma diversidade de produtos, com grandes estoques, de maneira que um pedido pode ser atendido imediatamente. Qualquer um desses conjuntos de objetivos está em conflito com os outros, e a extrema satisfação de qualquer um afetará a relação de aceitação da firma. O gerente de operação deve selecionar uma estratégia combinando todos esses pontos de vista contraditórios. Essa é a natureza das decisões dos administradores de topo.

De forma realista, não é possível otimizar um universo inteiro. Tomadores de decisão devem definir os limites de seus próprios sistemas, determinando objetivos(critérios), seus pesos e ordem de importância, estabelecendo como medir ou quantificá-los e escolher a ação para otimizar o mais amplamente possível.

4.1.2.2 Definição de Critérios (objetivos)

A determinação de critérios corresponde, provavelmente, ao mais difícil passo de todo o processo de decisão. Mas, por outro lado, a definição dos critérios(objetivos) é o passo mais importante nesse processo. Saber o que se quer e saber medir o grau de atendimento desse objetivo são pontos-chave no processo de tomada de decisão.

Medidas de efetividade devem ser usadas cuidadosamente como critérios para tomada de decisão. Alguém deve sempre levantar a questão: O que se quer realmente alcançar? É esse critério ou objetivo válido, ou é um falso objetivo adotado porque é fácil medir e está prontamente disponível?

Ilustra essa situação um exemplo descrito por BAIRD(1989) “durante a 2a. Guerra Mundial: um grande número de navios mercantes britânicos foram seriamente danificados ou afundados pelos ataques aéreos do inimigo no Mediterrâneo. A contra-medida óbvia foi equipar os navios com equipamentos antiaéreos e pessoal adequado. Por causa dos custos envolvidos e porque os equipamentos antiaéreos tinham grande demanda em outros lugares, nenhum navio foi modificado. Observou-se que, devido ao curto treinamento do pessoal, com poucas oportunidades de desenvolver grande proficiência, poucos aviões inimigos foram derrubados pela frota mercante. Pensou-se então em remover as equipes e equipamentos para outra função mais eficiente, de modo a atender às demandas de algumas unidades de combate. As armas e as equipes eram tão imprecisas que, muito embora as equipes mercantes se sentissem mais seguras, o alto comando britânico decidiu removê-las, baseando-se no critério de “percentagem de derrubada de aviões inimigos”, uma óbvia e melhor medida de efetividade das armas antiaéreas.

Entretanto, antes que a ação fosse tomada, dados operacionais foram analisados para estabelecer a questão de usos alternativos de recursos escassos. Os dados mostraram que somente 4% dos ataques resultaram em uma derrubada de avião inimigo, um resultado muito pobre comparado com outras aplicações de equipes e equipamentos similares. Por outro lado, tornou-se óbvio que derrubada de aviões não era o próprio objetivo. A partir dos dados mostrados na Tabela 4.1, surgiu um outro fato crítico. A contra-medida era colocar as armas para proteger o navio, e não derrubar o avião inimigo. A medida apropriada de efetividade deveria ter sido se o navio era menos freqüentemente danificado ou afundado, se ele possuía e utilizava o equipamento relativo à sobrevivência, comparada com o dano causado nos navios que não tinham equipamento antiaéreo ou não o utilizaram. O fogo antiaéreo afeta suficientemente a acurácia dos ataques de aviões, reduzindo a chance de danos sérios ou afundamento dos navios? Na Tabela 4.1, verifica-se que a percentagem de navios atingidos (8 versus 13) e a percentagem de navios afundados (10 versus 25) é significativamente menor quando equipamentos antiaéreos são usados. Então, é óbvio que a instalação e o uso

de uma contra-medida faz aumentar a chance de sobrevivência, a despeito da relativa imprecisão do fogo e a baixa proporção de aviões derrubados. Foi o suficiente para que o alto comando deixasse os equipamentos e equipes intactos.

TABELA 4.1 Danos aos Navios Mercantes sob Ataque Aéreo.
AA - Equipamentos Anti-Aéreos
Fonte: MORSE & KIMBALL(1951) apud BAIRD(1989)

	Utilizou AA	Não utilizou AA
Bombas lançadas	632	304
Bombas que acertaram o alvo	50	39
Percentagem de acertos	8	13
Navios atacados	155	71
Navios afundados	16	18
Percentagem de afundamento	10	25

O exemplo precedente é significativo para apontar a importância de explicitar cuidadosamente os critérios para tomada de decisões sob incerteza.

4.1.2.3 Determinação dos pesos

Em muitas decisões complexas, é útil a hierarquização dos critérios de decisão dentro de relativa ordem de importância. KEPNER e TREGOE(1965) sugerem que objetivos sejam classificados como: necessários, desejáveis e ignoráveis. Isso equivale a colocar pesos numéricos sobre os critérios de uma forma menos estruturada.

Os critérios necessários definem as restrições que são invioláveis. Alguns objetivos são tão críticos na mente do tomador de decisão que qualquer estratégia que não os privilegie é imediatamente inadmissível. Essas opções são removidas da análise logo no início. Isso torna a busca da estratégia ótima muito mais eficiente, pela restrição (limitação) do conjunto de possibilidades para análise.

Depois que os critérios necessários foram considerados, limitando-se o conjunto de alternativas, é possível ordenar os critérios desejáveis para uma relativa hierarquização das alternativas. Para os critérios desejáveis, é possível estimar os prós e contras, vantagens e desvantagens, para maior refinamento da pesquisa.

Os critérios ignoráveis são aqueles de menor importância e seguramente ignoráveis. A atenção é então voltada para os necessários e desejáveis. Um executivo de sucesso sempre tem mais coisas para fazer do que tempo para fazê-las. O tempo deve ser alocado para os objetivos necessários e depois para os desejáveis, mas nunca para os ignoráveis.

Uma vez que os objetivos tenham sido classificados dentro da trilogia mencionada acima, o problema de estabelecimento de pesos ainda permanece. Desejos não são usualmente iguais em importância. Os necessários e ignoráveis são conjuntos à parte. A determinação dos pesos para esses objetivos é desnecessária. A seguir, os desejáveis são ordenados quanto à importância, considerando a relativa urgência de cada um. Que critério seria escolhido se fosse permitido selecionar somente um? Se foi possível eliminar um, qual seria ignorado primeiro? Se um fosse violado maliciosamente, quanto estrago seria feito? Por que?

4.1.2.4 Fator escala

De posse dos critérios nomeados e ordenados, os mesmos devem ser colocados dentro de uma escala. Vários métodos estão disponíveis para quantificação relativa de magnitudes. O método escolhido, a escala usada, e se a escala é direta (quanto maior o número, maior a importância do critério) ou inversa (quanto maior o número, menor a importância do critério) são todas escolhas arbitrárias a serem feitas pelo tomador de decisão.

Um exemplo de técnica de escalonamento está mostrado na Figura 4.1. A escala direta escolhida para os critérios tem uma faixa de 0 a 10.

O critério mais importante deve ser colocado em algum ponto na escala. Assuma-se que esse ponto esteja no topo da escala, com valor 10. O segundo critério é então colocado na escala, no ponto correspondente à sua importância relativa equivalente ao critério mais importante. No exemplo, sendo o segundo critério correspondente a aproximadamente metade do valor crítico do critério mais importante, seu peso apropriado seria 5. Esse procedimento é repetido até

que todos os critérios tenham sido relativamente escalonados em relação ao critério mais importante. Atribuiu-se um peso 2 ao 3º critério nessa escala arbitrária.

Os pesos agora podem ser ajustados, expressando-se em termos de razões de importância relativa ao mais importante (Tabela 4.2). Se o tomador de decisão escolhesse não ajustar os pesos e usá-los como escalados (10,5,2), isso também seria aceitável.

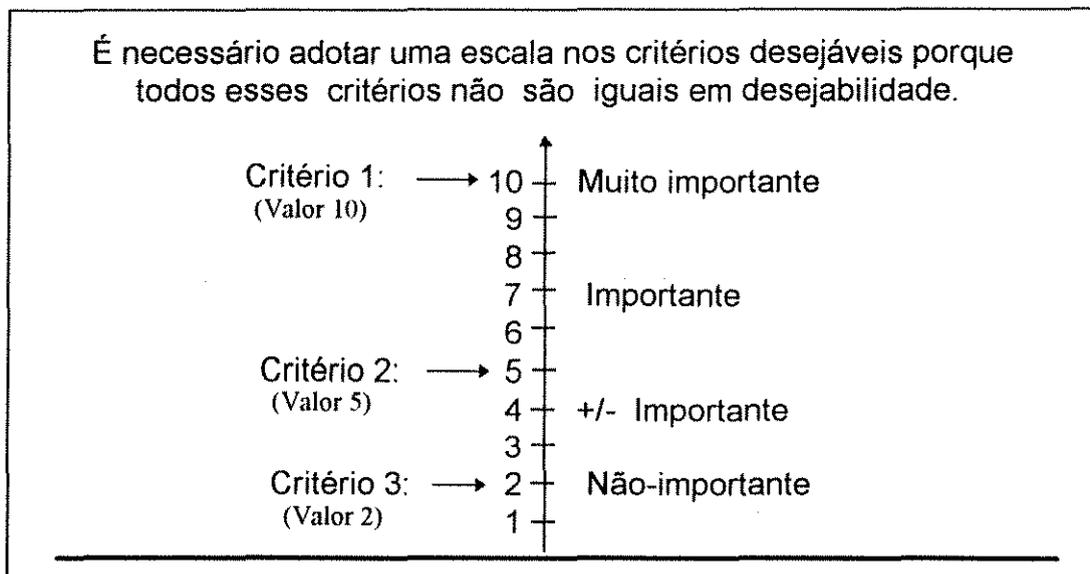


Figura 4.1. Escala dos pesos dos critérios desejáveis.

Tabela 4.2. Ajuste dos pesos

Critério	Classe relativa	Valor escalado	Valor Ajustado
1	Mais importante	10	10/10 = 1.0
2	Importância média	5	5/10 = 0.5
3	Menos importante	2	2/10 = 0.2

Os pesos podem também ser "normalizados" através de procedimento que converte os pesos em uma fração que representa a proporção que é designada para cada critério singular. Suponha que os pesos de todos os critérios foram somados e então cada peso individual foi dividido por essa soma. Matematicamente, o peso normalizado W_i para o i -ésimo critério será dado por:

$$W_i = \frac{\text{Peso individual para o } i\text{-ésimo critério}}{\sum \text{dos pesos de todos os critérios individuais}} \quad (4.1)$$

Talvez a normalização facilite a compreensão da intensidade de ênfase sobre cada critério. É possível ter os pesos normalizados como frações de percentagens; então 25% da decisão repousará no critério 1, 25% no critério 2, 20% no critério 3, etc.

4.1.2.5 Modelos Aditivos e/ou Multiplicativos

Muitas vezes, os múltiplos critérios (objetivos) interagem uns com os outros, podendo também ocorrer substituição ou complementação entre os mesmos.

Os critérios em que um pode ser substituído no todo ou parcialmente pelo outro são chamados de substitutos e o resultado é alcançado por uma operação aditiva. Outras vezes, eles são complementares, e a presença de todos é importante. A ausência de apenas um deles pode comprometer totalmente o resultado. Tais critérios são chamados complementares e o resultado é alcançado normalmente por uma operação multiplicativa.

Assume-se que os julgamentos desses critérios são independentes um dos outros, ou seja, a escolha preferencial do valor do critério é independente dos valores dos outros critérios e que também existe independência de utilidade. Esse item será discutido na seção 4.2.

Grandes debates desenvolvem-se correntemente entre especialistas em teoria da decisão quando esses itens sobre modelos se levantam: Como se determina qual é o modelo apropriado em um problema particular (adição ou multiplicação)? O modelo aditivo é mais simples e portanto mais fácil de entender e usar. Mas o que fazer se ele não é apropriado? Se um modelo aditivo for usado ao invés de um modelo multiplicativo, introduziu-se então um erro de modelagem. O "tradeoff" é simplicidade versus erro de modelagem. Aos leitores interessados nesse assunto recomenda-se o trabalho de KEENEY & RAIFFA(1976).

4.2 Procedimentos de Avaliação para Funções-utilidade Multi-Atributos

A teoria da utilidade multi-atributos normalmente presume um único tomador de decisão que faz a escolha entre um número de alternativas que ele avalia com base em dois ou mais critérios ou atributos. As alternativas envolvem riscos e incertezas e podem requerer ações em diferentes tempos. O tomador de decisão age para maximizar uma função-utilidade que depende dos critérios e atributos.

Apresenta-se na seção 5.4 uma aplicação passo a passo do modelo da teoria da utilidade multi-atributos que inclui a avaliação das alternativas de alocação de capital, levando em conta as atitudes em relação ao risco do tomador de decisão usando dois atributos: valor monetário do projeto e risco político do país onde se realiza o investimento.

O objetivo dessa tese é a aplicação prática da teoria da utilidade multi-atributos em projetos reais de exploração de petróleo. Por isso descrever-se-á aqui uma das seqüências mais usadas para avaliação de uma função-utilidade multi-atributos. (KEENEY & RAIFFA(1976) e CLEMEN(1990).

Embora a discussão nesse trabalho enfoque somente a função-utilidade com dois atributos, os conceitos básicos são relevantes para todas as funções-utilidade multi-atributos. As idéias são prontamente estendidas para mais atributos. No final desse capítulo, serão abordados alguns detalhes da função-utilidade multi variada para 3 ou mais atributos.

Suponha que o problema de decisão seja estruturado e dois atributos X e Y sejam especificados, sendo adequados para descrever as conseqüências.

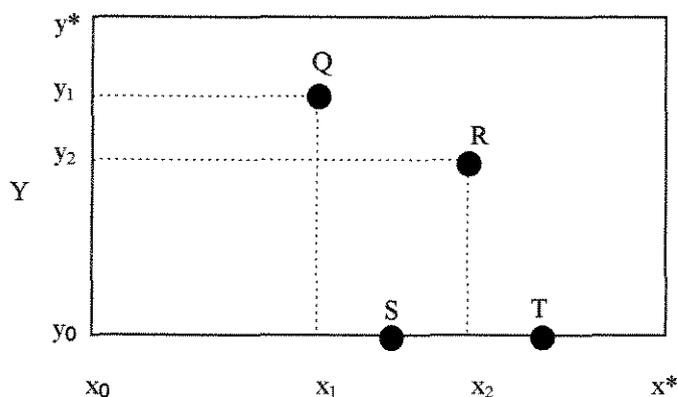


Figura. 4.2: Um espaço conseqüência de dois atributos

Deve-se, então, avaliar uma função-utilidade sobre todas as possíveis conseqüências (x,y) . Um espaço conseqüência poderia ser ilustrado como na Figura 4.2, que é uma ajuda gráfica para o tomador de decisão.

Antes que quaisquer avaliações sejam feitas, deve ficar claro para o tomador de decisão que há interesse em conhecer suas preferências. Deve-se entender que não existem objetivamente preferências corretas ou incorretas e que a importância das preferências está em representar os sentimentos subjetivos do tomador de decisão. Esse é um dos propósitos de uma análise de utilidade, ou seja, ajudar o tomador de decisão a pensar seriamente sobre suas preferências e esperanças, explicitando-as diretamente.

Deve o analista certificar-se de que o tomador de decisão entende as representações do espaço conseqüência da Figura 4.2. O ponto Q significa uma conseqüência onde $x=x_1$ e $y=y_1$. Então, pode-se perguntar qual é o significado da conseqüência R. A resposta é $x = x_2$ e $y = y_2$. O tomador de decisão deve visualizar as direções nas quais x e y crescem na Figura 4.2.

O próximo passo será limitar a região útil sobre a qual deve-se avaliar as preferências para uma região tão pequena quanto possível. A partir do envolvimento do tomador de decisão com a estruturação do problema, sabe-se os valores de máximo e de mínimo que ambos x e y podem assumir. Daí escolher-se-ia x_0 e x^* , y_0 , e y^* respectivamente, de tal maneira que para todo par (x,y) possível, $x_0 \leq x \leq x^*$ e $y_0 \leq y \leq y^*$.

Os valores devem ser escolhidos para conveniência e significação do tomador de decisão. Por exemplo, se x varia de 0 a 8.75 nas unidades específicas, pode-se definir $x_0 = 0$ e $x^* = 10$. Um valor $x^* = 10,000$, por exemplo, provavelmente teria pouco significado para o tomador de decisão. As preferências que eventualmente serão avaliadas deverão somente ser aquelas para conseqüências (x,y) com $x_0 \leq x \leq x^*$ e $y_0 \leq y \leq y^*$.

4.2.1 Avaliação Direta da Função-utilidade Multi-atributos.

Segundo CLEMEN (1990), a função-utilidade multi-atributos para dois atributos poderia ser encontrada através de uma entrevista com o tomador de decisão, usando um jogo de referência conforme descrito abaixo:

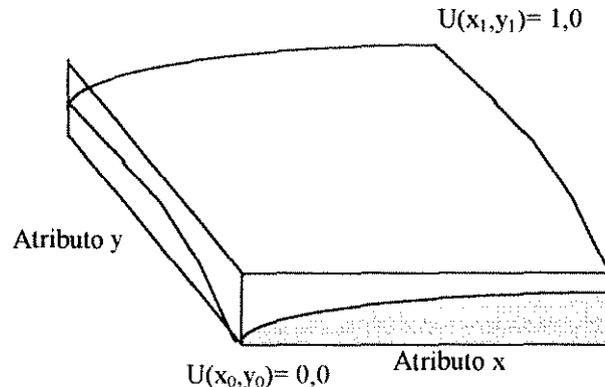


Figura 4.3. Superfície de utilidade para dois atributos ($U(x,y) = f(U(x), U(y))$)

Para avaliar uma função-utilidade como a da Figura 4.3, pode-se usar o mesmo "método" básico já utilizado no capítulo 3. Por exemplo, considere-se o jogo referência apropriado que tem o pior par (x_0, y_0) e o melhor par (x_1, y_1) como os resultados possíveis.

Ganha (x_1, y_1) com probabilidade p

Ganha (x_0, y_0) com probabilidade $1-p$

Agora, para qualquer par (x,y) em que $x_0 \leq x \leq x_1$, e $y_0 \leq y \leq y_1$, achar a probabilidade p para usar no jogo referência que o fará indiferente entre (x,y) e o jogo referência. Como anteriormente, o tomador de decisão pode usar p como sua utilidade $U(x,y)$ porque $U(x_1, y_1) = 1$, e $U(x_0, y_0) = 0$. A Figura 4.4 mostra a árvore de decisão que representa a situação avaliada. Isso é simplesmente a probabilidade da técnica de avaliação-padrão da utilidade equivalente que foi usada anteriormente.

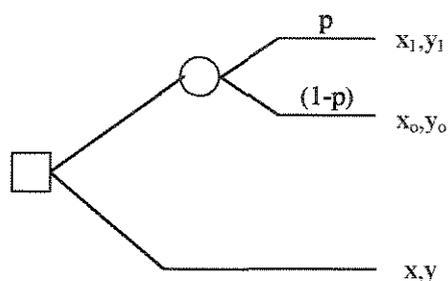


Figura 4.4. Avaliação direta de uma função-utilidade multi-atributos. A probabilidade que torna o tomador de decisão indiferente entre a loteria e a evento certo é o seu valor de utilidade para (x,y) .

O leitor pode ver que se chegará a muitos números de utilidades depois de fazer essa avaliação para um número razoável de pares (x,y) . Poderá haver vários pares com a mesma utilidade, e o tomador de decisão deve ser indiferente a eles. Dessa forma, pares (x,y) com as mesmas utilidades deverão cair sobre uma mesma curva de indiferença. Um método para entender suas preferências multi-atributos é simplesmente lançar esses pontos avaliados em um gráfico, como na Figura 4.5, e traçar suas curvas de indiferença.

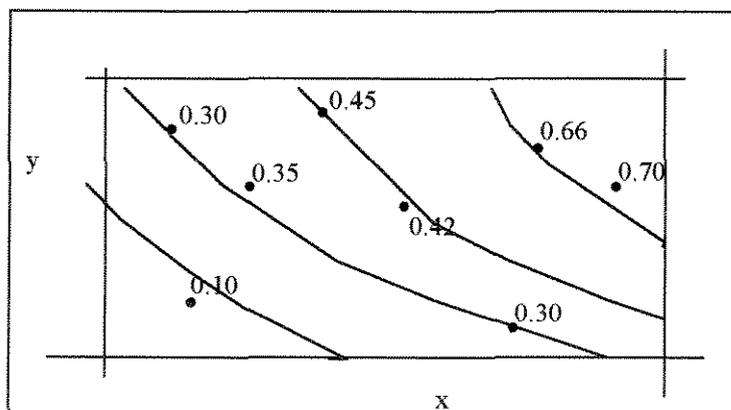


Figura 4.5: Curvas de iso-indiferença. Os pontos são os valores de utilidades avaliados para os correspondentes pares x,y .

A representação das preferências através da avaliação direta é complexa. Devem-se avaliar utilidades para um número substancial de pontos e, muito embora se possa ver diretamente como esse método pode ser estendido para 3 ou mais atributos, quanto mais atributos forem considerados, mais pontos devem ser avaliados, o que torna a representação gráfica mais complicada.

4.2.2 Determinação de uma Função de Preferência Multi-Atributos

Um outro método que facilitaria essa difícil avaliação descrita acima seria imaginar uma função-utilidade multi-atributos constituída de funções-utilidade individuais. Matematicamente, pode-se representar o caso mais geral como:

$$U(x,y) = f\{ U_x(x), U_y(y)\}$$

A notação $f(*,*)$ significa que $U(x,y)$ é uma função das funções-utilidade individuais $U_x(x)$ e $U_y(y)$. Claro, que se precisa de uma forma funcional específica, assim considera-se, nesse trabalho, uma função linear dada por:

$$U(x,y) = c_1 + c_2U_x(x) + c_3U_y(y) + c_4U_x(x)U_y(y) \quad (4.2)$$

A importância dessa formulação é que ela facilita grandemente a avaliação da função-utilidade multi-atributos; necessita-se apenas das funções-utilidade individuais e informações para colocá-las juntas. Essa maneira, algumas vezes, é chamada de "separabilidade", ou seja, a função-utilidade total pode ser "separada" em pedaços que representam diferentes atributos.

Esse arranjo é possível ? Sim, mas requer algumas condições para a função-utilidade combinada. Essas condições dizem respeito sobre a maneira em que as preferências interagem entre os atributos. Uma condição necessária para que se tenha esse tipo de separabilidade mencionada acima é a "mútua independência preferencial". A seguir, discutem-se brevemente essas condições.

Independência preferencial

Um atributo Y é considerado preferencialmente independente de X se preferências para resultados específicos de Y não dependerem do nível do atributo X. Por exemplo, considerando Y o prazo de realização de um projeto, e X seu custo. Se for preferível um prazo de 5 dias a um de 10 dias, assumindo que o custo é 100 em cada caso, e se também for preferível um prazo de projeto de 5 dias ao de 10 dias com custo de 200, então Y é preferencialmente

independente de X; não importa qual o custo, sempre será preferido o menor prazo de realização.

Observa-se a necessidade de mútua independência preferencial, dessa maneira é também necessário que o custo seja preferencialmente independente do tempo de realização. Preferindo-se menor custo, não importando qual o prazo de realização, então X é preferencialmente independente de Y. Pode-se assim dizer que os dois atributos são mútua e preferencialmente independentes.

Provavelmente, a mútua independência preferencial existe para muitas pessoas e muitas situações, ou que, no mínimo, é uma aproximação razoável.

Como indicado, a mútua independência preferencial entre resultados é necessária para obter separabilidade da função-utilidade multi-atributos. Infelizmente, isso não é uma condição suficientemente forte. Note-se que na discussão acima acerca da independência preferencial, nunca se mencionou a possibilidade de que os resultados possam ser incertos. A independência preferencial deve ser verificada com saídas que são certas. Entretanto, como se sabe, muitas decisões importantes envolvem incertezas.

Mútua Independência de Utilidades

Independência de utilidades é uma propriedade mais forte do que independência preferencial. Um atributo Y é considerado utilidade independente do atributo X se preferências para escolhas incertas envolvendo diferentes níveis de Y forem independentes dos valores de X. Por exemplo, pode-se imaginar a avaliação de um equivalente certo para uma loteria envolvendo somente saídas em Y. Se o valor de equivalente certo para a loteria Y é o mesmo, não importando qual o nível de X, então Y é utilidade independente de X. Se X também é utilidade independente de Y, então os dois atributos são mutuamente utilidades independentes.

Independência de utilidades, claramente, é análoga à independência preferencial, exceto que a avaliação é feita sob condições de incerteza. Para a avaliação do projeto do exemplo acima, admitindo-se que o equivalente certo para uma opção dada, diga-se, uma chance de 50% de $Y=5$ e uma chance de 50% de $Y=10$, não depende do nível no qual o custo X é fixado. Como as preferências para loteria no atributo prazo são as mesmas (medidas pelos seus equivalentes certos) sem importar o nível fixado de custo, então o prazo é utilidade independente de custo.

Não se deve assumir que independência em utilidades exista em todos os casos. Mesmo assim, muitos trabalhos práticos de estudos de funções multi-atributos assumem independência das utilidades.

Como determinar se as preferências são preferencialmente independentes? KEENEY & RAIFFA(1976) apresentam um procedimento para determinar se existe independência de utilidade. Pode-se partir do exemplo em que se têm dois atributos escalares, X e Y , e deseja-se avaliar preferências sobre $x_0 \leq x \leq x^*$ e $y_0 \leq y \leq y^*$ como mostrado na Figura 4.6. As letras P,Q,R,S, e assim por diante designam conseqüências referidas na discussão.

Para verificar se X tem utilidade independentemente de Y , pergunta-se ao tomador de decisão se ele prefere $\langle P, Q \rangle$, uma loteria privilegiando P ou Q com igual probabilidade, ou S . A conseqüência S é escolhida como uma resposta esperada do analista. Suponha que o tomador de decisão prefere $\langle P, Q \rangle$ a S , isso concorda com a sua expectativa. Então pergunta-se ao tomador de decisão se ele prefere $\langle P, Q \rangle$ ou T , onde T é escolhido de tal maneira que a expectativa é que T seja preferível a $\langle P, Q \rangle$. No próximo passo, pergunta-se sobre as preferências de $\langle P, Q \rangle$ relativas a W . Desde que W seja próximo de S , espera-se que $\langle P, Q \rangle$ seja preferido a W , mas talvez não seja. Esse procedimento convergente é continuado para a conseqüência R definida de tal maneira que $\langle P, Q \rangle$ e R são igualmente desejáveis (ou indesejáveis) para o tomador de decisão. Então, R é um equivalente certo para a loteria $\langle P, Q \rangle$.

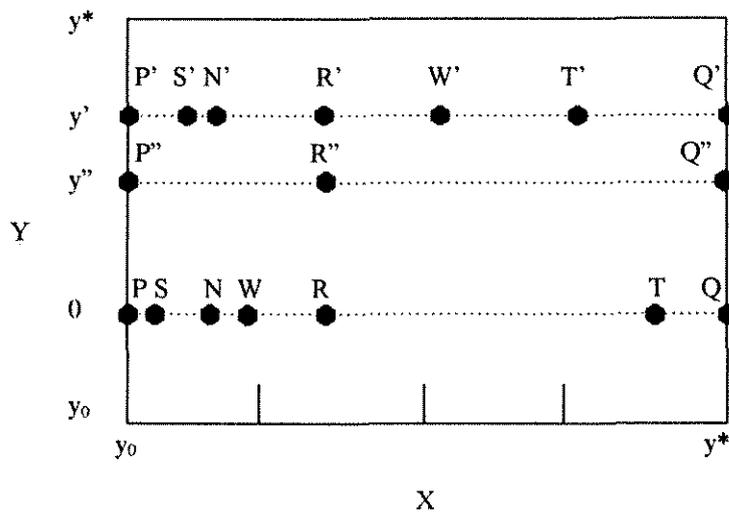


Fig. 4.6. Um recurso gráfico para verificar se X é utilidade independente de Y

Se o tomador de decisão indica quaisquer preferências que não sejam consistentes com suas preferências “verdadeiras”, aquelas deveriam ser apontadas e discutidas novamente.

Observa-se na Figura 4.6 que todas as conseqüências P,Q,R,S,T,N e W tiveram uma quantidade comum de Y e somente se diferenciaram em suas quantidades de X. Agora deve-se mover a concentração para um conjunto de conseqüências com uma quantidade diferente de Y em comum (por ex., Y') e fazer questões similares. Primeiro, quer-se determinar se o tomador de decisão prefere T' a <P',Q'>. Para evitar a repetição das respostas anteriores sem pensar nas questões correntes, T' deveria ser escolhido de tal maneira que a quantidade de X, e não somente a quantidade de Y, em T e T' fosse diferente. Supondo que o tomador de decisão prefere T' a <P',Q'>, pergunta-se acerca de suas preferências entre <P',Q'> e S', entre <P',Q'> e W', e eventualmente determina-se R' de tal maneira que <P',Q'> seja indiferente a R' para o tomador de decisão. Se R' e R tem uma quantidade comum de X (isto é, R' repousa diretamente acima de R na Figura 4.6, então começa-se a pensar que X poderia ser utilidade independente de Y. O que se tem determinado até agora é que as preferências relativas de P, Q, e R e as preferências relativas de P', Q' e R' são as mesmas.

Novamente, repete-se o procedimento para uma outra quantidade de Y (por ex., Y'') e felizmente acha-se que R'', um equivalente certo para <P'',Q''>,

tem uma quantidade comum de X como R e R'. Se esse é o caso, pode-se sentir razoavelmente confiante que X é utilidade independente de Y. O pressuposto pode ser melhor verificado seguindo o mesmo procedimento para determinar uma consequência N indiferente a $\langle P, R \rangle$ e uma consequência N' indiferente a $\langle P', R' \rangle$, por exemplo. Se X é utilidade independente de Y, então N e N' devem ter uma quantidade comum de X.

Finalmente, pergunta-se ao tomador de decisão se:

- i) $\langle (x^*, y'), (x_0, y') \rangle$ é indiferente a (x', y') , e
- ii) $\langle (x^*, y''), (x_0, y'') \rangle$ é indiferente a (x', y'') ,

Pode-se então concluir que

$\langle (x^*, y), (x_0, y) \rangle$ é indiferente a (x', y) para todo y?

A resposta deve ser "SIM" se X for utilidade independente de Y. Finalmente, para qualquer x_1, x_2 , e x_3 arbitrário, se $\langle (x_1, y), (x_2, y) \rangle$ é indiferente a (x_3, y) para um valor particular de y, a mesma relação existirá para todos possíveis valores de Y? Uma resposta "SIM" para essa questão implica definitivamente que X é utilidade independente de Y.

Independência aditiva

Aqui discutem-se os procedimentos para verificar se X e Y são aditivamente independentes. Um procedimento adicional para checar a independência aditiva envolve, primeiramente, tentar verificar se X e Y são utilidades mutuamente independentes.

Deve-se lembrar que mútua independência de utilidade é uma necessidade mas não uma condição suficiente para independência aditiva. Se X e Y são utilidades mutuamente independentes, elas são aditivamente independentes se existem x_1, x_2, y_1 , e y_2 de tal maneira que são igualmente desejáveis, em que nem (x_1, y_2) nem (x_2, y_1) são indiferentes a (x_1, y_1) . Por outro lado, se existem quaisquer L_3 e L_4 que não são indiferentes, então, claramente não existe independência aditiva (Figura 4.7).

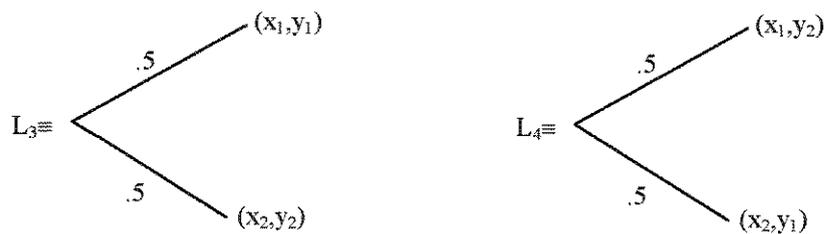


Figura 4.7. Exemplo de duas loterias para testar a independência aditiva.

O procedimento definido por KEENEY & RAIFFA(1976) para determinar independência aditiva é o seguinte: suponha que se deseja avaliar preferências sobre o espaço consequência $x_0 \leq x \leq x^*$ e $y_0 \leq y \leq y^*$, como mostrado na Figura 4.2. Como definido acima, X e Y são aditivamente independentes se e somente se as loterias forem indiferentes para todas as quantidades de x e y, dado um específico (x', y') . Assim, o método óbvio para verificar independência aditiva é selecionar um (x', y') e ver se existe uma indiferença entre L_1 e L_2 para alguns pares (x, y) (Figura 4.8).

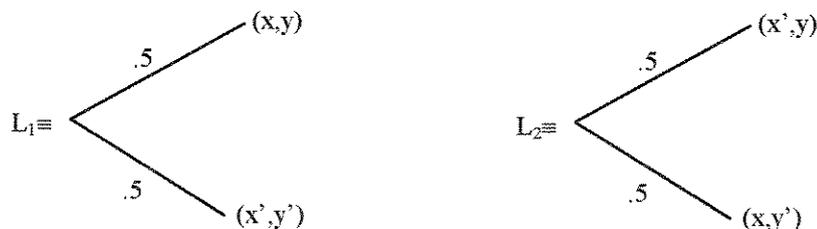


Figura 4.8. Duas loterias para verificação de independência aditiva

Em termos práticos, se X e Y são divididos em quatro sub-seções iguais por $\{x_0, x_{.25}, x_{.5}, x_{.75}, x^*\}$ e $\{y_0, y_{.25}, y_{.5}, y_{.75}, y^*\}$, respectivamente, e se L_1 é indiferente a L_2 , para cada par (x, y) possível, tomados desses dois grupos de cinco, então parece válido assumir que X e Y são aditivamente independentes.

4.2.3 Aplicação da condição de Independência

Pela exploração das características gerais da estrutura de preferências, tais como independência das utilidades e funções-utilidade aditivas, algumas das dificuldades de obtenção de funções-utilidade multi-atributos são superadas. Isso reduz a quantidade real de informações subjetivas necessárias para especificar a função-utilidade.

O trabalho de KEENEY & RAIFFA(1976) traz demonstração matemática de vários teoremas que suportam essas características (propriedades) que serão usadas nesse trabalho para facilitar a avaliação de funções-utilidade multi-atributos. Desde que as provas formais apareçam na literatura, essa discussão evitará uma formalidade, sendo que a mesma simplesmente atenta para ilustrar a plausibilidade do resultado. Descrevem-se aqui alguns desses teoremas, pertinentes a esse trabalho.

Teorema 1: Independência aditiva e função-utilidade aditiva

Atributos X e Y são aditivamente independentes se e somente se a função-utilidade a dois-atributos for aditiva. A forma aditiva pode ser escrita como:

$$u(x,y) = u(x,y_0) + u(x_0,y) \quad (4.3)$$

ou

$$u(x,y) = k_x u_x(x) + k_y u_y(y) \quad (4.4)$$

em que,

1. $u(x,y)$ é normalizada por $u(x_0,y_0)=0$ e $u(x_1,y_1)=1$ para x_1 e y_1 arbitrários em que $(x_1,y_0) > (x_0,y_0)$ e $(x_0,y_1) > (x_0,y_0)$.
2. $u_x(x)$ é uma função-utilidade condicional sobre X normalizada por $u_x(x_0) = 0$ e $u_x(x_1)=1$
3. $u_y(y)$ é uma função-utilidade condicional sobre Y normalizada por $u_y(y_0)=0$ e $u_y(y_1)=1$
4. $K_x = u(x_1,y_0)$
5. $K_y = u(x_0,y_1)$.

Freqüentemente, pode-se esperar que a desejabilidade de várias quantidades de um atributo dependa do nível especificado do outro atributo. Por exemplo, considere um fazendeiro com preferências para várias quantidades de sol e chuva por causa de seus impactos sobre suas culturas. As preferências do fazendeiro para várias quantidades de sol depende de ter havido pouca ou muita chuva. Tal interação de preferências não pode ser expressa como uma função-utilidade aditiva.

Teorema 2. Utilidades mutuamente independentes implicam uma forma multi-linear para a função-utilidade multi-atributos.

Se X e Y são utilidades mutuamente independentes, então a função-utilidade dois-atributos é multi-linear. Em particular, u pode ser escrito na forma

$$u(x,y) = u(x,y_0) + u(x_0,y) + ku(x,y_0)u(x_0,y), \quad (4.5)$$

ou

$$u(x,y) = k_X u_X(x) + K_Y u_Y(y) + K_{XY} u_X(x) u_Y(y) \quad (4.6)$$

em que,

1. $u(x,y)$ é normalizado por $u(x_0,y_0)=0$ e $u(x_1,y_1)=1$ para arbitrários x_1 e y_1 tal que $((x_1,y_0) > (x_0,y_0)$ e $(x_0,y_1) > (x_0,y_0)$
2. $u_X(x)$ é uma função-utilidade condicional de X normalizada por $u_X(x_0)=0$ e $u_X(x_1)=1$
3. $u_Y(y)$ é uma função-utilidade condicional de Y normalizada por $u_Y(y_0)=0$ e $u_Y(y_1)=1$
4. $K_X = u(x_1,y_0)$
5. $K_Y = u(x_0,y_1)$
6. $K_{XY} = 1 - k_X - K_Y$, e $k = K_{XY} / K_X K_Y$

- A representação multiplicativa da forma multi-linear:

A forma multi-linear $u(x,y) = u(x,y_0) + u(x_0,y) + ku(x,y_0)u(x_0,y)$, do Teorema 2 tem uma representação multiplicativa estrategicamente equivalente, fornecida para $k \neq 0$. Para esse fim considere,

$$\begin{aligned}
u'(x,y) &= ku(x,y) + 1 \\
&= ku(x_0,y) + ku(x,y_0) + k^2 u(x_0,y)u(x,y_0) + 1 \\
&= [ku(x,y_0) + 1][ku(x_0,y) + 1] \\
&= u'(x,y_0)u'(x_0,y)
\end{aligned}$$

Quando $k > 0$, $u'(x,y_0)$ e $u'(x_0,y)$ são funções-utilidade condicionais para X e Y , respectivamente. Quando $k < 0$, elas são o negativo das funções-utilidade respectivas. Dessa forma, se dois atributos são utilidades mutuamente independentes, suas funções-utilidade podem ser representadas por uma forma de produto, quando $k \neq 0$, ou uma forma aditiva, quando $k = 0$.

- A representação aditiva da forma multi-linear:

Seria interessante saber quando k na equação (4.5) é zero. Nesse caso, a representação multi-linear reduz-se a uma representação aditiva. O seguinte teorema esclarece isso.

Teorema 3: Se X e Y são utilidades mutuamente independentes e se $\langle (x_3, y_3), (x_4, y_4) \rangle \sim \langle (x_3, y_4), (x_4, y_3) \rangle$

Para algum x_3, x_4, y_3, y_4 , tal que (x_3, y_3) não seja indiferente a (x_3, y_4) ou (x_4, y_3) então:

$$u(x,y) = u(x,y_0) + u(x_0,y)$$

em que $u(x,y)$ é normalizado por

1. $u(x_0, y_0) = 0$ e
2. $u(x_1, y_1) = 1$ para x_1 e y_1 arbitrários tal que $(x_1, y_0) > (x_0, y_0)$ e $(x_0, y_1) > (x_0, y_0)$.

Desse Teorema 3, conclui-se que:

1) Dadas as hipóteses acima, uma forma alternativa da função-utilidade é dada por (4.7) com suas normalizações usuais e com $K_{XY} = 0$.

2) A diferença entre os Teoremas 1 e 3 deveria ser esclarecida. No Teorema 1, requer-se que $\langle (x,y), (x',y') \rangle \sim \langle (x',y'), (x',y) \rangle$ para todo (x,y) . No

conjunto de quatro pontos. Entretanto, o Teorema 3 também requer independência mútua da utilidade.

Portanto, se as preferências de um tomador de decisão mostram utilidade com mútua independência, então uma função-utilidade de dois atributos pode ser escrita como uma composição das funções-utilidade individuais. Comumente, a saída de menor preferência (x_0, y_0) é assimilada como o valor 0 da utilidade, e o par mais preferido (x_1, y_1) é assinalado como o valor da utilidade 1.

Sob preferências com utilidades mutuamente independentes, a função-utilidade de dois atributos pode ser escrita como:

$$U(x,y) = k_x U_x(x) + k_y U_y(y) + (1-k_x-k_y) U_x(x) U_y(y) \quad (4.7)$$

em que,

1. $U_x(x)$ é uma função-utilidade de X escalar que $U_x(x_0)=0$ e $U_x(x_1)=1$
2. $U_y(y)$ é uma função-utilidade de Y escalar tal que $U_y(y_0)=0$ e $U_y(y_1)=1$
3. $K_x = U(x_1, y_0)$
4. $K_y = U(x_0, y_1)$

O termo produto $U_x(x)U_y(y)$ nessa função-utilidade é que permite a tomada de interações entre atributos. As funções-utilidade U_x e U_y são as funções-utilidade individuais e devem ser avaliadas com o outro atributo fixado para um nível particular (por exemplo, na avaliação U_y , imagine que X está fixado para um nível específico). Para entender as condições 3 e 4, devem-se aplicar as utilidades individuais dentro da equação. Por exemplo:

$$\begin{aligned} U(x_1, y_0) &= k_x U_x(x_1) + k_y U_y(y_0) + (1-k_x-k_y) U_x(x_1) U_y(y_0) \\ &= k_x(1) + k_y(0) + (1-k_x-k_y)(1)(0) \\ &= k_x \end{aligned}$$

Como foi visto, a importância relativa dos atributos é modelada pelas constantes escalares k_x , e k_y .

Não é fácil interpretar as constantes escalares já que elas dependem das escolhas de x_0, x_1, y_0, y_1 que, por sua vez, dependem das possíveis conseqüências do problema. Essa discussão será ilustrada com a função aditiva.

$$U(x,y) = k_x u_x(x) + k_y u_y(y),$$

em que,

$$u(x_0, y_0) = 0, \quad u_x(x_0) = 0, \quad u_y(y_0) = 0$$

e

$$u(x_1, y_1) = 1, \quad u_x(x_1) = 1, \quad u_y(y_1) = 1,$$

Então, por consistência,

$$k_x + k_y = 1$$

4.2.4 Substitutos e Complementos

Na função-utilidade multi-atributos, a interação entre os atributos é capturada pelo termo $(1-k_x-k_y)U_x(x)U_y(y)$. Como isso pode ser interpretado? KEENEY & RAIFFA(1976) apresentam uma interessante interpretação do coeficiente $(1-k_x-k_y)$. O sinal de $(1-k_x-k_y)$ pode ser interpretado em termos da condição se x e y são complementos ou substitutos um do outro. Supõe-se que $(1-k_x-k_y)$ é positivo. Agora examina-se a função-utilidade multi-atributos (Equação 4.7). Se valores preferidos de X e Y resultam altos valores para a função-utilidade condicional, o coeficiente $(1-k_x-k_y)$ positivo conduzirá à utilidade total para o mesmo par mais alto. Então, se $(1-k_x-k_y)$ é positivo, os dois atributos complementam-se um ao outro. Por outro lado, se $(1-k_x-k_y)$ é negativo, altos valores em cada escala resultarão em um termo produto alto, que deve ser subtraído no valor de preferência multi-atributos. Nesse sentido, valores preferidos de cada atributo trabalham um contra o outro. Mas se um atributo é alto e o outro baixo, o efeito da subtração não é tão forte. Então, se $(1-k_x-k_y)$ é negativo, os dois atributos são substitutos.

KENEY & RAIFFA(1976) ofereceram dois exemplos dessa relação entre x e y . No primeiro, imagina-se uma corporação com duas divisões que operam em diferentes mercados, deixando-se o lucro em cada divisão representar os

dois atributos que importam para o presidente. De um modo geral, sucessos pelas duas divisões podem ser vistos como substitutos. Isto é, se o ganho de uma divisão for baixo e o da outra alto, a firma continuará bem. Sucesso financeiro por uma divisão comumente garantirá o sucesso da firma.

Como um exemplo de caso de atributos complementares, os autores consideram o problema de um general enfrentando uma batalha sendo disputada em duas frentes. As conseqüências sobre as duas frentes representam dois atributos distintos, então esses dois atributos podem ser complementares. Isto é, derrota em uma frente pode ser quase tão ruim como derrota em ambas as frentes, e um sucesso completo só poderia ser garantido pela vitória em ambas as frentes.

4.3 Aplicação Prática: Avaliação de uma Função-utilidade para um Banco de Sangue de um Hospital.

Agora que as bases da função-utilidade dois-atributos foram revistas, pode-se passar à avaliação de uma dessas funções.

Para ilustrar esse método de avaliação de funções-utilidade multi-atributos, será usado um exemplo específico descrito por KEENEY & RAIFFA (1976) e rerepresentado por CLEMEN (1990) sobre alguém envolvido com o controle do inventário do banco de sangue de um hospital. O espaço conseqüência contempla dois atributos: (1) falta de sangue e (2) descarte do sangue motivado pelo vencimento do prazo de validade para a estocagem .

4.3.1 O Problema do Banco de Sangue

No banco de sangue de um hospital, é importante ter-se uma política para decisão de quanto de cada tipo de sangue deverá existir no estoque. Para um determinado ano, várias políticas operacionais foram avaliadas em termos de falta de sangue e de quantidade de sangue descartado devido ao vencimento do prazo de validade.

A falta é caracterizada quando o sangue requerido por um médico não pode ser atendido pelo inventário do hospital. Nessa situação, coloca-se uma ordem especial para o tipo particular de sangue para um banco de sangue central. Doadores profissionais poderão ser chamados, uma operação pode ser adiada e assim por diante, mas somente em circunstâncias extremamente raras haverá uma morte por falta de sangue. Sangue vencido é o sangue não usado durante seu tempo de vida legal que, habitualmente, é de 21 dias em muitos hospitais.

Naturalmente, guardar uma grande quantidade de sangue em estoque significa que uma falta seria menos comum. Mas existe também uma taxa de vencimento do sangue guardado na prateleira, além da qual ele deve ser descartado. Embora ter uma grande quantidade de sangue em estoque signifique uma baixa taxa de escassez, provavelmente também signifique uma alta taxa de vencimento (sangue para descarte). Claro, as saídas eventuais são desconhecidas porque é impossível prever exatamente quanto sangue será demandado. Deveria o hospital tentar guardar em estoque tanto sangue quanto possível a fim de evitar faltas? Ou deveria o hospital manter um estoque baixo para minimizar a quantidade de sangue vencido para descarte? Como deveria o banco de sangue do hospital balancear esses dois objetivos?

A saída do banco de sangue depende de uma demanda incerta ao longo do ano, tão bem como da política do inventário específico escolhido (nível de estoque). Pode-se imaginar cada política de inventário como uma loteria sobre saídas incertas, tendo dois atributos: falta e vencimento. A falta é medida como uma percentagem anual de unidades demandadas mas que não estavam em estoque, enquanto vencimento é a percentagem de unidades descartadas devido ao vencimento do prazo. Um alto nível de estoque, provavelmente, conduzirá à menor falta, porém a um descarte maior, e um baixo nível de estoque conduzirá à maior falta e menor descarte. Para escolher um nível de estoque apropriado, deve-se avaliar ambas as distribuições probabilísticas sobre resultados de falta e de descarte para cada nível possível de estoque e a função-utilidade do tomador de decisão sobre esses resultados. Como cada resultado tem dois atributos, necessita-se da função-utilidade dois-atributos.

A focalização para a avaliação da função-utilidade foi feita através dos seguintes passos:

- (1) O primeiro passo foi explicar o problema para a enfermeira encarregada dos pedidos de sangue. Como a manutenção de um nível apropriado de estoque está sob sua responsabilidade, faz sentido basear-se uma análise do problema considerando sua preferência pessoal. Ela entendeu a importância do problema e se motivou a pensar seriamente sobre sua avaliação. Sem tal entendimento e motivação de sua parte, o projeto inteiro provavelmente teria falhado.
- (2) Foi estabelecido que a taxa de excedente (excesso para descarte) e a taxa de escassez (falta) poderia variar de 10% (pior caso) a 0% (melhor caso).
- (3) A utilidade é mutualmente independente? A enfermeira avaliou um equivalente certo para a taxa de falta (atributo X), dada uma taxa de excesso fixada (atributo Y). O equivalente certo não mudou para diferentes taxas de excesso. Então, o atributo escassez tem uma utilidade independentemente do excedente. Procedimento similar mostrou também ser verdade o reverso. Portanto, falta e excedente são utilidades mutuamente independentes, implicando uma forma multi-linear para a função-utilidade.
- (4) O próximo passo foi avaliar as funções-utilidade condicionais $U_X(x)$ e $U_Y(y)$. Em cada caso, a função-utilidade foi avaliada condicionalmente sobre o outro atributo. Para avaliar $U_X(x)$, estabeleceu-se primeiramente que preferências decresciam conforme x crescia. Usando as loterias avaliadas anteriormente no passo de independência da utilidade, determinou-se uma função-utilidade exponencial. Estabelecendo $U_X(0)=1$ (melhor caso) e $U_X(10)=0$ (pior caso), a função-utilidade era:

$$U_X(x) = 1 + 0.375(1 - e^{-x/7.692}) \quad (4.8)$$

Do mesmo modo, a segunda função-utilidade foi determinada usando os equivalentes certos previamente avaliados, e novamente uma forma exponencial foi utilizada. A função-utilidade era

$$U_Y(y) = 1 + 2.033(1 - e^{y/25}) \quad (4.9)$$

Essas funções-utilidade também apresentam $U_Y(0) = 1$ e $U_Y(10) = 0$.

(5) A avaliação dos pesos k_X e k_Y é a chave para achar a função-utilidade de dois-atributos. O método prático é usar tantas informações quanto possível para ajustar as equações baseadas sobre diferentes resultados e loterias, e então resolver as equações para os pesos. Portanto, tendo-se duas incógnitas (k_X e k_Y), resolvem-se duas equações em duas incógnitas. Para ajustar essas duas equações, necessita-se de duas avaliações de utilidades. Lembrar que (Eq. 4.7), $U(x,y) = k_X U_X(x) + k_Y U_Y(y) + (1 - k_X - k_Y) U_X(x) U_Y(y)$.

Também sabe-se que:

$$\begin{aligned} U(10,0) &= k_Y \\ U(0,10) &= k_X. \end{aligned}$$

Essas equações derivam-se das condições $K_X = U(x_1, y_0)$ e $K_Y = U(x_0, y_1)$, descritas acima (Eq. 4.7), substituindo $x_0 = 10$, $x_1 = 0$, $y_0 = 10$, e $y_1 = 0$.

A enfermeira determinou que era indiferente às duas saídas ($x=4.75$, $y=0$) e ($x=0$, $y=10$). Essa primeira avaliação indica que, para ela, evitar escassez é mais importante do que evitar excedente. Pode-se substituir cada um desses pontos dentro da expressão para a função-utilidade, estabelecendo a primeira equação relacionando k_X e k_Y .

$$\begin{aligned} U(4.75,0) &= k_X U_X(4.75) + k_Y U_Y(0) + (1 - k_X - k_Y) U_X(4.75) U_Y(0) \\ &= k_X U_X(4.75) + k_Y(1) + (1 - k_X - k_Y) U_X(4.75)(1). \end{aligned}$$

Porque ela era indiferente entre (4.75,0) e (0,10), tem-se:

$$\begin{aligned} U(4.75,0) &= U(0,10) \text{ (porque ela é indiferente)} \\ U(4.75,0) &= K_X \text{ (pois } U(0,10) = k_X, \text{ equação acima).} \end{aligned}$$

Substituindo, obtém-se:

$$\begin{aligned}k_x &= k_x U_x(4.75) + k_y + (1-k_x-k_y)U_x(4.75) \\&= k_y + (1-k_y)U_x(4.75) \\&= k_y + (1-k_y)[1+0.375\{1-e^{-4.75/7.692}\}] \\&= k_y + (1-k_y)0.68 \\k_x &= 0.68 + 0.32k_y.\end{aligned}\tag{4.10}$$

Na segunda avaliação, o tomador de decisão concluiu que a enfermeira era indiferente entre o resultado (6,6) e a loteria 50-50 entre as saídas (0,0) e (10,10). Usando essa avaliação, acha-se $U(6,6)$.

$$\begin{aligned}U(6,6) &= 0.5U(0,0) + 0.5U(10,10) \\&= 0.5(1) + 0.5(0) \\&= 0.5.\end{aligned}$$

Essa é justamente uma avaliação-padrão de um equivalente certo para um jogo 50-50 entre o melhor e pior resultados (saídas). Em seguida, substituiu-se $U(6,6) = 0.5$ dentro da função-utilidade a dois-atributos para achar a segunda equação em termos de k_x e k_y .

$$\begin{aligned}0.5 &= U(6,6) \\&= k_x U_x(6) + k_y U_y(6) + (1-k_x-k_y)U_x(6)U_y(6).\end{aligned}$$

Os valores de $x=6$ e $y=6$ dentro das fórmulas para as funções-utilidade individuais fornecem:

$$\begin{aligned}U_x(6) &= 0.56 \\U_y(6) &= 0.45\end{aligned}$$

Aplicando esses resultados dentro da equação para $U(6,6)$, obtém-se:

$$0.5 = k_x(0.56) + k_y(0.45) + (1-k_x-k_y)(0.56)(0.45).$$

simplicada para

$$0.248 = 0.308k_x + 0.198k_y\tag{4.11}$$

Agora, têm-se duas equações lineares em k_x e k_y - Equações (4.10) e (4.11):

$$k_x = 0.680 + 0.320k_y$$

$$0.248 = 0.308k_x + 0.198k_y$$

Resolvendo essas duas equações simultaneamente para k_x e k_y , acha-se que $k_x = 0.72$ e $k_y = 0.13$. Então, a função-utilidade a dois atributos pode ser escrita como

$$U(x,y) = 0.72U_x(x) + 0.13U_y(y) + 0.15U_x(x)U_y(y) \quad (4.12)$$

em que $U_x(x)$ e $U_y(y)$ são dadas pelas funções-utilidade exponenciais definidas acima. Agora pode-se achar a utilidade para qualquer par (x,y) (os x e os y estão cada um entre 0 e 10, a faixa de avaliação). Qualquer política para pedidos de sangue pode ser avaliada em termos de sua utilidade esperada. A Tabela 4.3 mostra utilidades para diferentes resultados possíveis e a Figura 4.9 mostra as curvas de indiferenças associadas com a função-utilidade. Da Figura 4.9, pode-se verificar as condições e avaliações que foram usadas:

$$U(0,0) = 1$$

$$U(10,10) = 0$$

$$U(10,0) = 0.13 = k_y$$

$$U(0,10) = U(4.75,0) = 0.72 = k_x$$

$$U(6,6) = 0.50$$

A função-utilidade final avaliada é prontamente interpretada. Quanto maior o valor de k_x relativo a k_y , significa que a enfermeira é mais preocupada com a percentagem de escassez do que com a de excedente. Isso faz sentido; muitas pessoas concordariam que o objetivo do banco de sangue é primeiramente salvar vidas, e provavelmente prefeririam jogar fora velho sangue a não ter bastante em mãos quando ele fosse necessário. O fato de que $k_x + k_y < 1$ significa que os dois atributos são mais complementares do que substitutos. Pode-se observar isso na Figura 4.9. Por exemplo, toma-se um resultado(saída) de $(8,8)$ para o qual a utilidade seja 0.27 (ponto A). A seguir, leva-se a percentagem de escassez para zero. Isso faria crescer o valor da utilidade para $U(0,8) = 0.79$, para um aumento líquido aproximado de 0.52. Por outro lado, o aumento da percentagem de excedente do mesmo tanto resulta em $U(8,0) =$

0.40, para um aumento líquido de 0.13. Se fossem aumentados ambos ao mesmo tempo, o valor de $U(0,0)$ seria igual a 1.00, o que significa um aumento de 0.73. O aumento na utilidade quando ambos são aumentados de uma vez é maior do que a soma dos aumentos individuais ($0.73 > 0.52 + 0.13 = 0.65$), mostrando que existe uma interação. Essa espécie de fenômeno é impossível no método de escore e pesos ou na função-utilidade aditiva.

TABELA 4.3 Valores de Utilidade para Falta e Descarte no Banco de Sangue

x Valores (escassez)	Y Valores (descarte)					
	0	2	4	6	8	10
0	1.00	0.95	0.90	0.85	0.79	0.72
2	0.90	0.86	0.81	0.76	0.70	0.64
4	0.78	0.74	0.69	0.64	0.59	0.54
6	0.62	0.58	0.54	0.50	0.45	0.40
8	0.40	0.37	0.34	0.31	0.27	0.23
10	0.13	0.11	0.08	0.06	0.03	0.00

Pela exploração das características gerais da estrutura de preferências, tais como independência das utilidades, algumas das dificuldades de obtenção de funções-utilidade multi-atributos são superadas. Isso reduz a quantidade real de informações subjetivas necessárias para especificar a função-utilidade. O procedimento descrito aqui é operacional tanto para identificar as características de independência de utilidade da estrutura de preferência como para avaliação da função-utilidade multi-atributos.

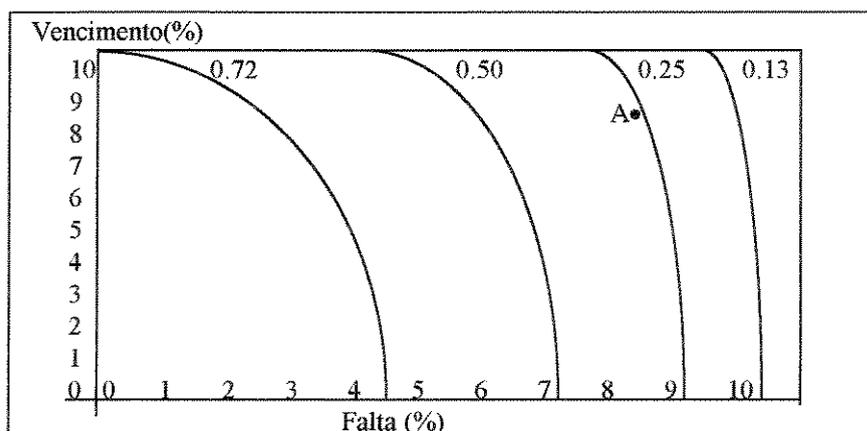


Figura 4.9 Curvas de indiferença para função-utilidade da enfermeira para falta e descarte. Os números são $U(x,y)$ para a curva correspondente de indiferença.

4.4 Outras aplicações práticas da Teoria da utilidade multi-atributos.

Segundo WALLS(1994), as oportunidades para aplicações da teoria da utilidade multi-atributos no setor público têm sido freqüentes e numerosas porque envolvem múltiplos objetivos conflituosos, tais como: sistemas de saúde pública (LATHROP & WATSON, 1982), política ambiental (ULVILA & SNYDER, 1980) matéria de regulamentação (VON WINTERFELDT,1982; KEENEY & SMITH,1982); seleção de "sites" (KIRKWOOD,1982, DE NEUFVILLE & KEENEY, 1972; SARIN, 1980); energia (BELEY, 1981) ou política pública (ANANDALINGAM, 1989; BODILY, 1977). Consideravelmente, poucas aplicações da teoria da utilidade multi-atributos para problemas de corporações são encontrados em análise de decisão e literatura de pesquisas operacionais. KEEFER & KIRKWOOD(1978) discutem uma aplicação para otimizar a alocação de um orçamento operacional para projetos de engenharia. KEENEY(1975) discute a avaliação da função-utilidade dos múltiplos objetivos da corporação para examinar políticas corporativas. DYER & LUND(1982) analisam novas estratégias para comercialização da gasolina e HAX & WILLIG(1977) aplicam a teoria da utilidade multi-atributos para o problema de investimento de capital em uma empresa de mineração. Embora as aplicações dessa teoria no setor privado tenham sido poucas, existe um contínua necessidade para boas aplicações documentadas. Uma das tais necessidades é a contribuição que modelos da teoria da utilidade multi-atributos podem fornecer para o setor privado em termos de desenvolvimento de uma efetiva ligação entre o processo de alocação de capital da empresa e suas estratégias do negócio. WALLS(1994a) traz uma aplicação prática dessa teoria na área de alocação de capital para empresa privada.

Na seção 5.4 deste trabalho, utiliza-se essa técnica para a resolução de um problema de alocação de recursos em projetos de exploração de petróleo em vários países, tendo como critério dois parâmetros: valor monetário do projeto e risco político do país.

4.5 O caso de 3 atributos

A mútua Independência preferencial e a existência de uma função de valor aditivo fazem com que as preferências para as triplas (x,y,z) sejam consistentes com uma função u de forma aditiva do tipo:

$$U(x,y,z) = k_x U_x(x) + k_y U_y(y) + k_z U_z(z), \quad (4.13)$$

O teorema abaixo, que define a forma aditiva quando existe independência aditiva, está demonstrado em KEENEY & RAIFFA(1976):

Teorema: Uma função de valor u pode ser expressa em uma forma aditiva, $U(x,y,z) = K_x U_x(x) + K_y U_y(y) + K_z U_z(z)$, em que U_x , U_y e U_z são funções de atributos singulares, se e somente se $\{X,Y\}$ for preferencialmente independente de Z , $\{X,Z\}$ for preferencialmente independente de Y , e $\{Y,Z\}$ for preferencialmente independente de X .

Esse resultado foi primeiramente provado por DEBREU(1960), sendo que uma prova um tanto mais geral é encontrada em KRANTZ *et alii* (1971).

Em muitos trabalhos, os procedimentos de avaliação da função-utilidade multi-atributos assumem mútua independência preferencial e independência aditiva. Daí, somente funções-utilidade multi-atributos aditivas e multiplicativas serão consideradas. Isso implica que o tomador de decisão não considera "tradeoffs" de preferências entre mais do que 2 atributos simultaneamente, nem considera loterias com mais do que um nível de um atributo sendo variado. Assim, a função-utilidade multi-atributos pode ser expressa em uma das seguintes maneiras:

$$u(x) = \sum_{i=1}^n k_i u_i(x_i) \quad (4.14)$$

em que:

i = atributo de interesse

x = unidade de avaliação para o atributo

u = preferência do tomador de decisão para x

k = importância relativa do atributo i , em que $\sum k_i = 1$

ou,

$$1 + ku(x) = \prod_{i=1}^n [1 + k k_i u_i(x_i)] \quad (4.15)$$

em que $u=u(x)$ é escalada de 0 a 1; as funções-utilidade do componente $u_i=ui(x_i)$ são escaladas de 0 a 1; As constantes escalares k_i são positivas e menores do que 1; e k é uma constante que satisfaz a equação

$$1 + k = \prod_{i=1}^n [1 + k k_i] \quad (4.16)$$

A forma funcional (Equação 4.14) é aditiva e a forma funcional (Equação 4.15) é multiplicativa. Para decidir qual dessas duas formas é apropriada para quantificação da função real, KEENEY & RAIFFA(1976) mostram que a forma aditiva aplica-se quando $\sum_{i=1}^n k_i = 1$, e aquela forma multiplicativa aplica-se nos outros casos. O procedimento, então, é avaliar a constante escalar k_i e adicioná-la até determinar a forma apropriada.

CAPÍTULO 5: APLICAÇÕES PRÁTICAS NA ÁREA DE EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO

5.1 Estudo de caso nº.1. PRIORIZAÇÃO DE UMA CARTEIRA DE PROJETOS

O propósito desse estudo de caso é mostrar como a teoria da utilidade pode ser aplicada a um problema real de negócio, em particular, negócio de petróleo.

5.1.1 O Problema

O primeiro exemplo prático surgiu com a decisão política da RIFTOIL de começar a trabalhar em parceria na exploração e produção de petróleo nos 12 blocos que ela tem sob concessões, compreendendo uma área total de 17 500 km².

A RIFTOIL¹ é uma empresa independente de exploração e produção de petróleo com capital anual destinado à exploração em torno de 40 milhões de dólares. Atualmente, ela detém concessões de 12 blocos de 1250 km² cada e trabalha há 3 anos com um portfólio de 69 prospectos ("leads") nesses blocos. Nos dois últimos anos, essa empresa perfurou 15 desses prospectos com índice de sucesso de 30%, porém as descobertas, de pequeno porte, ainda que econômicas, requerem uma análise de risco financeiro mais acurada, já que os prêmios maiores estão associados àqueles prospectos com maiores riscos financeiros.

Por isso, a partir de 1997, tal empresa adotará uma nova política² exploratória buscando associar-se em parcerias para exploração desses blocos, visando reduzir o risco e maximizar o lucro. Com isso, o gerente de exploração da RIFTOIL enfrenta um típico problema de tomada de decisão sob incertezas que é comparar e hierarquizar projetos com diferentes prêmios, custos e riscos e definir qual o nível ótimo de participação em cada projeto escolhido.

¹ RIFTOIL é uma empresa fictícia adotada pelo autor para ilustrar esse exemplo.

² Política é entendida como uma declaração (conjunto de diretrizes) de forma clara e concisa visando à melhoria contínua da qualidade geral do negócio

O objetivo desse estudo de caso foi subsidiar o tomador de decisão na seleção do melhor portfólio para os próximos anos, definindo o nível ótimo de participação da RIFTOIL em cada projeto.

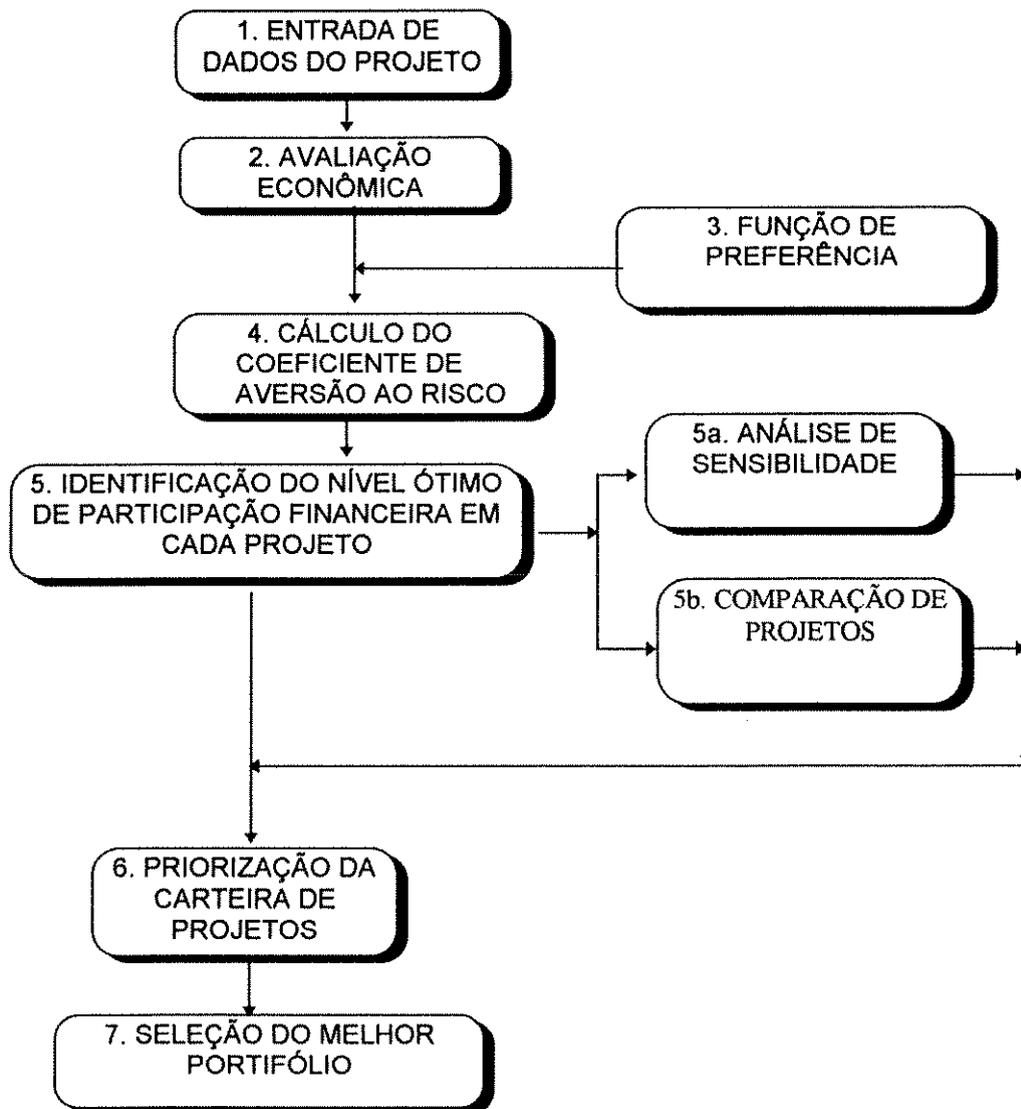


Figura 5.1.1. Macrofluxo de execução do estudo de caso n.º 1.

5.1.2 Dados de Entrada

Os dados dos 69 projetos foram colocados em uma planilha Excel com a ajuda do programa RASS³ (Risk Analysis Simulation System). Os dados são: custos dos projetos, volumes de óleo a descobrir, probabilidades de sucesso do

³ RASS: Software desenvolvido pelo autor durante a realização deste estudo. Vide maiores detalhes no Anexo B.

projeto, fator de aproveitamento econômico (ou fluxo de caixa dos projetos) e preço do barril de óleo. No anexo B, Figura 3, apresenta-se a tela de entrada de dados do programa RASS.

5.1.3. Avaliação Econômica

A avaliação econômica do projeto inclui freqüentemente o cálculo do valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e valor monetário esperado (VME). A tabela 5.1.1 mostra os dados da carteira de projetos (projetos, prospectos e "leads")⁴, valores em milhões de dólares.

Tabela 5.1.1: Carteira de projetos da RIFTOIL

No	Nome	Custo	P.Sucesso	VPL	VME
1	Hidrogênio	-1.06	0.10	11.21	0.17
2	Hélio	-0.18	0.10	4.25	0.25
3	Lítio	-0.55	0.24	30.49	6.90
4	Berílio	-6.07	0.43	28.64	8.86
5	Boro	-0.72	0.13	10.48	0.74
6	Carbono	-4.96	0.56	72.84	38.53
7	Nitrogênio	-1.68	0.35	13.67	3.69
8	Oxigênio	-5.25	0.26	22.12	1.76
9	Flúor	-3.85	0.20	20.05	1.02
10	Neônio	-4.22	0.17	26.52	0.94
11	Sódio	-10.77	0.14	107.75	5.23
12	Magnésio	-1.42	0.49	13.08	5.68
13	Alumínio	-0.58	0.42	4.77	1.67
14	Silício	-4.78	0.21	50.93	6.92
15	Fósforo	-6.46	0.11	65.14	1.42
16	Enxofre	-6.66	0.18	61.32	5.58
17	Cloro	-5.97	0.19	51.05	4.86
18	Argônio	-5.04	0.23	61.89	10.35
19	Potássio	-2.97	0.31	47.67	12.73
20	Cálcio	-4.75	0.22	26.39	2.10
21	Escândio	-1.93	0.05	80.57	2.20
22	Titânio	-0.70	0.40	9.53	3.39
23	Vanádio	-3.05	0.11	44.21	2.20
24	Cromo	-1.61	0.18	9.54	0.40
25	Manganês	-1.84	0.21	16.00	1.91
26	Ferro	-2.07	0.10	23.39	0.48
27	Cobalto	-10.8	0.14	90.54	3.39
28	Níquel	-9.66	0.11	179.81	11.18
29	Cobre	-8.45	0.20	78.19	8.88
30	Zinco	-8.40	0.20	62.86	5.85
31	Gálio	-6.04	0.34	119.09	36.51
32	Germano	-10.37	0.16	502.32	71.66
33	Arsênio	-9.05	0.13	868.00	104.97
34	Selênio	-1.97	0.49	42.85	19.99
35	Bromo	-76.83	0.56	971.28	510.11

⁴ Projetos, Prospectos e "Leads", são opções de investimento em exploração de petróleo em que projetos são opções de investimento melhor definidas que prospectos. Estes, por sua vez, são melhor definidos do que os "leads".

Continuação da Tabela 5.1.1

No	Nome	Custo	P.Sucesso	VPL	VME
36	Kriptônio	-40.50	0.78	381.00	288.27
37	Rubídio	-12.26	0.12	130.64	4.89
38	Estrôncio	-10.11	0.2	122.63	16.44
39	Ítrio	-5.06	0.2	106.40	17.23
40	Zircônio	-31.4	0.89	73.66	62.10
41	Nióbio	-13.49	0.56	71.05	33.85
42	Molibdênio	-31.94	0.91	65.55	56.78
43	Tecnécio	-1.95	0.19	57.13	9.27
44	Rutênio	-4.12	0.12	49.29	2.29
45	Rhódio	-3.51	0.27	29.23	5.33
46	Paládio	-4.87	0.75	25.43	17.86
47	Prata	-3.63	0.34	24.35	5.88
48	Cadmio	-4.21	0.63	22.40	12.55
49	Índio	-12.32	0.85	20.55	15.62
50	Estanho	-5.96	0.38	20.25	4.00
51	Antimônio	-0.61	0.18	18.17	2.77
52	Telúrio	-2.11	0.40	16.48	5.32
53	Iodo	-7.58	0.40	14.72	1.34
54	Xenônio	-1.00	.42	13.09	4.92
55	Césio	-0.79	0.41	7.92	2.78
56	Bário	-0.90	0.15	5.46	0.05
57	Lantânio	-1.27	0.32	5.18	0.79
58	Háfnio	-1.67	0.23	9.22	0.83
59	Tântalo	-4.20	0.28	32.08	5.96
60	Wolfrâmio	-1.39	0.19	6.79	0.16
61	Rênio	-0.46	0.20	41.26	7.88
62	Ósmio	-0.54	0.20	64.77	12.52
63	Iridio	-0.31	0.39	9.07	3.35
64	Platina	-0.31	0.22	5.48	0.96
65	Ouro	-0.78	0.13	11.10	0.76
66	Mercúrio	-0.79	0.36	8.65	2.61
67	Tálio	-0.39	0.25	2.28	0.28
68	Chumbo	-0.91	0.19	25.45	4.10
69	Bismuto	-1.33	0.25	44.91	10.23

5.1.4 Função de Preferência

Nem sempre a preferência de uma pessoa segue princípios lógicos. Outros fatores ou percepções podem vir acoplados a essa preferência. Para se buscar coerência e consistência no processo de decisão de uma corporação é necessário estabelecer a sua função de preferência, levando-se em conta os princípios lógicos da ciência da decisão.

As percepções, experiências e sentimentos podem ser incorporados ao processo através de questionários e/ou da construção de curvas tipo "Delphi"

para representar a preferência de um indivíduo ou organização para tomada de decisões frente ao risco.

Um avanço na área da teoria da preferência é o uso de considerações genéricas no estabelecimento de preferências ao risco para um indivíduo ou organização. Uma entre essas considerações genéricas é o uso da forma exponencial da função-utilidade para tratar satisfatoriamente uma larga faixa de preferências ao risco das corporações. Será usada aqui, nesse exemplo, uma função-utilidade do tipo exponencial, definida por uma expressão do tipo $U(x) = -e^{-c \cdot x}$ conforme definida no capítulo 2 (Equação 2.4).

5.1.5 Cálculo do coeficiente de aversão ao risco (c)

O coeficiente de aversão ao risco apresentado por uma companhia depende de sua capacidade financeira e de sua disposição de correr riscos. Assim, analisando os 13 prospectos que a RIFTOIL perfurou nos dois últimos anos é possível definir qual a tolerância ao risco mínima apresentada pela firma, desde que ela perfurou esses poços contando apenas com seus recursos próprios, ou seja, com uma participação de 100% (Figura 5.1.2).

Nessa figura, pode-se observar que a tolerância ao risco apresentada pela RIFTOIL quando perfurou os 13 prospectos nos dois últimos anos foi, freqüentemente, inferior a US\$ 20 MM, com exceção somente de dois projetos cujas tolerâncias foram 33 e 60 milhões de dólares, respectivamente. Esses são os projetos Tântalo e Wolfrâmio, situados numa área onde já existe uma boa infra-estrutura de produção. Assume-se para esse estudo de caso que a gerência da RIFTOIL trabalha com um nível de tolerância ao risco entre 60 e 20 MM US\$. Daí, escolheu-se como referência o projeto Tântalo, cujo custo foi de US\$ 4,2 MM, probabilidade de sucesso de 28% e VPL de US\$ 32 MM, exigindo um coeficiente de tolerância ao risco de US\$ 33 MM para que a participação ótima seja de 100%. Portanto, o coeficiente de aversão ao risco que será usado para avaliar essa carteira de projetos é de $1/33 = 0.0303$.

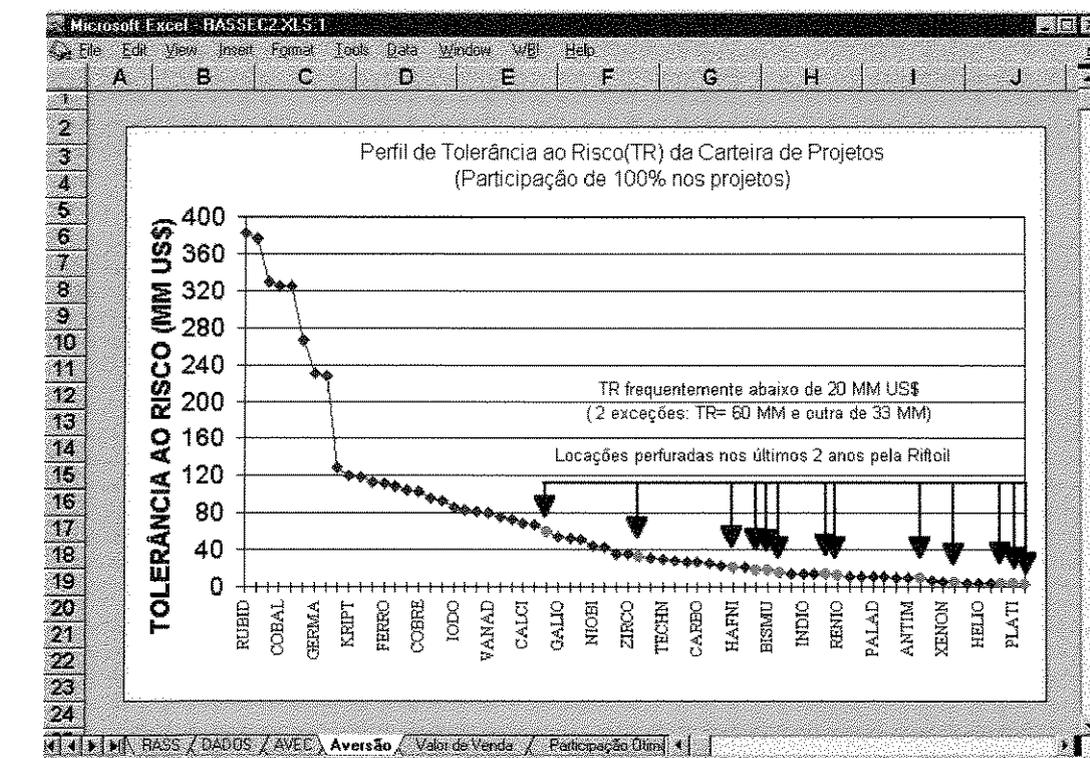


Figura 5.1.2 - Perfil de tolerância ao risco da carteira de projeto da RIFTOIL

5.1.6 Identificação do nível ótimo de participação financeira em cada projeto.

O programa RASS (Risk Analysis Simulation System), desenvolvido pelo autor, apresenta um sistema prático e de fácil utilização por analistas de investimentos em E & P não-familiarizados com os aspectos probabilísticos da análise de risco. O programa avalia cada projeto, determinando o nível ótimo de participação financeira e executa uma análise de sensibilidade dos parâmetros de entrada (tais como: valor presente líquido, custo, probabilidade de sucesso e diversos níveis de aversão ao risco). Todas as rotinas foram desenvolvidas utilizando os macros do programa Microsoft EXCEL versão 5.0 (Anexo B).

A figura 5.1.3 ilustra uma das telas do programa que apresenta o nível ótimo de participação dos projetos Molibdênio e Criptônio cujas participações ótimas são 100% e 28%, respectivamente. Esses dois projetos são aqueles que apresentam os maiores equivalentes certos (EqC) da carteira (Tabela 5.2).

Na tela do programa, trocando-se o número do projeto na célula em amarelo, o programa automaticamente apresenta a curva de perfil de risco do novo projeto escolhido.

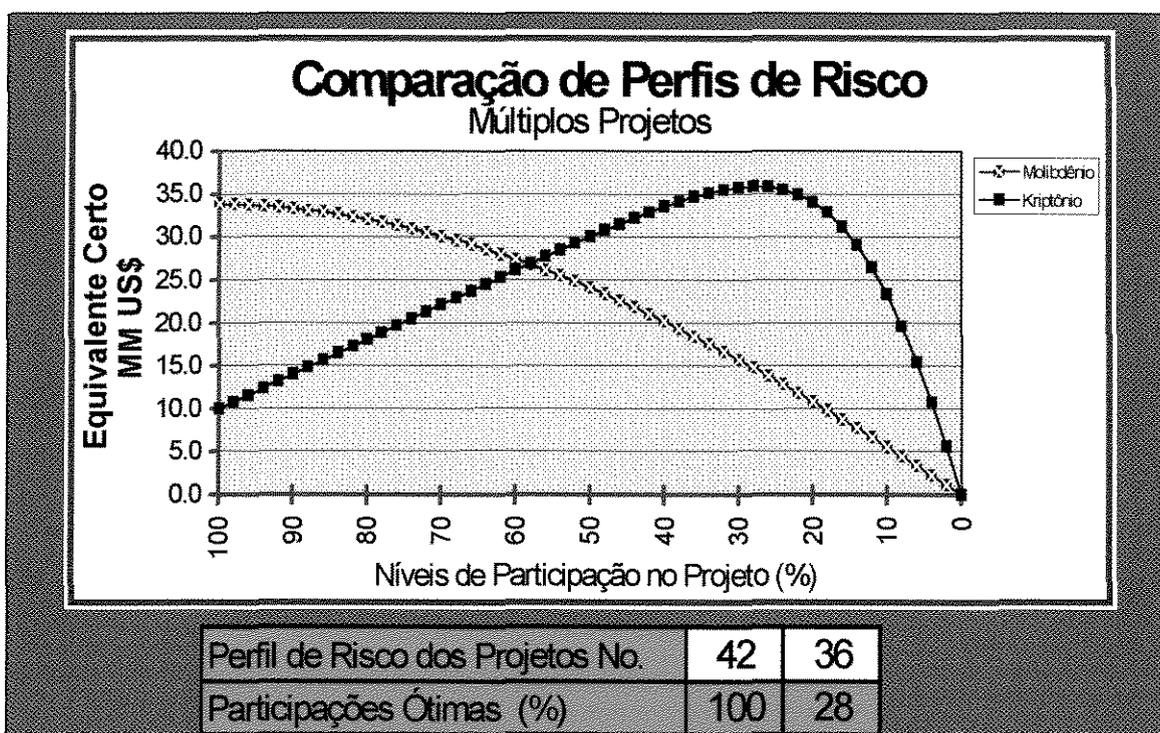


Figura 5.1.3 Nível ótimo de participação e comparação de projetos

A figura 5.1.4 ilustra a análise de sensibilidade de cada um dos projetos, mostrando o nível de participação ótima no projeto versus a variação percentual dos valores de cada um dos parâmetros de entrada isoladamente. Analogamente ao processo da tela anterior, a seleção do número do projeto na própria tela do programa RASS permite visualizar a análise de sensibilidade de cada projeto.

Observa-se na figura 5.1.4 que, se o valor presente líquido do projeto dobrar de valor e os outros parâmetros se mantiverem constantes, o nível ótimo de participação diminuirá, diferentemente do que se pensa intuitivamente. Por outro lado, é claro que, se o custo do projeto aumentar, o nível de participação ótima diminuirá. Como esse projeto tem uma probabilidade de sucesso (P.S.) de 78%, também é óbvio que se a P.S. for aumentada de 30%, ultrapassa a probabilidade de 100% e, assim, o projeto não é mais um projeto de risco, sendo apenas uma opção econômica ou logística.

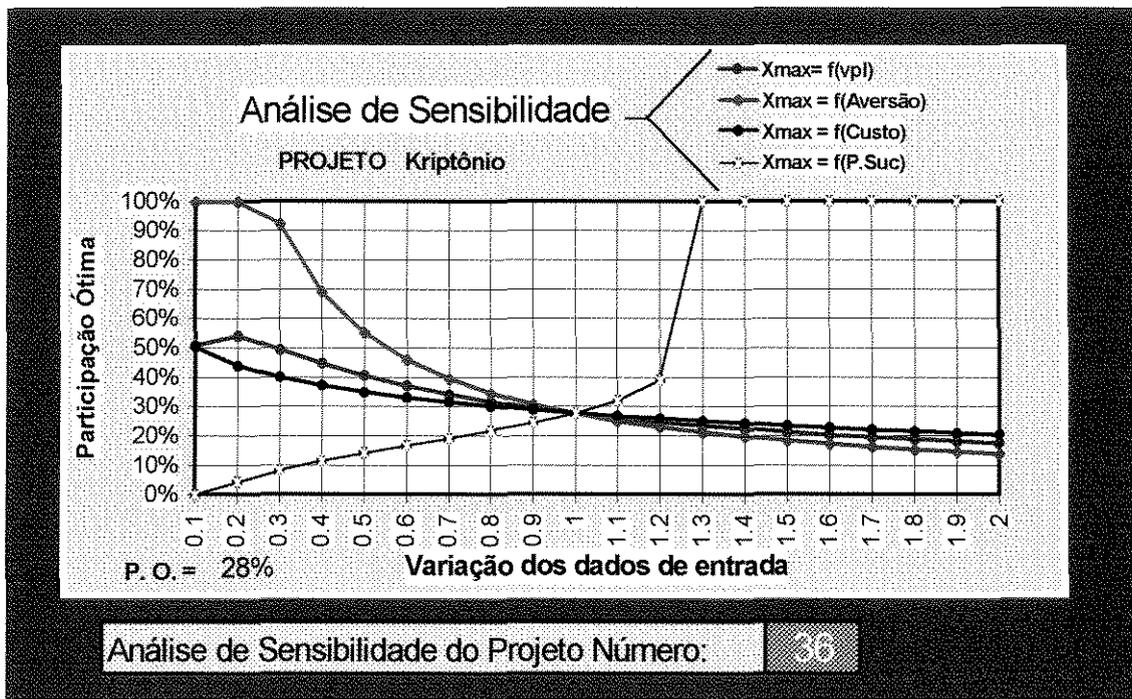


Figura 5.1.4. Análise de sensibilidade

5.1.7 Priorização da carteira de projetos

A priorização da carteira de projetos é feita tomando como base o valor do equivalente certo para o nível ótimo de participação em cada projeto. Assim, o projeto Kriptônio é o melhor projeto, pois apresenta o maior equivalente certo de US\$ 35.86 MM para um nível de participação de 28%, muito embora o valor do equivalente certo para uma participação de 100% nesse projeto seja de apenas 9.96 MM US\$ (Figura 5.1.3.).

Como visto anteriormente no capítulo 2, o equivalente certo está relacionado com o valor monetário esperado do projeto e o nível de aversão ao risco que a firma apresenta, que foi estimado, baseado nas decisões passadas, em 0.0303. Esse nível de aversão ao risco é um valor baixo, se comparado com os padrões internacionais que, segundo WALLS & DYER (1992), é de 4 dividido pelo capital exploratório anual ou seja, que seria de 0.10 para um capital exploratório anual da firma, de 40 MM US\$.

A tabela 5.1.2 mostra a priorização da carteira de projetos como função do equivalente certo para a participação ótima.

Tabela 5.1.2: Priorização da carteira de projetos via equivalente certo

Rank CEq	Nome Proj.	Part. Ótima	EqC P.O.	VME MMUS\$	Rank VME	P.S	Rank P.S.	Custo MMUS\$	Rank Custo
1	CRIPT	28%	35.86	288.27	2	78%	4	-40.50	2
2	MOLIB	100%	33.86	56.78	6	91%	1	-31.94	3
3	ZIRCO	94%	32.41	62.11	5	89%	2	-31.40	4
4	CARBO	100%	18.47	38.54	7	56%	9	-4.96	26
5	BROMO	8%	17.95	510.12	1	56%	7	-76.83	1
6	PALÁD	100%	14.92	17.86	11	75%	5	-4.87	27
7	ÍNDIO	100%	13.05	15.62	14	85%	3	-12.32	6
8	SELÊN	100%	13.03	20.00	10	49%	11	-1.97	41
9	NÍOBI	76%	11.45	33.86	9	56%	8	-13.49	5
10	CADMI	100%	9.97	12.55	16	63%	6	-4.21	31
11	GÁLIO	62%	8.47	36.51	8	34%	23	-6.04	20
12	POTÁS	100%	6.27	12.73	15	31%	26	-2.97	38
13	ÓSMIO	100%	5.74	12.52	17	20%	45	-0.54	64
14	BISMU	100%	5.59	10.23	20	25%	31	-1.33	51
15	MAGNÉ	100%	4.90	5.69	30	49%	10	-1.42	49
16	BERIL	100%	4.80	8.86	23	43%	12	-6.07	19
17	LÍTIO	100%	4.69	6.91	26	24%	32	-0.55	63
18	RÊNIO	100%	4.68	7.89	24	20%	44	-0.46	65
19	XENON	100%	4.21	4.92	35	42%	14	-1.00	54
20	TELUR	100%	4.14	5.33	33	40%	17	-2.11	39
21	TECHN	100%	3.77	9.28	21	19%	47	-1.95	42
22	GERMA	14%	3.63	71.67	4	16%	54	-10.37	10
23	PRATA	100%	3.52	5.88	28	34%	24	-3.63	35
24	ARSEN	10%	3.38	104.98	3	13%	59	-9.05	13
25	ÍTRIO	50%	3.38	17.24	12	20%	43	-5.06	24
26	IRIDI	100%	3.04	3.35	43	39%	19	-0.31	67
27	TITAN	100%	3.02	3.40	41	40%	16	-0.70	60
28	NITRO	100%	2.93	3.70	40	35%	22	-1.68	46
29	ARGÔN	64%	2.84	10.36	19	23%	33	-5.04	25
30	CHUMB	100%	2.74	4.10	38	19%	49	-0.91	55
31	RHÓDI	100%	2.66	5.33	32	27%	28	-3.51	36
32	TANTA	100%	2.65	5.96	27	28%	27	-4.20	32
33	CÉSIO	100%	2.51	2.78	44	41%	15	-0.79	56
34	MERCU	100%	2.31	2.61	46	36%	21	-0.79	57
35	ANTIM	100%	2.08	2.77	45	18%	52	-0.61	61
36	ESTRO	28%	1.98	16.44	13	20%	42	-10.11	11
37	SILÍC	62%	1.89	6.92	25	21%	37	-4.78	28
38	ESTAN	94%	1.78	4.00	39	38%	20	-5.96	22
39	ALUMI	100%	1.57	1.68	53	42%	13	-0.58	62
40	COBRE	32%	1.29	8.88	22	20%	40	-8.45	14
41	MANGA	100%	1.20	1.91	51	21%	38	-1.84	44
42	CLORO	40%	0.91	4.87	37	19%	46	-5.97	21
43	ENXOF	34%	0.88	5.59	31	18%	50	-6.66	17
44	PLATI	100%	0.88	0.96	57	22%	36	-0.31	68
45	ZINCO	30%	0.80	5.86	29	20%	41	-8.40	15
46	NÍQUE	14%	0.72	11.19	18	11%	65	-9.66	12
47	LANTA	100%	0.66	0.80	60	32%	25	-1.27	52
48	OURO	100%	0.55	0.77	61	13%	60	-0.78	58
49	BORO	100%	0.54	0.74	62	13%	58	-0.72	59
50	HÁFNI	100%	0.54	0.84	59	23%	34	-1.67	47
51	CÁLCI	48%	0.48	2.11	50	22%	35	-4.75	29
52	VANÁD	42%	0.42	2.20	49	11%	63	-3.05	37
53	OXIGÊ	46%	0.38	1.76	52	26%	29	-5.25	23
54	RUTÊN	30%	0.33	2.29	47	12%	62	-4.12	33
55	ESCÂN	32%	0.31	2.20	48	5%	69	-1.93	43
56	SÓDIO	12%	0.31	5.23	34	14%	57	-10.77	9
57	TÁLIO	100%	0.26	0.28	65	25%	30	-0.39	66
58	IODO	38%	0.26	1.34	55	40%	18	-7.58	16
59	HÉLIO	100%	0.23	0.26	66	10%	68	-0.18	69
60	RUBÍD	8%	0.20	4.89	36	12%	61	-12.26	7
61	FLUOR	40%	0.20	1.03	56	20%	39	-3.85	34
62	COBAL	10%	0.17	3.39	42	14%	56	-10.80	8
63	CROMO	78%	0.15	0.40	64	18%	51	-1.61	48
64	NEON	26%	0.12	0.95	58	17%	53	-4.22	30
65	FÓSFO	10%	0.07	1.42	54	11%	64	-6.46	18
66	FERRO	30%	0.07	0.48	63	10%	67	-2.07	40
67	WOLFR	56%	0.04	0.16	68	19%	48	-1.39	50
68	HIDRO	44%	0.04	0.17	67	10%	66	-1.06	53
69	BÁRIO	36%	0.01	0.06	69	15%	55	-0.90	55

5.1.8 Seleção do Melhor Portifólio

Para a seleção do melhor portfólio para os próximos anos, dois fatos importantes são assumidos: primeiro que a RIFTOIL participará nos projetos num nível igual à sua participação ótima no projeto, ou seja, conseguirá vender todas as frações que desejar e, segundo, investirá todos os seus 40 MM US\$ em parcerias.

Essa solução foi encontrada usando-se programação linear, com o objetivo de maximizar o valor do equivalente certo da carteira de projetos, tendo como restrição um capital de US\$ 40 milhões e um índice de aversão ao risco de 0.0303, ou seja, uma tolerância ao risco de US\$ 33 milhões. Os melhores portfólios para os próximos dois anos está mostrado na tabela 5.1.3.

As tabelas 5.1.3a e 5.1.3b mostram a seleção dos melhores projetos para execução pela RIFTOIL para o 1º. e 2º. ano, respectivamente. No primeiro ano, a RIFTOIL participará sozinha em 18 projetos e se associará na exploração de 3 projetos, trabalhando com um equivalente certo da carteira de 147.23 MM de dólares. No segundo ano, ela investirá sozinha em 8 projetos e se associará na exploração de 5 projetos, com o equivalente certo, agora menor, de 65,83 MM de dólares.

5.1.9 Aspectos relevantes da análise

1. Dada uma carteira de projetos de risco, é possível priorizá-los de acordo com o seu equivalente certo, que leva em conta o valor monetário do projeto e o nível de tolerância ao risco que a firma está decidida a correr.
2. Esse método explicita em um gráfico o nível de tolerância ao risco que precisa ter a firma para que sua participação de 100% em cada projeto seja ótima. Esse gráfico facilita a definição, pela firma, do coeficiente de aversão ao risco que a mesma está disposta a adotar para o julgamento de todos os seus projetos.

Tabela 5.1.3: Seleção dos melhores projetos para compor os portfólios a serem executados pela RIFTOIL nos próximos 2 anos.

Tabela 5.1.3a

MELHOR PORTIFÓLIO ANO I				
Ano	Nome	P. Ótima	Eq.Certo	Custo
1	ÓSMIO	100%	5.74	-0.54
1	RÊNIO	100%	4.68	-0.46
1	IRÍDI	100%	3.04	-0.31
1	LÍTIO	100%	4.69	-0.55
1	SELÊN	100%	13.03	-1.97
1	TITAN	100%	3.02	-0.70
1	XENON	100%	4.21	-1.00
1	BISMU	100%	5.59	-1.33
1	CARBO	100%	18.47	-4.96
1	ARSEN	10%	3.38	-0.92
1	MAGNE	100%	4.90	-1.42
1	ANTIM	100%	2.08	-0.61
1	KRIPT	28%	35.86	-11.23
1	CESIO	100%	2.51	-0.79
1	PALÁD	100%	14.92	-4.87
1	CHUMB	100%	2.74	-0.91
1	MERCÚ	100%	2.31	-0.79
1	PLATI	100%	0.88	-0.31
1	ALUMI	100%	1.57	-0.58
1	GERMÃ	14%	3.63	-1.50
1	CÁDMI	100%	9.97	-4.21
	TOTAL		147.23	-39.95

Tabela 5.1.3b

MELHOR PORTIFÓLIO ANO II				
Ano	Nome	P. Ótima	Eq.Certo	Custo
2	BROMO	9%	18.04	-6.79
2	GÁLIO	62%	8.47	-3.73
2	POTÁS	100%	6.27	-2.97
2	TELÚR	100%	4.14	-2.11
2	TECHN	100%	3.77	-1.95
2	NITRO	100%	2.93	-1.68
2	ÍTRIO	50%	3.38	-2.51
2	HÉLIO	100%	0.23	-0.18
2	NIÓBI	75%	11.45	-10.12
2	PRATA	100%	3.52	-3.63
2	ARGÔN	65%	2.84	-3.26
2	BORO	100%	0.54	-0.72
2	TÁLIO	100%	0.26	-0.39
	TOTAL		65.83	-40.03

Capital Anual da Firma = \$ 40 MM

Equivalente Certo do ANO I : \$ 147.23 MM

Equivalente Certo do ANO II : \$ 65.83 MM

3. A definição do coeficiente de tolerância ao risco da firma é um passo importante para que se possa definir o nível ótimo de participação em cada projeto, dando coerência ao processo de tomada de decisão. Decisão coerente significa avaliar todos os projetos com o mesmo coeficiente de aversão ao risco.

4. Finalmente, esse processo permite definir a melhor seleção de projetos (portifólio) para uma firma executar, maximizando os lucros e minimizando os riscos.

5.2 Estudo de caso n° 2: QUALIFICAÇÃO ORÇAMENTÁRIA DOS INVESTIMENTOS EM EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO

5.2.1 Introdução:

Com a quebra do monopólio do petróleo, deverá entrar em vigor um novo programa de qualificação do orçamento de exploração e produção (E&P) que certamente será bem diferente da distribuição histórica dos investimentos de exploração nas diversas bacias do Brasil.

Com o objetivo de criar um critério racional de distribuição orçamentária, apresenta-se uma metodologia de alocação de recursos para 3 regiões hipotéticas, com dados simulados muito próximos de dados reais (Figura 5.2.1).

Admita-se que a exploração de petróleo no país seja feita de acordo com os termos de um contrato de risco. No cenário internacional, a atividade de exploração e produção de petróleo (E & P) é conduzida sob algum tipo de associação entre empresas ("joint venture"), de maneira a diminuir os investimentos e os riscos inerentes a esse processo.

O modelo agregado simplificado usado nesse trabalho de alocação de recursos está ilustrado na Figura 5.2.1. O país tem 3 bacias (ou regiões) cujas perspectivas geológicas são de descobertas de grandes campos na bacia A (tamanho médio dos campos de 100 milhões de barris), de campos médios na bacia B (média de 20 milhões de barris) e campos pequenos na bacia C (média de 10 milhões de barris).

Normalmente, a distribuição do tamanho de campos de petróleo tem a forma de uma curva log-normal. A Figura 5.2.2 ilustra a simulação numérica da distribuição (percentis) dos tamanhos de campos a serem descobertos na bacia A, usando Monte Carlo. Para simplificação e fácil entendimento no enfoque sobre orçamentação, será usado nesse estudo o valor médio como representativo dos vários campos a serem descobertos em cada bacia. Já no estudo de caso n. 3, esses cálculos são feitos com a própria distribuição probabilística e não só para um valor médio.

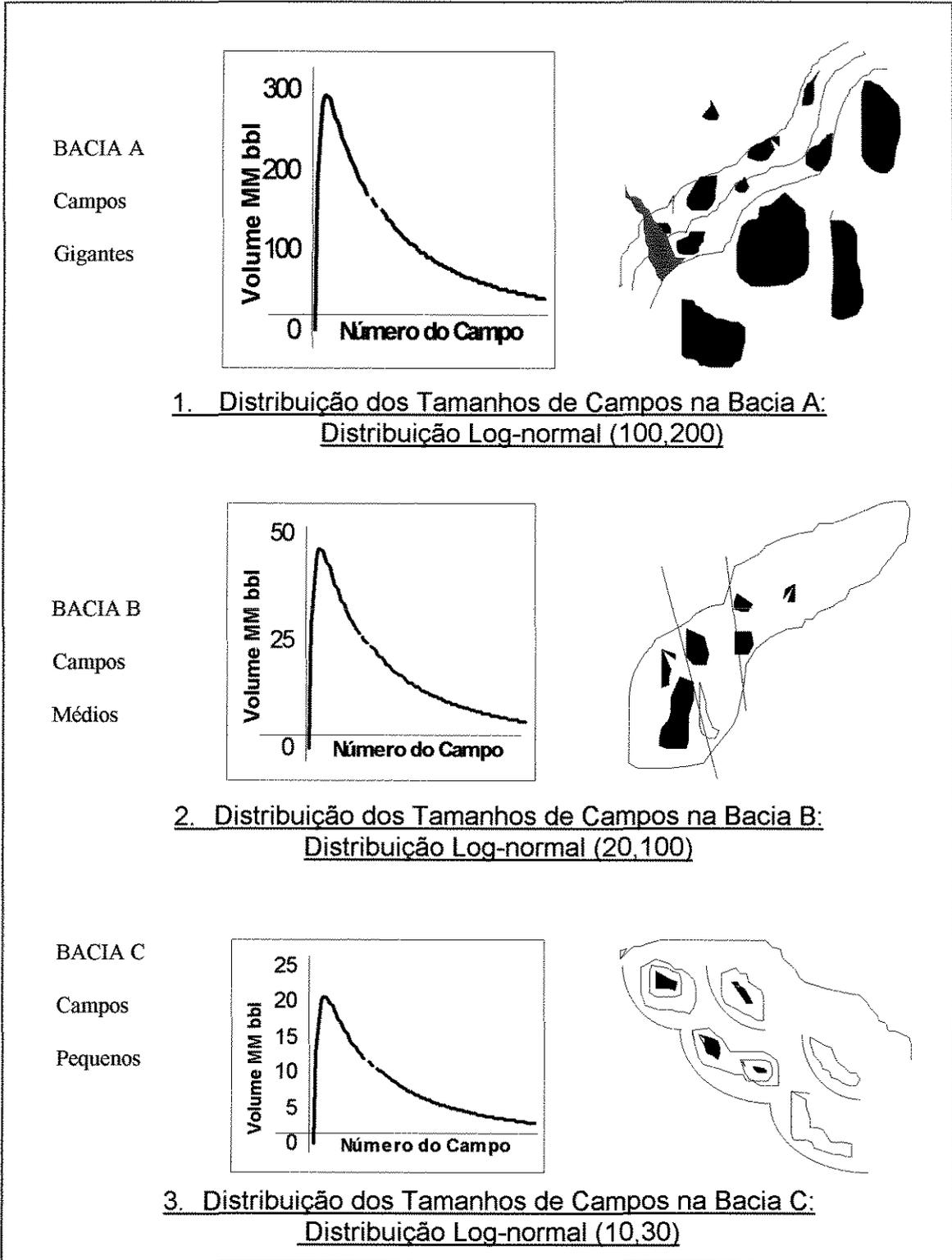


Figura 5.2.1: Modelo adotado para qualificação do orçamento na área de exploração de petróleo.

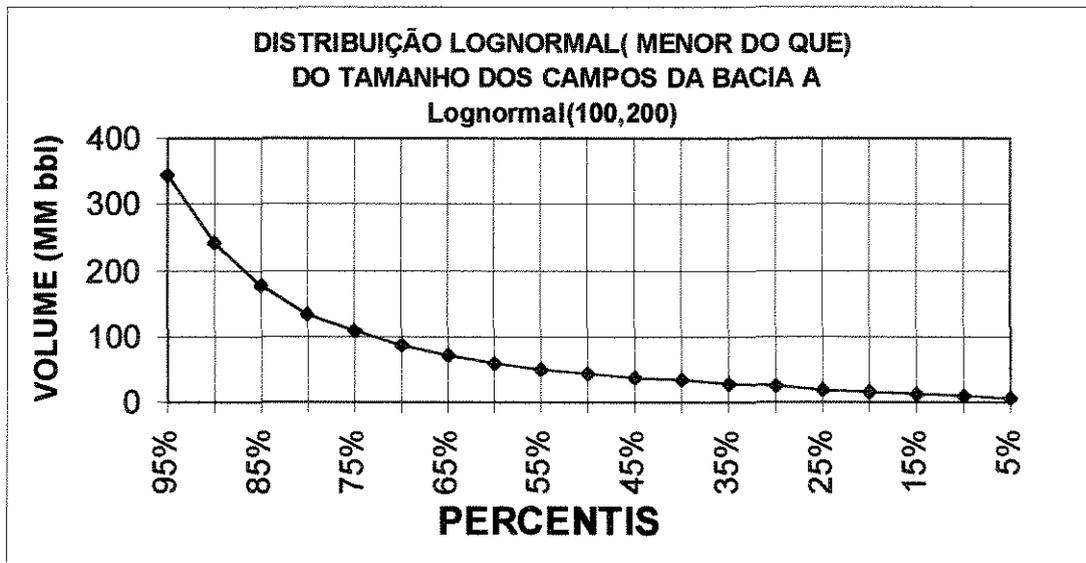


Figura 5.2.2: Distribuição probabilística (menor do que) dos tamanhos de campos da bacia A.

Figura obtida utilizando-se o programa @Risk da Palisade.

5.2.2 Dados dos projetos em cada bacia

A bacia A tem potencial de 10 bilhões de barris de óleo em campos com tamanho médio de 100 milhões de barris. O custo operacional de cada projeto exploratório é de 8 milhões de dólares e a probabilidade de sucesso histórico alcançada com a tecnologia disponível é de 1:4 (1 poço com óleo para cada 4 poços perfurados).

A bacia B tem potencial de 1 bilhão de barris de óleo, com tamanho médio de campos de 20 milhões de barris. O custo operacional médio de cada projeto exploratório é de 6 milhões de dólares e a probabilidade de sucesso histórico alcançada com a tecnologia disponível é de 1:4.

A bacia C tem potencial de 500 milhões de barris de óleo, em campos com tamanho médio de 10 milhões de barris. O custo operacional médio de cada projeto exploratório é de 3 milhões de dólares e a probabilidade de sucesso histórico alcançada com a tecnologia disponível é de 1:4.

A Tabela 5.2.1 traz um sumário dos dados do modelo. FAE é o fator de aproveitamento Econômico do campo, definido por SILVA & TERRANA(1989), e VPL é o valor presente líquido de cada projeto calculado por: $VPL = FAE * Volume * Preço$.

Tabela 5.2.1 Dados de entrada do modelo

	Bacia A	Bacia B	Bacia C
Tamanho médio dos campos (MM barris)	100	20	10
Custos dos Projetos (MM US\$)	8	6	3
Probabilidade de Sucesso (%)	25	25	25
Preço do Óleo US\$	18	18	18
FAE (%)	30	30	30
VPL (MM US\$)	540	108	54

5.2.3 O Problema :

O problema é de alocação de recursos financeiros em três regiões ou bacias, definindo o nível ótimo de participação da firma em cada projeto. Claro que, ao se definir a melhor alocação de capital, também se está definindo o nível ótimo de atividade nessas três bacias.

5.2.4 Solução:

O primeiro passo para a solução desse problema é a determinação do coeficiente de aversão ao risco apresentado pela firma.

5.2.4.1 Coeficiente de aversão ao risco

Como foi visto no Capítulo 2, considerações genéricas sobre o comportamento dos gerentes de exploração de petróleo são ferramentas robustas para se delinear um critério de avaliação de prospectos de risco. Assim a função exponencial do tipo $U(x) = -e^{-cx}$ é a função mais utilizada na indústria de exploração de petróleo, onde o c é o coeficiente de aversão ao risco que é característico de cada gerente e tem uma forte relação com o tamanho da empresa, ou seja, com o capital exploratório anual da companhia.

A Equação 3.6 (apresentada no Capítulo 3) traz a relação entre o coeficiente de aversão e o nível ótimo de participação nos projetos, encontrada pela maximização do equivalente certo do projeto. Parte-se do pressuposto de que todo gerente busca a participação que maximiza o equivalente certo do projeto ($c = \frac{\text{Ln}[-pVPL_1 / (1-p)VPL_2]}{X_{otimo}(VPL_1 - VPL_2)}$).

Portanto, a Figura 5.2.3, construída a partir dessa equação, permite a seguinte análise:

1. Para uma situação de monopólio (participação de 100%) os níveis de aversão ao risco variam de bacia para bacia, tornando-se inconsistentes com a função de preferência definida anteriormente, em que o coeficiente de aversão ao risco financeiro é constante, dado que ele só depende do capital da firma e da disposição do gerente em correr risco.

2. Adotando-se o nível de aversão ao risco igual a c_3 , valor que define um nível ótimo de 100% para os projetos da Bacia C, a participação nos projetos da bacia B será ótima para uma participação de 52%, enquanto que para os projetos de A, a participação ótima será de 18% (Figura 5.2.4).

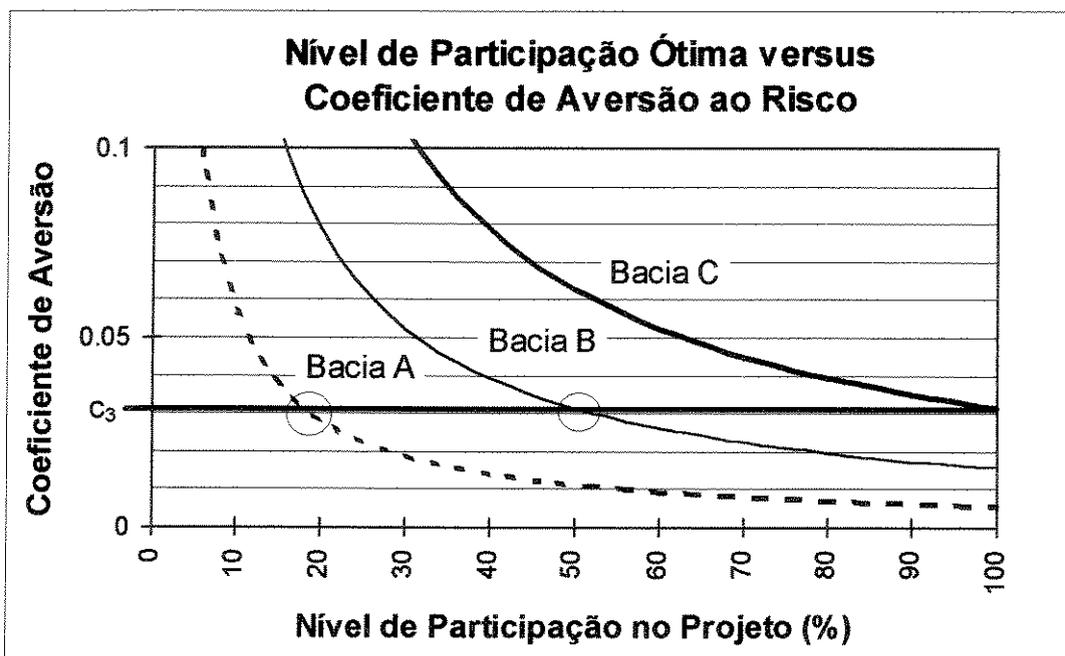


Figura 5.2.3. Índice de Aversão ao risco definido pela escolha do nível de participação.

Esse é um dado surpreendente, pois os níveis ótimos de participação nos melhores projetos (projetos da bacia A e B), não são necessariamente de 100% como acreditava-se intuitivamente. Normalmente, os melhores projetos envolvem maiores riscos e essa determinação intuitiva dos níveis de participação não considera o risco financeiro que muitas vezes é alto, expondo a firma a perdas que ela pode não ser capaz de suportar.

Por outro lado, deve-se investir mais dinheiro nos melhores projetos, mas isso não significa que a participação deva ser maior nos melhores e maiores projetos.

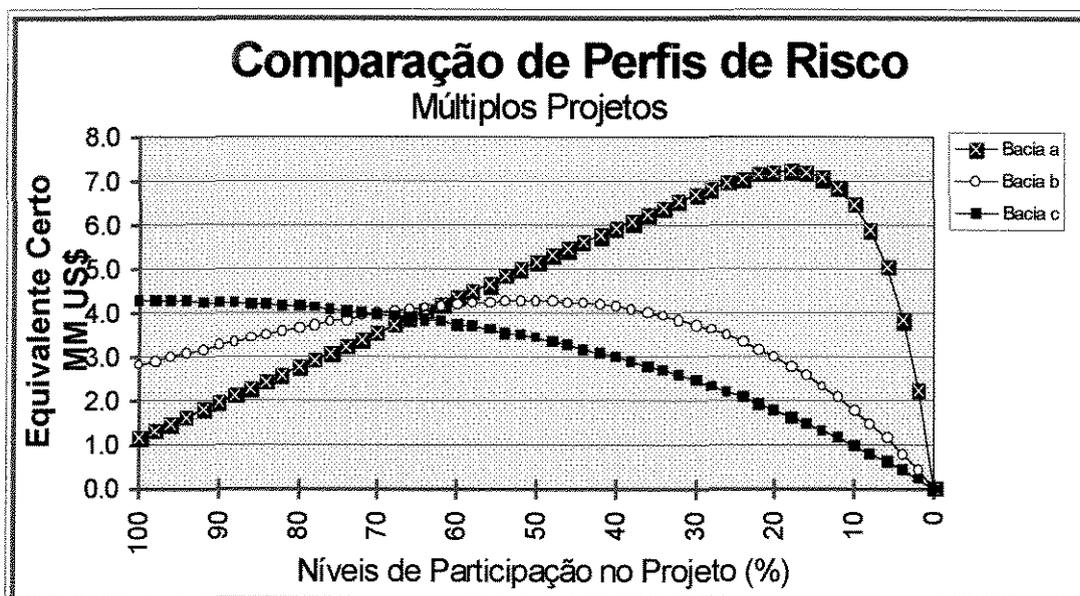


Figura 5.2.4: Comparação de perfis de risco dos projetos médios das três regiões considerando como índice de aversão ao risco o valor c_3 , que é o valor que maximiza o equivalente certo do projeto médio da bacia C para uma participação de 100%.

O gráfico da figura 5.2.4 mostra claramente que para uma participação de 100%, a ordem de importância dos projetos são: $C > B > A^1$. Por outro lado para um nível de participação financeira inferior a 60%, tem-se uma ordem inversa $A > B > C$. Isso mostra a importância da associação do tipo “joint venture” (participação fracionadas) nos projetos de risco.

5.2.4.2 Qualificação do Orçamento

Discutem-se aqui três cenários na qualificação orçamentária. O primeiro poderia ser sintetizado fazendo a seguinte pergunta: Qual o orçamento que deveria ser alocado a cada uma dessas regiões(bacias) para uma situação de monopólio, ou seja, para uma participação de 100% em cada projeto de E& P?

Faz-se uso aqui da teoria da preferência para a tomada de decisão na orçamentação do capital. Essa teoria está intensamente discutida no Capítulo 3 desse trabalho. A teoria da preferência aplica-se a projetos que envolvem riscos, sendo importante porque dá coerência ao processo de alocação de recursos, dando consistência aos sentimentos, atitudes e preferências do tomador de decisão frente ao risco.

Existe uma relação entre o capital e o coeficiente de aversão ao risco financeiro. Daniel Bernoulli, em 1738, estudando o paradoxo de San Petersburg (NEWENDORP,1975) concluiu que a preferência do indivíduo (utilidade e desejabilidade) para dinheiro é inversamente proporcional ao montante que ele tem. A implicação matemática da idéia de Bernoulli é que a relação entre os montantes de dinheiro e as correspondentes preferências para dinheiro segue a forma de uma função logarítmica. E um estudo realizado em 50 empresas americanas de exploração de petróleo, WALLS & DYER (1992) concluíram empiricamente que o nível de tolerância ao risco nessas empresas é igual a ¼ do capital exploratório anual, ou seja $c = 4/\text{Capital exploratório anual}$.

Portanto, assumindo-se que a função de preferência é uma função exponencial do tipo $U(x) = -e^{-cx}$, descrita anteriormente, e a tolerância ao risco $(1/c)$ é ¼ do capital exploratório anual, a alocação de capital (K) para essas regiões para que o equivalente certo fosse máximo para uma participação de 100% seria dado pela Equação 5.2.1(ver anexo A):

$$K = \frac{4 (VPL_1 - VPL_2)}{\text{Ln}(-pVPL_1/((1-p)VPL_2))} \quad (5.2.1)$$

A Tabela 5.2.2 sumariza a alocação ótima de recursos para cada bacia para que o equivalente certo seja máximo.

Tabela 5.2.2. Alocação ótima de recursos por região (cenário 1)

Regiões	Região A	Região B	Região C	Total E&P
Orçamento (MM US\$)	704	254	127	1085
Nível de Atividade (no. de poços anuais)	88	42	42	172

O segundo cenário, que é o mais comum, visto que a indústria de exploração de petróleo está enfrentando tempos de dificuldades financeiras por causa dos baixos preços do petróleo cru no mercado mundial, seria: Qual o nível de participação financeira ótima em cada projeto, sabendo que o orçamento global da firma é pequeno (US\$ 240 MM).

Essa situação, derivada da primeira, reside na alocação de recursos em cada projeto.

Assumindo esse comportamento-padrão frente ao risco descrito acima, dado o capital exploratório anual da firma, é possível determinar o nível ótimo de participação financeira da firma nas parcerias para perfuração de cada prospecto, pois a relação entre o capital e o nível ótimo de participação é uma função linear dada pela Equação 5.2.2. (Figura 5.2.5).

$$X_{\max} = K \left(\frac{\ln(-pVPL_1 / ((1-p)VPL_2))}{4(VPL_1 - VPL_2)} \right) \quad (5.2.2)$$

em que:

K = capital exploratório anual

X_{\max} = Nível ótimo de participação financeira da firma

VPL_1 e VPL_2 = VPL de sucesso e de insucesso, respectivamente.

p = probabilidade de sucesso do projeto

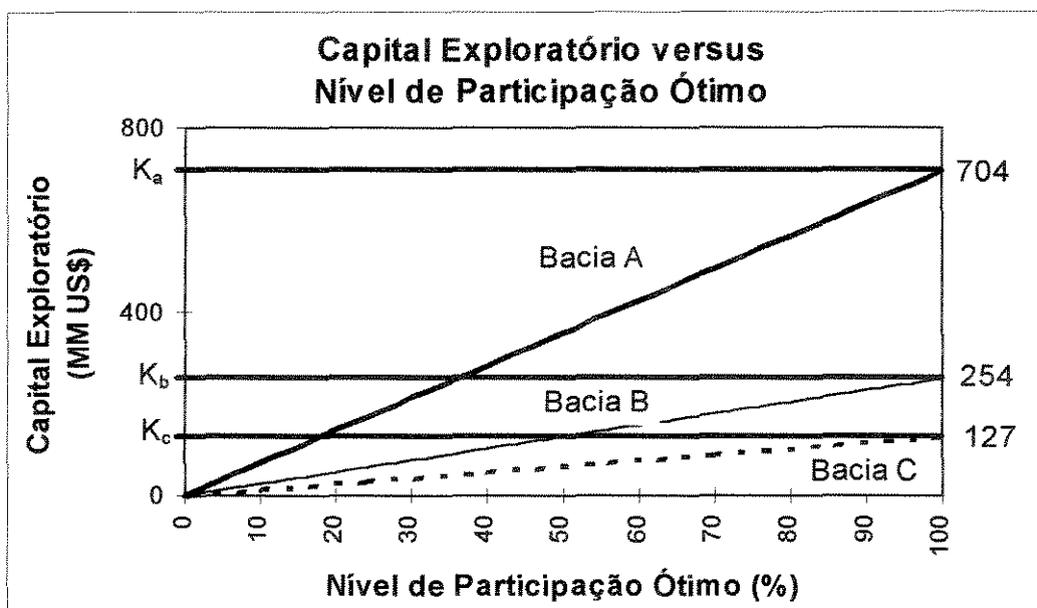


Figura 5.2.5 - Relação entre o capital da firma e o nível ótimo de participação nos projetos. Esses valores foram calculados usando o índice de aversão ao risco igual a $4/\text{capital exploratório anual}$.

Pela análise do gráfico na Figura 5.2.5, ou analiticamente pela equação 5.2.2, verifica-se que uma firma com capital exploratório anual de US\$ 240 MM apresenta um nível ótimo de participação de 34% nos projetos da bacia A, 94% nos projetos da bacia B e 100% nos projetos da bacia C.

O terceiro cenário é o que está mais intuitivamente na cabeça das pessoas: Qual o nível de participação ótimo em cada projeto nessas bacias, admitindo-se que do orçamento global da firma de US\$ 240 MM, 60% serão alocados na melhor bacia (A), 30% na bacia média(B) e 10% na pior bacia(C)?.

Poder-se-ia imaginar uma “holding” com 3 subsidiárias ou 3 distritos, na qual se trabalharia com o índice de aversão ao risco expresso pela “holding” e índices de aversão ao risco derivado das subsidiárias.

Inicialmente, assume-se que o nível de aversão a ser usado será igual ao índice de aversão da “holding”, já que em última instância seria ela que decidiria tudo, ou seja, $c_a=c_b=c_c=c_{\text{holding}}$.

Os coeficientes de aversão ao risco derivados para cada uma das subsidiárias podem ser obtidos da relação $c = \alpha/\text{capital exploratório anual}$.

Conforme visto anteriormente, um estudo empírico de WALLS e DYER(1992) mostrou que $\alpha = 4$, aproximadamente, para as 50 empresas americanas entre o período de 1981 a 1990.

Assim,

$$C_{\text{holding}} = 4/240 = 0.016667$$

$$\alpha/144 = 0.016667 \therefore c_a = 2.4/K_a; c_b = 1.2/K_b; c_c = 0.4/K_c$$

Admitindo-se um nível de aversão ao risco igual a 4/240, significaria que seria ótima uma participação de 34% nos projetos da bacia A, 94% nos projetos da bacia B e 100% nos projetos da bacia C. Com esse nível de participação e com o critérios de orçamentação (60/30/10% do cenário 3), só seria possível participar em $(240 \cdot 0.6)/(8 \cdot 0.34) = 53$ poços em A, $(240 \cdot 0.30)/(6 \cdot 0.94) = 12$ poços em B e $(240 \cdot 0.10)/3 = 8$ poços em C.

Por outro lado, se cada subsidiária desejasse participar de todos os projetos, elas teriam que reduzir seus níveis de participação em cada prospecto, significando que estariam redefinindo seus níveis de aversão ao risco.

Portanto, se a firma vai participar em todos os prospectos, sua participação tem que ser compatível com o capital disponível para cada bacia.

$$K_{\text{total}} = K_a + K_b + K_c$$

em que: $K_{\text{total}} = \text{Capital da "holding"} = \text{US\$ } 240 \text{ MM}$

$K_a = \text{Capital do distrito A} = 60\% \text{ do } K_{\text{total}} = \text{US\$ } 144 \text{ MM}$

$K_b = \text{Capital do distrito B} = 30\% \text{ do } K_{\text{total}} = \text{US\$ } 72 \text{ MM}$

$K_c = \text{Capital do distrito C} = 10\% \text{ do } K_{\text{total}} = \text{US\$ } 24 \text{ MM}$

$$e \quad c = 4/K_{\text{total}}, c_a = 4/K_a; c_b = 4/K_b; c_c = 4/K_c$$

$$c = 4/240; c_a = 4/144; c_b = 4/72; c_c = 4/24$$

em que, $c_i = \text{coeficiente de aversão ao risco para a subsidiária } i$.

Pode-se observar que quando se aloca um capital de US\$ 144 MM para a subsidiária A e considerando $c = 4/\text{capital exploratório anual}$, sua participação ótima em cada projeto é de 20,5%, (aplicação direta da Equação 5.2.2); para a alocação de 30% dos recursos na bacia B, ter-se-ia um percentual ótimo de participação em cada projeto de 28,3% e com 10% dos recursos na bacia C,

ter-se-ia um percentual ótimo de participação em cada projeto da bacia C de 18,9% (Tabela 5.2.3).

Tabela 5.2.3. Alocação ótima de recursos por região (cenários 2 e 3)

Regiões	Região A	Região B	Região C	Total E&P
Orçamento (US\$ milhões)	144	72	24	240
Percentual do invest. da firma	60%	30%	10%	100%
Nível Ótimo de Atividade	88	42	42	172
$c_a = c_b = c_c = c_{\text{holding}} = 4/240$				
Nível de participação Ótima	34%	94%	100%	
No. de Projetos anuais (Poços) que a firma pode participar	51	12	8	71
$c_a = 4/144; c_b = 4/72; c_c = 4/24$				
Nível de participação Ótima	20,5%	28,3%	18,9%	
No. de Projetos anuais (Poços)	88	42	42	172

5.2.5 Aspectos relevantes da análise:

- 1) O coeficiente de aversão ao risco depende do capital da firma e não do projeto. Os projetos têm seus riscos e seus ganhos. O nível de preferência do tomador de decisão frente às chances de ganhos e perdas depende da capacidade da firma de absorver perdas e de sua disposição de correr riscos.
- 2) O fato observado mais interessante é que intuitivamente define-se o nível de participação maior nos melhores projetos. Mas isso não resiste a uma análise racional do problema. Esses projetos têm riscos e, normalmente, altos custos de investimento. A teoria da preferência leva em conta o risco e a capacidade financeira da companhia de suportar perdas, especificando o nível ótimo de participação financeira em cada projeto. Com isso, reduz riscos e preserva a capacidade financeira da firma, num processo coerente com a atitude e disposição do tomador de decisão de correr riscos.
- 3) É possível especificar o orçamento ótimo para cada área de E & P, considerando as características dos projetos e a curva de preferência da companhia em relação ao risco, assim como é possível determinar o nível ótimo de atividade em cada região.

5.3 Estudo de caso n°.3: PARCERIAS NA ÁREA DE EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO

5.3.1 Introdução

Para esse estudo de caso, escolheram-se os dados da Bacia de Campos, publicados por FIGUEIREDO *et alii* (1990).

O “play”¹ Lagoa Feia é o mais profundo da bacia, sotoposto a uma espessa camada de sal, apresentando um grande potencial para óleo de boa qualidade e gás, porém requerendo altos investimentos e apresentando alto risco geológico, devido à dificuldade de uma melhor imagem de sub-superfície via sísmica de reflexão. Tal quadro recomenda a busca de parcerias para exploração de petróleo para esse “play” em particular.

FIGUEIREDO *et alii* (*op. cit.*) resumiram o estágio do conhecimento e as perspectivas futuras de cada prospecto da Bacia de Campos, a saber: Basaltos, Coquinas Lagoa Feia, Macaé Água Rasa, Arenitos Namorado e Arenitos Carapebus, desmembrados em arenitos cretácicos, eocênicos, oligocênicos e miocênicos.

Nesse estudo de caso, definiu-se o “play horizontes profundos” que engloba os prospectos: Basaltos, Coquinas Lagoa Feia, Macaé Água Rasa. (Figura 5.3.1). Esses dados extraídos de FIGUEIREDO *et alii* (*op.cit.*) podem perfeitamente delinear um quadro real atual para a exploração desse “play”, desde que, de 1990 até hoje, as atividades exploratórias da Bacia de Campos concentraram-se nas descobertas e desenvolvimentos dos campos gigantes em águas profundas para os objetivos mais rasos (arenitos do Eoceno, Oligoceno e Mioceno) e poucos poços foram perfurados para exploração desses horizontes mais profundos.

¹ Play é uma palavra usada na indústria do petróleo para significar um conjunto de prospectos exploratórios com características geológicas ou exploratórias comuns.

Até hoje, foram descobertos nesse “play” quatro campos de óleo (Badejo, Linguado, Trilha e Pampo). A exploração para esse “play” é feita com poços bastante profundos, normalmente mais de 4000 metros de profundidade, e que têm de atravessar a camada de sal que está sobreposta à Formação Lagoa Feia, tornando o custo de cada poço muito elevado, praticamente em torno de 17 milhões de dólares.

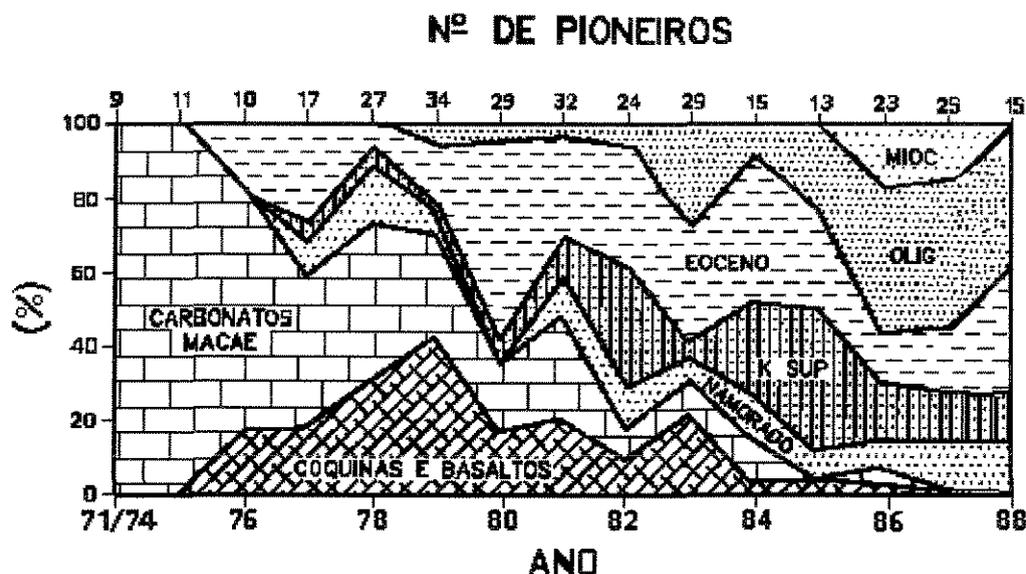


Figura 5.3.1. Distribuição dos objetivos principais (em %) dos poços exploratórios da Bacia de Campos.

Fonte: FIGUEIREDO *et alii*, 1990.

A descrição apresentada por FIGUEIREDO *et alii* (1990) para os quatros principais reservatórios é a seguinte:

“Reservatórios: Basalto da Formação Cabiúnas”

“A seqüência vulcânica basáltica produz óleo na área sul da bacia, nos campos de Badejo e Linguado, situados no Alto de Badejo. Este objetivo foi atingido por 88 poços exploratórios, sendo objetivo principal em oito deles (9%): três foram classificados como produtores de óleo, com um índice de sucesso de 37,5% e, os demais, como sub-comerciais de óleo. O VOEIP² descoberto até o momento é de $10,9 \times 10^6 \text{ m}^3$ (68 milhões de bbl) e as estimativas do “play analysis” indicam a possibilidade da descoberta de $21 \times 10^6 \text{ m}^3$ em lâminas de águas de 0 a 400 m, no prolongamento do Alto de Badejo.”

² VOEIP é o Volume de Óleo Equivalente “in place”, ou seja a quantidade de óleo no reservatório

“Reservatórios da Formação Lagoa Feia: “

“ Este objetivo, principalmente constituído por coquinas, tem sido perfurado ao longo dos últimos 15 anos de investigação da bacia, à exceção dos últimos anos, devido à inexistência de equipamentos de perfuração adequados para atingir este “play” a elevadas profundidades (Figura 5.3.1). Estes reservatórios foram atravessados por 148 poços na bacia, sendo objetivo principal em 96 deles (66%). Destes, 24 foram produtores de óleo (IS = 25%), 16 subcomerciais de óleo, 02 subcomerciais de gás e 50 secos. Estes reservatórios são produtores de óleo em 4 campos (Badejo, Linguado, Trilha e Pampo), todos situados no Alto de Badejo. O VOEIP apropriado até agora foi de $104,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ (658 milhões de barris). O “play analysis” mostra que podem ser ainda descobertos cerca de $125 \times 10^6 \text{ m}^3$ de óleo equivalente, a maior parte em lâmina d’água entre 400 e 1000 m, acumulados em coquinas desenvolvidas em proeminentes altos estruturais abaixo de diversos campos de óleo, produtores em horizontes mais rasos. Os clásticos Lagoa Feia, não produtores até o momento, apresentam pelo “play analysis” uma expectativa de se localizar $10,9 \times 10^6 \text{ m}^3$ de óleo equivalente em lâmina d’água de até 400 metros”.

“Reservatórios da Formação Macaé ‘Água Rasa’ “

“Este objetivo, em sua maior parte formado por calcários de alta energia, foi atingido por 353 poços exploratórios, dentre os quais 87 (25%) tiveram como objetivo principal, a maioria na década de 70. Como resultado, obteve-se produção de óleo em 14 poços (IS=16%), sendo os demais secos (50) ou subcomerciais (22). Esses reservatórios são produtores de óleo em 3 campos (Garoupa, Pampo e Linguado). O VOEIP descoberto é da ordem de $750 \times 10^6 \text{ m}^3$ (4,7 bilhões de barris) e o “play analysis” indica a probabilidade de serem encontrados $82 \times 10^6 \text{ m}^3$ de óleo equivalente, quase que exclusivamente em águas entre 100 e 1.000 metros de profundidade, associados a estruturas halocinéticas de grande porte do tipo casco de tartaruga. “

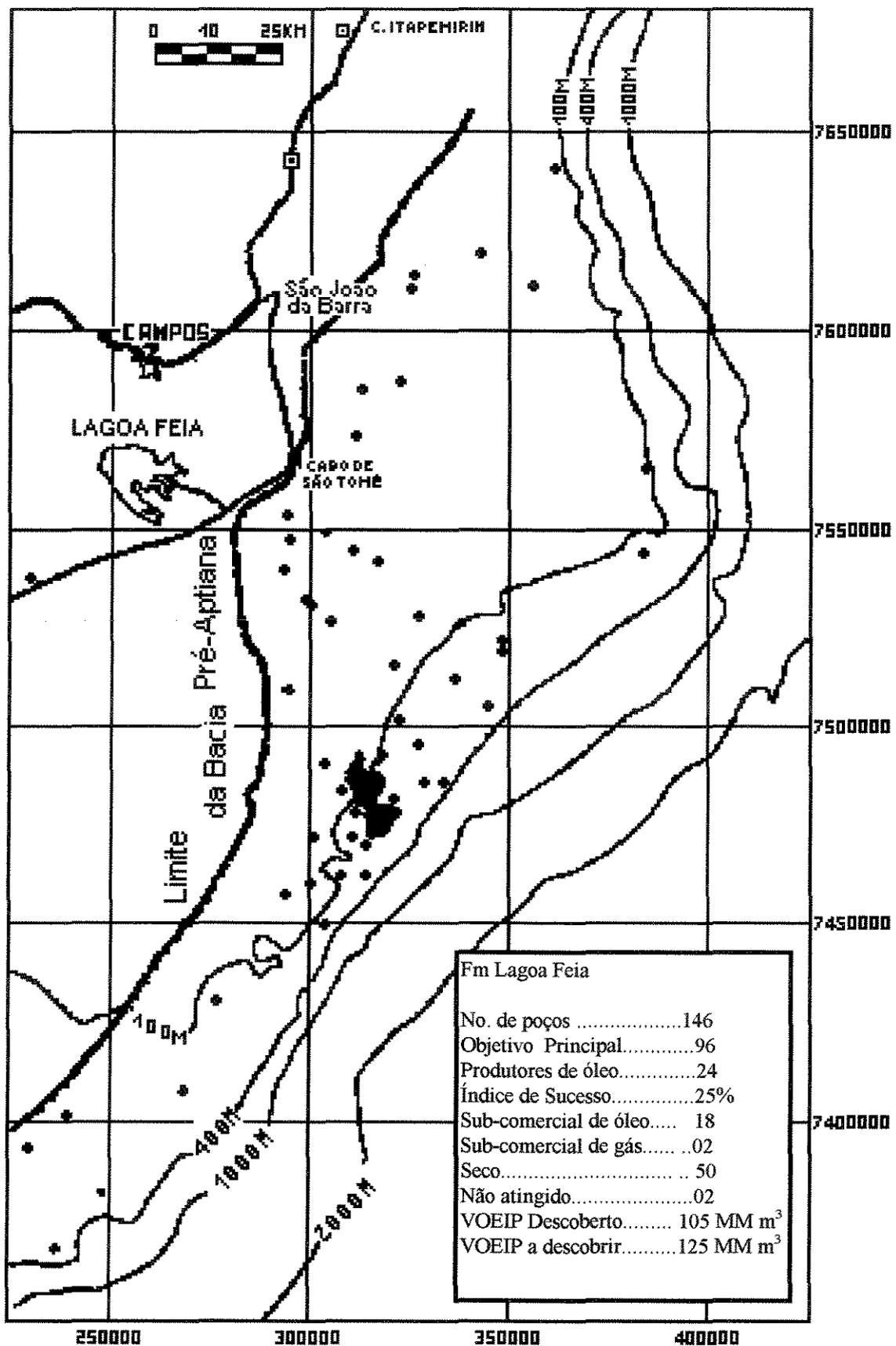


Figura 5.3.2. Dados estatísticos da Formação Lagoa Feia.

Fonte: FIGUEIREDO *et alii* (1990)

A Figura 5.3.2, publicada por FIGUEIREDO et alii (1990), traz um sumário das atividades e resultados exploratórios desse “play” e mostra que o “play” horizontes profundos, principalmente a Fm. Lagoa Feia, não está explorado em águas profundas, ou seja, em cotas batimétricas maiores que 400 metros, deixando em aberto todo o potencial exploratório do mesmo.

5.3.2 O Problema:

O problema é de definição de níveis de parcerias para projetos de altos investimentos e alto risco para exploração de novas acumulações em horizontes profundos em áreas já produtoras de petróleo. Qual deve ser o investimento nesse “play”? e qual o nível ótimo de parceria? (venda de participações para a exploração de novos prospectos).

5.3.3 Os dados do problema:

Tamanho dos campos a serem descobertos: nesse “play” foram descobertos quatro campos de petróleo (Badejo, Linguado, Trilha e Pampo) propiciando um volume de óleo equivalente “in place” (VOEIP) de 3184 milhões de barris e um volume de óleo equivalente recuperável (VOER) de 586 milhões de barris de óleo (fator de recuperação médio de 18%), (Tabela 5.3.1).

Tabela 5.3.1: Volume de óleo dos campos descobertos no “play” horizontes profundos: “play” Lagoa Feia + “play” Macaé água rasa.

Campos	Volume de óleo “in Place” (VOEIP) (Milhões de barris)	Volume de óleo recuperável (VOER) (Milhões de barris)
Badejo	878.0	35.4
Linguado	669.7	163.4
Trilha	58.5	20.6
Pampo	1577.9	366.9
Total	3184.	586.3

Fonte: Petrobrás(1994)

Usando o programa “BESTFIT” da Palisade Corporation para ajustar esses dados a uma distribuição log-normal, encontra-se uma distribuição com média de 158 MM bbl e desvio-padrão de 265 MM bbl(Figura 5.3.3).

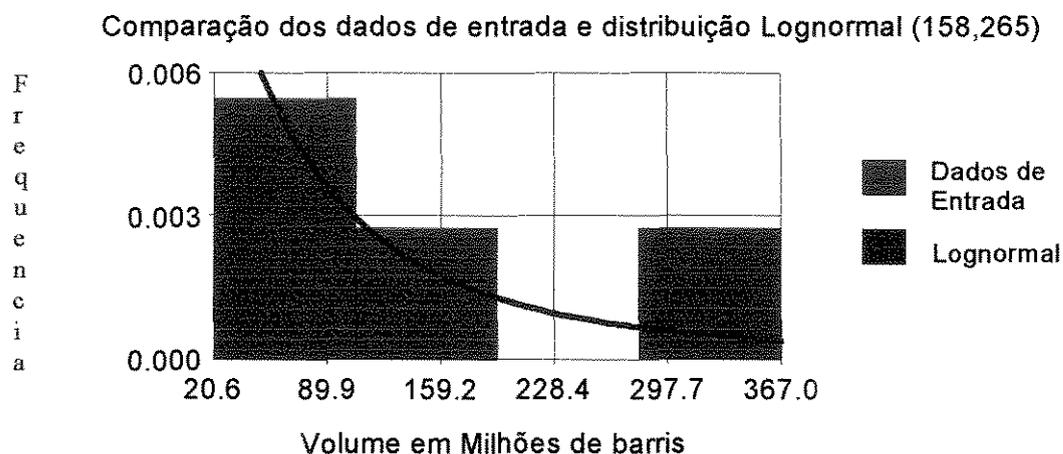


Figura 5.3.3. Ajuste dos dados dos tamanhos dos campos de óleo desse “play” a uma curva log-normal

Essa distribuição log-normal apresenta a seguinte distribuição em percentis:

Tabela 5.3.2. Distribuição lognormal dos tamanhos dos possíveis campos de óleo do “play” “horizontes profundos”.

Percentis	Valor (Volume em MM bbl)	Percentis	Valor (Volume em MM bbl)
5%	12.34	55%	105.45
10%	18.27	60%	118.97
15%	26.52	65%	137.22
20%	33.48	70%	153.80
25%	39.75	75%	178.31
30%	48.48	80%	221.76
35%	57.26	85%	268.10
40%	65.65	90%	350.97
45%	77.56	95%	531.19
50%	88.82		

Analogamente, pode-se expressar a distribuição do volume de óleo versus probabilidade de ocorrência (Figura 5.3.4). Para trabalhar com exemplos simples e objetivos, usa-se um nível de classes igual a 10 para essa distribuição de volumes. Os cálculos foram feitos usando a simulação de Monte Carlo com a ajuda do programa @Risk da Palisade Corporation.

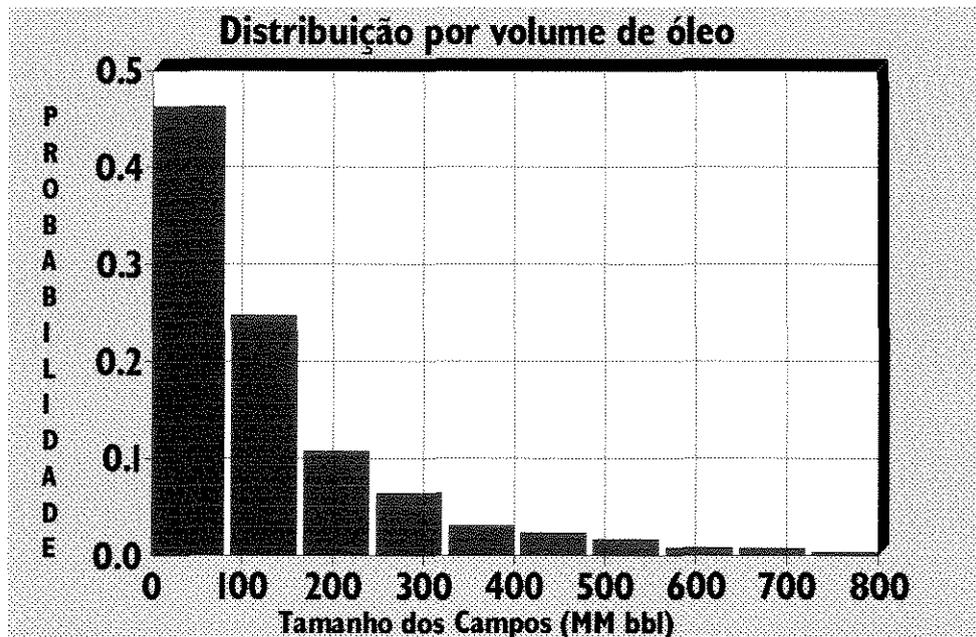


Figura 5.3.4. Distribuição probabilística por volume de óleo. Figura construída com a ajuda do programa @Risk da Palisade Corporation.

O método de avaliação tradicional de risco aplicado para a indústria de petróleo é baseada na simulação estatística do tipo Monte Carlo ou em uma árvore de decisão probabilística mais simples semelhante àquela mostrada na figura 5.3.5.

A árvore de decisão apresentada na figura 5.3.5 facilita a visualização do problema, explicitando as probabilidades de sucesso e a quantidade de óleo a descobrir.

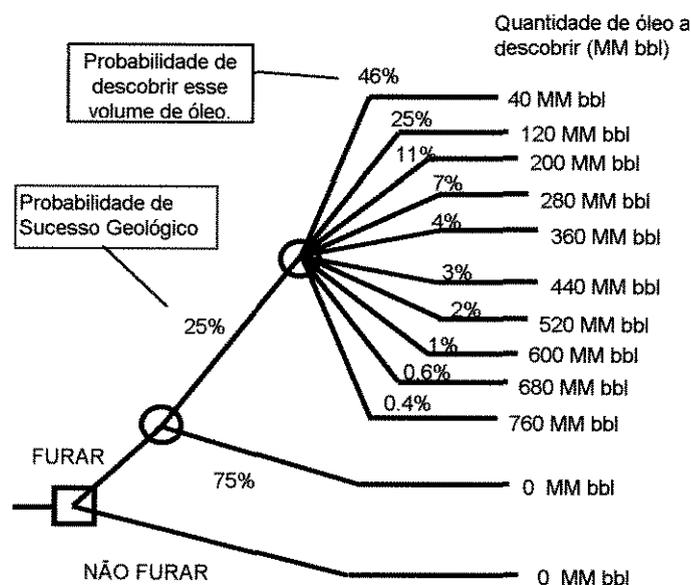


Figura 5.3.5: Árvore de decisão mostrando as probabilidades de ocorrências de cada um dos possíveis resultados da decisão de exploração dos prospectos desse "play" "horizontes profundos".

5.3.4 Dados da Avaliação Econômica.

Para simplificar a análise econômica no lugar de computar todos os gastos com a exploração, delimitação, desenvolvimento e produção, especificando todo o fluxo de caixa, preferiu-se aqui nesse trabalho usar o fator de aproveitamento econômico (FAE), definido por SILVA & TERRANA (1989). O FAE é definido como:

$$\text{FAE} = (\text{Valor Presente Líquido}) / (\text{Volume de Petróleo} * \text{Preço})$$

Esse índice definido para cada bacia, região, país, etc, depende das facilidades de infra-estrutura, impostos, royalties, etc. No Brasil, ele varia entre 20 e 50%. Mas, considerando que agora novos impostos e taxas deverão ser incluídos nos projetos de exploração e produção de petróleo (E&P), assumiu-se para os cálculos um FAE de 10%, e calculou-se o VPL usando a fórmula:

$$\text{VPL} = \text{Volume de óleo} * \text{FAE} * \text{preço do barril de óleo}$$

Tabela 5.3.3: Dados de Entrada do Projeto

Projeto	Custo MM US\$	Volume de óleo a descobrir MM bbl	Probabilidade de sucesso (%)	FAE (%)	Preço/bbl US\$	VPL MM US\$
Lagoa	17	40	0.1150	10	18	72.00
Feia	17	120	0.0625	10	18	216.00
	17	200	0.0275	10	18	360.00
	17	280	0.0175	10	18	504.00
	17	360	0.0100	10	18	648.00
	17	440	0.0075	10	18	792.00
	17	520	0.0050	10	18	936.00
	17	600	0.0025	10	18	1080.00
	17	680	0.0015	10	18	1224.00
	17	760	0.0010	10	18	1368.00
	17	0	0.7500	10	18	-17.00

O Fluxo de caixa e o valor presente líquido do projeto pode ser calculado, dentro do programa Excel, com a ajuda do programa @Risk para uma distribuição log-normal contínua representando os diversos tamanhos dos campos a serem descobertos. Porém, para visualizar passo a passo a aplicação desse método da teoria da preferência para incorporar a análise de risco na tomada de decisão, usou-se uma árvore de decisão para computar os VPL para cada possível evento do projeto.

5.3.5 Análise de Risco e Equivalente Certo

Em uma distribuição de valor presente líquido(VPL) (Figura 5.3.6), é possível visualizar a magnitude do retorno e o risco do projeto. O VPL não leva em conta o risco, mas o risco é dado pela dispersão da distribuição do VPL.

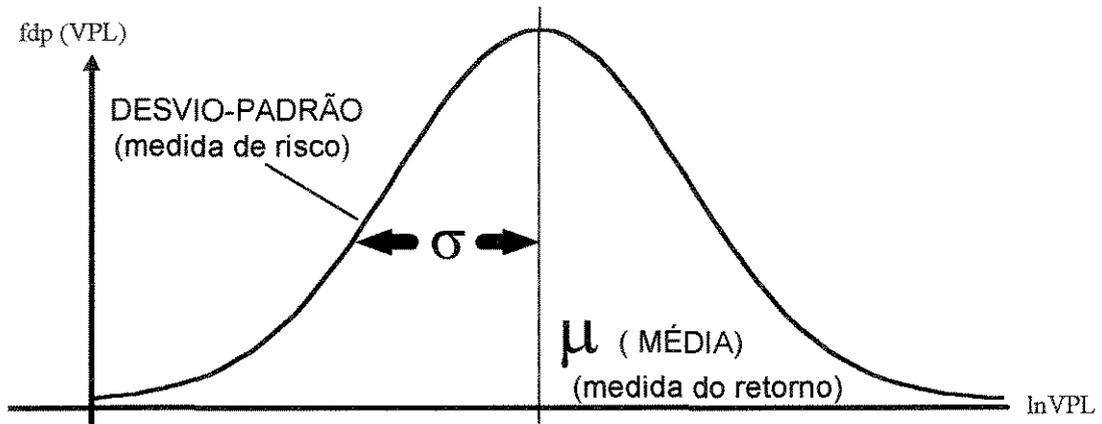


Figura 5.3.6: Função densidade de probabilidade: Distribuição condicional do logaritmo do valor presente líquido do projeto para o tempo t.

Para exemplificar o raciocínio lógico na tomada de decisão, considere os dados de dois projetos A e B, com ganho μ_A e μ_B , no período “t”, e com riscos σ_A , e σ_B , respectivamente. Daí, pode-se concluir que:

Se $\mu_A = \mu_B$ e $\sigma_A < \sigma_B \rightarrow$ “A” é Melhor que “B”

Se $\mu_A < \mu_B$ e $\sigma_A = \sigma_B \rightarrow$ “B” é Melhor que “A”

Se $\mu_A < \mu_B$ e $\sigma_A < \sigma_B \rightarrow$???

Muitas vezes, o valor presente líquido permite comparar e selecionar projetos com riscos diferentes, como algumas das situações expostas acima, mas, muitas outras vezes isso se torna muito complexo. O valor monetário esperado(VME) é uma das ferramentas mais usadas para priorização de projetos de riscos nesses últimos anos, conforme foi discutido no Capítulo 2. Quando a firma tem muito dinheiro ou os custos dos projetos são pequenos relativamente ao capital da firma, o tomador de decisão pode apresentar uma atitude de indiferença ao dinheiro (indiferente ao risco de perdas financeiras) e usar o VME como o critério de tomada de decisão. Quanto maior o VME, melhor o projeto.

Mas se o capital da firma é pequeno, a equação que traz a mesma consistência matemática do VME e ainda leva em consideração a preferência do tomador de decisão frente ao risco financeiro é a equação do equivalente certo dada por:

$$EqC(x) = \frac{-1}{c} \sum_{i=1}^n p_i e^{-c(VPL_i)x}$$

em que, p_i = probabilidade de sucesso do evento i ;

VPL_i = valor presente líquido do evento i

c = coeficiente de aversão ao risco

x = percentual de participação financeira no projeto

Conforme foi discutido no Capítulo 2, em projetos de risco, normalmente o tomador de decisão apresenta aversão ao risco que genericamente pode ser representada por uma função exponencial, e o coeficiente de aversão ao risco expresso pelo tomador de decisão ou organização tem uma relação direta com o tamanho do capital da firma.

Para esse exemplo, considerou-se a função de preferência $U(x) = -e^{-cx}$, e o índice de aversão ao risco igual àquele apresentado pelas empresas internacionais de petróleo, ou seja, c é igual a $4/\text{capital exploratório anual}$.

O plano plurianual de investimento da PETROBRÁS-PPA 1995/99 (Brasil Energia, 1995), mostra que o capital exploratório anual da PETROBRÁS está em torno de 700 milhões de dólares. Estima-se que desse dinheiro, aproximadamente US\$ 200 milhões são gastos com pessoal, despesas com instalações físicas e custos com pesquisas indiretas. Dos US\$ 500 milhões restantes, 50%, ou seja, 250 milhões estão comprometidos com a delimitação e apropriação das reservas dos campos já descobertos. Portanto, a PETROBRÁS dispõe de um capital exploratório anual de US\$ 250 milhões para participar em parcerias para a exploração de novos blocos (projetos).

Assim, o investimento total para parcerias é de 250 milhões de dólares. O objetivo nesse estudo de caso é quantificar quanto investir nos prospectos do “play” “horizontes profundos”.

A Tabela 5.3.4 sintetiza os dados de entrada para o cálculo do equivalente certo para os diferentes níveis de participações.

Tabela 5.3.4. Dados de entrada do projeto

Nome do Projeto	Custo MM US\$	Probabilidade (%)	VPL MM US\$	c
Lagoa Feia	-17.00	0.1150	72.00	0.016000
		0.0625	216.00	
		0.0275	360.00	
		0.0175	504.00	
		0.0100	648.00	
		0.0075	792.00	
		0.0050	936.00	
		0.0025	1080.00	
		0.0015	1224.00	
		0.0010	1368.00	
		0.7500	-17.00	

A Figura 5.3.7 ilustra um dos resultados obtidos com a aplicação da teoria da preferência, que incorpora a análise de risco ao processo de tomada de decisão, definindo o nível ótimo para parcerias nos prospectos do “play” “horizontes profundos” na Bacia de Campos.

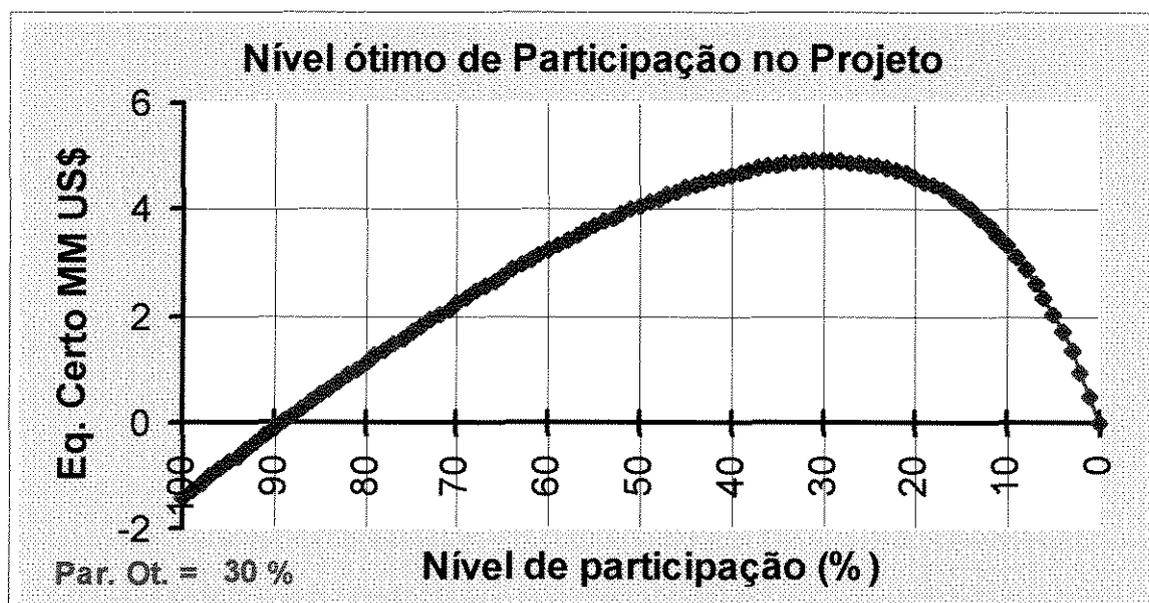


Figura 5.3.7. Nível ótimo de participação para os prospectos do “play” “horizontes profundos” na Bacia de Campos, considerando os dados da tabela 5.3.4.

A Figura 5.3.8 mostra a análise de sensibilidade desse nível de participação, variando independentemente os seguintes parâmetros de entrada: coeficiente de aversão ao risco, probabilidade de sucesso geológico e valor presente líquido do projeto.

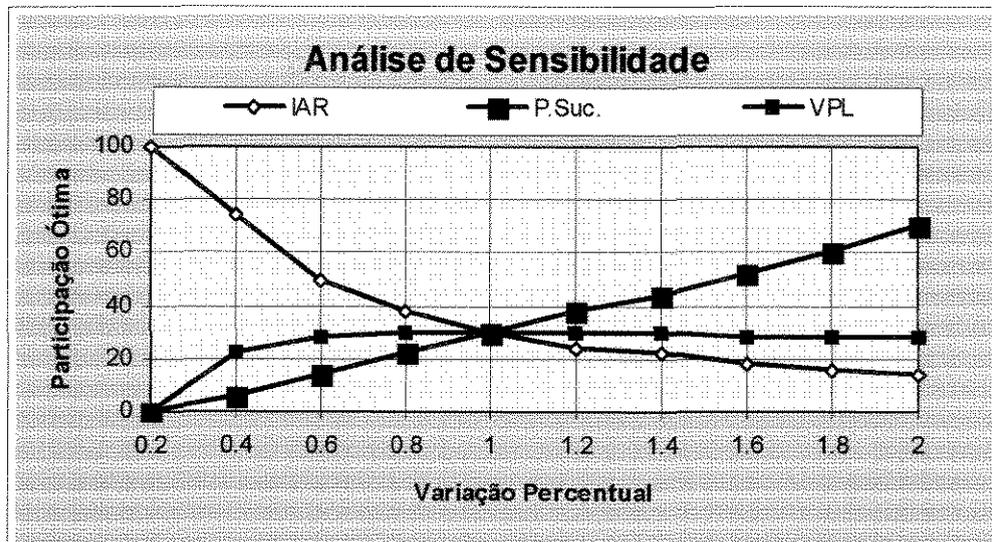


Figura 5.3.8: Análise de Sensibilidade tipo "spider" para os projetos do "play" "horizontes profundos" na Bacia de Campos.

5.3.6 Aspectos relevantes dessa análise

1. O Nível ótimo de participação para uma companhia com 250 milhões de dólares e com nível de aversão de 0,016 é de 30% nesse projeto.
2. A análise de sensibilidade desse projeto (Figura 5.3.8) mostra que, se o nível de aversão for duas vezes menor, o nível ótimo de participação é de 60%. Por outro lado, mesmo que o VPL do projeto seja 2 vezes maior, o nível ótimo de participação continua em torno de 30%.
3. Com um capital de 250 MM de dólares e um nível de participação ótima de 30%, a firma poderia perfurar anualmente 49 prospectos ($np = 250 / (0.30 * 17)$). Isso significa que, com as parcerias sugeridas, é possível a firma investir o seu dinheiro em um número de prospectos 3 vezes maior, obtendo o mesmo lucro, mas correndo um risco menor. A chance de os 49 poços serem todos secos é de $(0.75)^{49}$.
4. É um problema muito interessante e provavelmente freqüente com que a futura Agência Nacional de Petróleo terá que se envolver. Por exemplo, nas áreas em exploração pela PETROBRÁS, em que se descobriu petróleo nos horizontes mais rasos do Terciário, ela tem um prazo de concessão de 20 anos. Enquanto isso, grande quantidade de petróleo de boa qualidade está ainda intocada nos reservatórios mais profundos.

5.4 ESTUDO DE CASO N.º 4: APLICAÇÃO DA TEORIA DA PREFERÊNCIA MULTI-ATRIBUTOS

Uma aplicação passo a passo do modelo da teoria da utilidade multi-atributos é apresentada nesse capítulo que inclui a avaliação das alternativas de alocação de capital, levando em conta as atitudes em relação ao risco dos tomadores de decisão, utilizando dois atributos: valor monetário do projeto e risco político dos países onde se realiza o investimento.

5.4.1 O Problema

O problema é de alocação de capital em projetos de risco, em diversos países. Mais especificamente, é um problema de seleção de projetos de exploração de petróleo que apresentam diferentes níveis de ganho econômico, diferentes custos, diferentes probabilidades de sucesso e diferentes riscos políticos.

A Unioil¹ é o braço internacional de uma grande empresa de petróleo que tem atividade em vários países (Angola, Bolívia, Colômbia, Estados Unidos e Reino Unido), cujo capital de investimentos exploratórios anual gira em torno de US\$ 250 milhões. Oferece-se ao gerente de exploração dessa companhia um conjunto de prospectos cujos dados técnicos estão listados na Tabela 5.4.1.

Tabela 5.4.1. Dados dos projetos

País	Número de Prospectos	VPL Médio p/projeto MM US\$	Custo por Projeto MMUS\$	Prob. Sucesso %	Risco Político (10-60)
Bolívia	3	971	-77	56	50
Inglaterra	27	868	-9	13	15
Est. Unidos	25	502	-10	16	20
Angola	6	381	-41	78	60
Colômbia	41	119	-6	34	40

¹ Unioil é uma empresa fictícia, adotada pelo autor para ilustrar esse exemplo.

O orçamento anual da exploração poderia ser alocado em um só país ou participar em vários países e o nível de participação em cada projeto poderia variar de 0 a 100%.

O objetivo desse estudo de caso é construir o melhor portfólio para exploração, maximizando os lucros e reduzindo os riscos (econômicos financeiros e políticos), via diversificação da carteira de projetos e participação fracionada em cada projeto. Para isso, será usada a teoria da utilidade multi-atributos, especificando dois atributos: valor presente líquido do projeto (VPL) e risco político de cada país (RP).

Como descrito no capítulo 4, as seguintes etapas revelam-se necessárias quando se trabalha com mais de um atributo:

- I. Critérios (objetivos)
- II. Escores
- III. Funções-utilidade individuais
- IV. Funções-utilidade multi-atributos
- V. Ponderações (Ctes. Escalares)
- VI. Valor da utilidade esperada

5.4.2 Entendimento sobre os atributos:

Os dois atributos que serão usado nesse problema são o valor presente líquido do projeto (VPL) e o risco político do país onde o projeto se encontra.

Valor presente líquido de um projeto é o valor monetário do projeto, atualizado para o tempo presente, descontado a uma taxa mínima de atratividade. Esse atributo foi muito abordado nos capítulos 2 e 3, portanto a discussão será concentrada sobre o risco político do projeto.

5.4.3 Risco Político - Definições

Antes do final dos anos 50, o risco político era visto como um problema diplomático com ênfase em constrangimentos de leis internacionais. A atenção era focalizada nas compensações para confiscos mais do que sobre os fatores que conduzem a incidentes devido aos riscos políticos.

Durante os anos 70 e início dos anos 80, observou-se uma abundância de estudos sobre risco político. Isso, até certo ponto, pode ser devido ao grande número de incidentes de riscos políticos intensamente publicados que ocorreram nos anos 70, comparados ao pequeno número de tais eventos nos anos 80. No final dos anos 80, poucos artigos sobre o assunto foram publicados. Entretanto, com as grandes mudanças que estão tomando lugar no mundo, desde a segunda metade dos anos 80, o interesse sobre risco político foi renovado(globalização da economia).

É importante a definição de risco político para que se possa estabelecer uma medida apropriada desse risco para incorporá-la nas avaliações e priorizações dos projetos.

CHERMAK(1992) define risco político como sendo “a probabilidade de que uma ação governamental ocorra e que afete a rentabilidade de um projeto”. Essa definição genérica compreende não somente as ações dramáticas como desapropriação e nacionalização, mas também ações mais comuns, tais como mudanças no regime de impostos ou no programa de depreciação e amortização que pode ser, em muitos casos, o mais importante aspecto detrimental do risco político.

Alguns autores definem risco político como propensão à desapropriação, enquanto a Shell Oil define-o como a “probabilidade de não-permanência de um contrato de óleo durante um período de 10 anos frente às mudanças políticas e econômicas”.

O grande problema da maioria dos estudos é a falta de conclusões quantificáveis. Nos vários estudos de risco político, as conclusões são baseadas em análises qualitativas e são difíceis, se não impossíveis, para serem incluídas em avaliação econômica.

Uma definição universalmente aceita para risco político pode ser o mais importante passo na direção de pesquisa em risco político. Ações governamentais que mudam a rentabilidade de um projeto podem ser uma definição genérica aceitável, que compreende um conjunto de ações, mais do que apenas algumas ações específicas.

É possível avaliar risco político de tal maneira que ele possa ser incorporado dentro da análise econômica? Os trabalhos de CHERMAK (*op. cit.*) e HARGREAVES *et alii*(1994) sugerem que avaliações quantitativas de risco político são possíveis. As variáveis quantitativas independentes nesses estudos são estatisticamente significantes. É então, possível, em algum nível, analisar risco político quantitativamente.

Segundo CHERMAK(*op. cit.*), muito esforço tem sido despendido na predição da estabilidade de um governo ou de um país para inferir risco político. Entretanto, não tem sido provado que instabilidade é uma condição necessária ou suficiente para que o risco político ocorra. Uma grande quantidade de esforço também tem sido direcionada para estudar desapropriação e nacionalizações. Mas, segundo esse autor, deve-se enfatizar ações menos dramáticas que afetam a lucratividade de um projeto.

Especificamente sobre recursos naturais, CHERMAK(1991) desenvolveu um modelo de variável dependente, usando a mudança anual dos impostos efetivos como uma medida de risco político. Usando dados de cinco minas de cobre no Chile e no Peru, análises econométricas suportam a teoria de risco político sendo influenciado pelos fatores econômicos quantificáveis, incluindo a mudança percentual anual no PIB per capita, bem como a percentagem de vendas de projetos recebida pelo governo. Embora limitações de dados impeçam generalizações confiáveis dos resultados para outros países, esse estudo apresenta uma medida quantificável do risco político que pode ser incorporado dentro da análise econômica.

Segundo CHERMAK(1992), os métodos de minimização do risco político podem ser enriquecidos pela aplicação da teoria dos jogos nos futuros trabalhos.

O trabalho de HARGREAVES *et alii* (1994) traz a avaliação dos riscos econômicos e políticos de 61 países. Coletivamente, esses países representam 95% da produção e consumo de 36 minerais. O índice mundial examina a média da demanda mineral até 2025, baseando-se no padrão populacional indicado para a mesma data.

Para atender a essa análise, cada país é ordenado comparativamente com respeito a seu valor total de produção mineral, o valor da produção mineral pelo PIB per capita, a proporção dos minerais no PIB, a importância de minerais estratégicos e a percentagem de reservas mundiais.

Segundo HARGREAVES *et alii* (*op. cit.*), a avaliação política só pode ser subjetiva, mas seu trabalho leva em conta as seguintes feições:

- Condições políticas recentes e de longo prazo.
- Atitudes para investimentos estrangeiros.
- Grau de envolvimento do estado
- O regime fiscal(taxas), níveis de inflação e padrões de vida em geral.

Ainda, segundo esse autor, os parâmetros populacionais têm um forte efeito sobre o investimento. Uma baixa densidade populacional indica custo de infra-estrutura alto, por exemplo Austrália, Canadá, Namíbia e Botswana. Taxas elevadas de crescimento populacional tendem a estar associadas com condições econômicas pobres e instabilidade geral. Zâmbia, Zaire e Zimbabwe são alguns exemplos, embora tendo densidades populacionais relativamente baixas. Apesar disso, mudanças demográficas podem se realizar dentro de um curto espaço de tempo. O programa de controle de natalidade da China e o aumento na expectativa de vida (longevidade) do Japão são exemplos.

5.4.4 Métodos correntes de avaliações de riscos políticos

A análise de opiniões geradas por especialistas, um dos mais antigos métodos empregados pelas firmas, inclui: "grand tours", "old hands", e técnica Delphi, que são métodos puramente qualitativos (CHERMAK, 1992).

O "grand tour" é simplesmente uma visita ao país em questão por um alto gerente da companhia. Dessa visita, decisões sobre investimentos são tomadas. O método do "old hands" incorpora as opiniões de pessoas com experiência no país. Esse método subjetivo, por ser feito por pessoas já envolvidas em alguns projetos, acaba sendo tendencioso.

O método Delphi, costumeiramente usado, é uma versão melhorada do método de "old hands". Opiniões são solicitadas, através de um sistema

estruturado de entrevistas de várias pessoas que têm grandes e diversificados conhecimentos. Dessas opiniões, uma decisão é tomada. Como muitas opiniões são solicitadas, aquele efeito tendencioso é atenuado.

Existem muitos exemplos de modelos de opiniões gerados por especialistas e publicados por organizações. CHERMAK (1992) cita que entre as mais conhecidas e mais usadas estão: o BERI (Business Environmental Risk Index); o BI (Business International system); e o WPRF (World Political Risk Forecasts).

BERI, como descrito por HANER (1981), inclui 15 variáveis ponderadas e relacionadas ao risco político. As variáveis incluídas, por exemplo, são estabilidade política, atitudes dos investidores estrangeiros, inflação, atrasos burocráticos, convertibilidade da moeda e suporte profissional. Vários especialistas dos EUA e do país sob avaliação são entrevistados, com cada participante quantificando o escore para cada variável. Os especialistas são informados da resposta média do grupo e ajustamentos dos escores individuais são então permitidos. Depois do ajustamento, o escore mais alto e o mais baixo são eliminados da amostra e o escore médio é calculado. Os escores das variáveis são assumidos como sendo 100 o escore mais alto possível, correspondendo ao mais baixo risco político possível.

BI usa uma técnica similar ao BERI, mas com diferentes variáveis e diferentes técnicas para fornecer escores. As previsões de BERI e BI têm sido similares.

WPRF tem uma previsão de 18 meses, bem como uma previsão de cinco anos, ambas baseadas na avaliação de aproximadamente 250 especialistas de vários países.

Muitas técnicas de avaliação focalizam a instabilidade como a causa do risco político e, portanto, tentam avaliar a instabilidade do país. Um desses estudos é o modelo de GREEN (1974) que avalia a ligação entre estrutura política e estabilidade política. Ele ordena a estabilidade política baseada na modernização do país e na forma de governo. Dentre esses sistemas, a classificação decrescente de estabilidade para a forma de governo é: 1) regimes democráticos liberais; 2) autocracias modernas;

3) ditadura militar; 4) regimes de mobilização de massa; e 5) estados recentemente independentes. Nenhum teste empírico dessa classificação de estabilidade foi feito.

O índice de estabilidade do sistema político (PSSI -Political System Stability Index) usa 3 índices, (1) Condições econômicas e sócio-econômicas do país; (2) Conflitos sociais; e (3) processos governamentais e políticos, para gerar um escore total que pode ser positivo ou negativo. Um número negativo indica risco político (HAENDEL,1975).

RUMMEL & HEENAN(1978) adotaram o modelo causal de Hibbs (1973), de violência política de massa baseada em análise de fator, para analisar risco político. Medidas de uma performance econômica e política do país são usadas para produzir uma classificação relativa de instabilidade em certos países. Entretanto, os autores, empírica ou estatisticamente nunca relacionam instabilidade a risco político.

Será que esses métodos acima funcionam? KENNEDY (1985) comparou vários dos modelos apresentados acima, que existiam antes de 1978, nas avaliações do Iran em 1978. O único que caracterizou o Iran como tendo um alto potencial para instabilidade política foi o de RUMMEL & HEENAN(*op. cit.*). BI classificou o Iran como um país com baixo risco político. Similarmente, BERI classificou o Iran como risco moderado. GREEN classificou o Iran como um dos países mais estáveis do Oriente Médio. Nem o índice do PSSI indicou risco político no Iran.

5.4.5 Qual o risco político que será usado neste trabalho?

O risco político é um fator subjetivo e existem vários índices apresentados por várias organizações, cada uma lutando para ter um índice que seja mais representativo e que melhor possa ajudar na tomada de decisão de investimentos estrangeiros. Se eles são verdadeiros ou não, isso não é relevante agora; o mais importante é que eles, de uma forma ou outra, são usados pelo mercado para tomada de decisão sobre investimento.

Muitas companhias, tais como a General Motors (GM), preferem gerar seus próprios perfis de avaliação de risco. RAYFIELD (1981) descreve o

método da GM para avaliação do risco político. O grupo de economia Internacional da GM (IEG) é diretamente responsável pela avaliação do risco do país. A técnica usada pela IEG é primariamente qualitativa e orientada em direção à política. As análises políticas e econômicas focalizam ações do governo que influenciarão o ambiente operacional para a GM. A partir da análise dessas ações, procura-se determinar se uma atividade específica da GM será lucrativa e que lucro poderá ser expatriado para os EUA.

A BP Exploration Company também tem seus próprios grupos de avaliação do risco político. GARRATT (1991) descreve a estratégia de avaliação de risco da BP, que envolve identificação da natureza do risco, avaliando quais riscos podem ser gerenciáveis, classificando os países baseando-se no risco e estimando o nível mínimo de benefícios necessários de um projeto para deslocar o risco político envolvido. Esse sistema, similarmente aos outros discutidos anteriormente, emprega um painel de especialistas. BP faz o completo uso desse sistema para comparação de projetos e também determina suas limitações em termos de magnitude absoluta para um dado projeto.

Setores pesadamente envolvidos com avaliação de risco político hoje são a área bancária e o setor de seguros. Valor do crédito do país (um outro nome para risco político) tem tornado uma grande preocupação do setor bancário. Muitos bancos e companhias de seguro têm seus próprios procedimentos de avaliação de risco.

Assim, cada firma acaba adotando um índice, e aqui nesse trabalho será usado o índice apresentado por HARGREAVES *et alii* (1994), por ser o mais recente que se tem em mãos e que servirá como qualquer outro para ilustrar o processo de tomada de decisão.

A base geral para a avaliação desse risco político está mostrada na tabela 5.4.2. Ela reconhece 3 bandas: 1-20, 21-40, e 41-60, cujos fatores são em múltiplos de 5. Então, a Austrália classifica-se com um valor alto (10) por ter uma democracia com um bom perfil mineiro mas alto custo de mão-de-obra. A Guiné classifica-se com um valor baixo (55) por causa dos seus longos problemas de estabilidade política e econômica.

Tabela 5.4.2. Avaliação risco econômico e político dos Países

	1-20	21-40	41-60	Principais feições
Alemanha			45	Perfil ambiental alto. Crescendo prob. trabalhista
Argélia			45	Movimento lento em direção a uma política de investimentos estrangeiros.
Angola			60	O país está em estado de guerra civil.
Argentina		25		Democracia recentemente estabelecida, bom perfil de investimento.
Austrália	10			Bom perfil mineiro, Custo alto mão-de-obra.
Bangladesh		40		Custo de infra-estrutura alto, Qualidade pobre de mão de obra. Encorajando inv. estrangeiros.
Bélgica			50	Custo M.O alto, Politicamente dividido, Meio ambiente não-amigável.
Bolívia			50	instabilidade politica, Custo infra-estrutura alto.
Botswana		30		Bom perfil mineiro, Custo M.O baixo, Infra-estrutura pobre.
Brasil			50	Sérios problemas econômicos, pior política para investimentos estrangeiros.
Canadá	15			Políticas mineira estabelecida, M.O pobre, Altos custos.
Chile	20			Bom perfil de investimento, mas influenciada por política militar remanescente.
Colômbia		40		Melhorando lentamente, mas perfil econômico e político frágil.
Ex-Tcheco-eslováquia			50	Divida em dois países, Uma politica estrangeira está ainda para emergir.
Egito			50	Levantando fundamentalismo islâmico, perfil econômico pobre.
Finlândia			45	Perfil ambiental alto, Custos altos.
França			45	Perfil ambiental alto, Influência do Estado na mineração.
Gana	20			Economia melhorando rapidamente, Inv. estrangeiros benvindos.
Guiné			55	Problemas longos de sustentação politica e econômica.
Hungria		40		Estágios iniciais de democracia, para formular uma política estrangeira.
Índia			45	Controle do Estado, prob. étnicos de longo prazo.
Indonésia		30		Bom perfil de investimentos estrangeiros, mas com regras autoritárias.

Tabela 5.4.2. Avaliação risco econômico e político dos Países (Continuação)

	1-20	21-40	41-60	Principais feições
Iran			45	Lentos movimentos em direção a uma política de investimentos estrangeiros.
Iraque			60	Efetivamente fora, depois guerra do golfo (1991).
Irlanda		40		Políticas minerais não-progressivas, Perfil de altos impostos.
Itália			45	Sérios problemas políticos e econômicos. Perfil mineral pobre.
Jamaica		35		Instabilidade econômica de longo prazo, Encorajando investimentos.
Japão	20			Restrições ambientais apertadas.
Líbia			60	Politicamente se opõe ao Ocidente, sem escopo para participação igualitária.
Malásia		25		Encorajando perfil mineiro. Divisões étnicas.
México		40		Relaxando regras de investimentos. Inflação alta.
Namíbia		25		Custos infra-estrutura altos, possível efeito das eleições da RSA.
Holanda			50	Custos altos. Apertos ambientalistas.
Nova Caledônia		35		Controlada politicamente pela França., Prob. étnicos.
Nigéria			50	Regras militares recusando aceitar democracia
Noruega		40		Altos custos, apertos ambientalistas
Paquistão			55	Prob. políticos e econômicos, não encoraja inv.
Papua Nova Guiné		35		Encoraja perfil mineiro. Prob. étnicos locais.
Peru			55	Sérios prob. econômicos e políticos.
Filipinas		40		Prob. políticos incipientes, recentes históricos de distúrbios.
Polônia			45	Estágios iniciais de democracia. Nível alto de burocracia.
Portugal	10			Encoraja perfil mineiro, mas dureza ambientalista
Arábia Saudita		35		Lentamente encorajando invest. privados.
Serra Leoa			55	Sérios distúrbios civis e falta de leis.
África do Sul		40		Eleição multirracial; Grandes mudanças em 1994
Coréia do Sul	20			Bom perfil invest. , baixos custos relativos
Espanha	10			Controles ambientalistas duros.
Suécia			50	Altos custos. Aperto ambientalista.
Taiwan			45	Um pequeno e super-populoso país com baixo perfil mineiro.
Tailândia			45	Politicamente difícil, longo período de distúrbios

Tabela 5.4.2. Avaliação risco econômico e político dos Países (Continuação)

	1-20	21-40	41-60	Principais feições
Turquia		30		Encorajando perfil mineiro, mas alta inflação e prob. étnicos.
UAE/AbuDabi	20			Encorajaria inv. estrangeiros; Limitado geograficamente.
Reino Unido	15			Controles ambientais duros.
EUA	20			Altos custos, difícil ambientalmente, lobby anti-mineração.
Ex-URSS			45	Estágios iniciais de democracia; regras não firmes para investimentos.
Venezuela		40		Recente atentado de golpe, distúrbios populares.
Vietname		30		Encorajando inv. estrangeiros, pode expandir rapidamente.
Zaire			60	Sérios distúrbios civis e caos econômico.
Zâmbia			45	Melhorando politicamente mas restrições econômica
Zimbabwe			45	Pobre economia doméstica mostrando estabilidade política ameaçada

Fonte: HARGREAVES *et alii* (1994)

5.4.6 Objetivos desse estudo de caso (critérios)

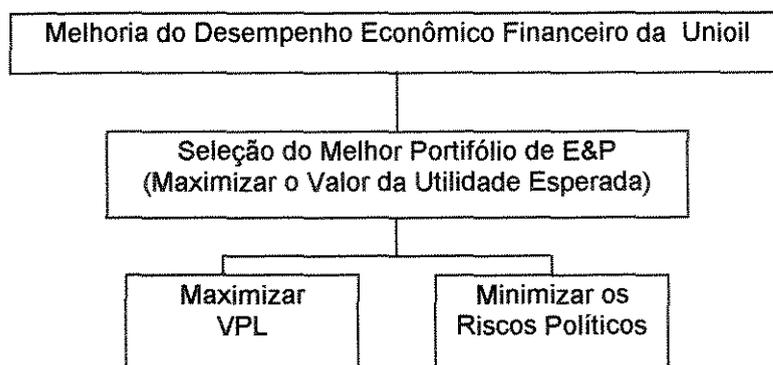
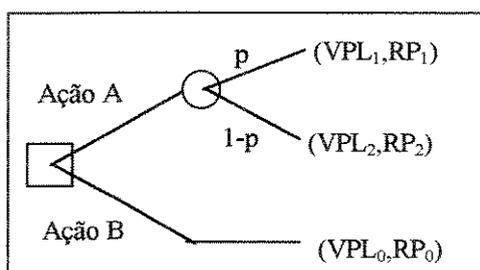


Figura 5.4.1. Objetivos e sub-objetivos do estudo de caso.

Os critérios de julgamento do projeto serão os valores esperados das utilidades (VEU). Como visto no Capítulo 3, o VEU é muito semelhante ao valor do VME (Figura 5.4.2).



$$VEU = \sum_{n=1}^n p_i U(VPL_i, RP_i)$$

Figura 5.4.2. Jogo referência para duas variáveis. Ação A: participa de um jogo em que pode ganhar (VPL_1, RP_1) com probabilidade p , em que VPL_1 é o valor presente líquido, e RP_1 é o risco político, ou pode ganhar VPL_2 com risco político RP_2 com probabilidade $(1-p)$. Ação B: Ganhar (VPL_0, RP_0) com probabilidade 1, ou seja, com certeza.

5.4.7 Escores

A faixa dos valores presentes líquidos desses projetos, mostrados na tabela 5.4.1, varia desde um prejuízo de US\$ -77 MM até um ganho máximo de US\$ 971 milhões.

HARGREAVES *et alii* (1994) pondera o risco político atribuindo valores de 10 a 60 para 61 países de forma subjetiva, mas levando em conta cinco fatores como: o valor do PIB, taxa de crescimento populacional, efeito da mineração sobre o PIB, percentagem de reservas mundiais e importância de minerais estratégicos.

Os riscos políticos (RP) estimados para esses países representam as probabilidades de esses projetos não darem certo devido a fatores não-técnicos, como guerra civil, greve dos trabalhadores, mudanças políticas como mudanças de taxas e impostos sobre os contratos ou outras restrições políticas impostas às firmas estrangeiras.

A Figura 5.4.3 descreve um espaço consequência para esses dois atributos VPL e RP, ou seja, $-80 < VPL < 1000$ e $60 > RP > 10$.

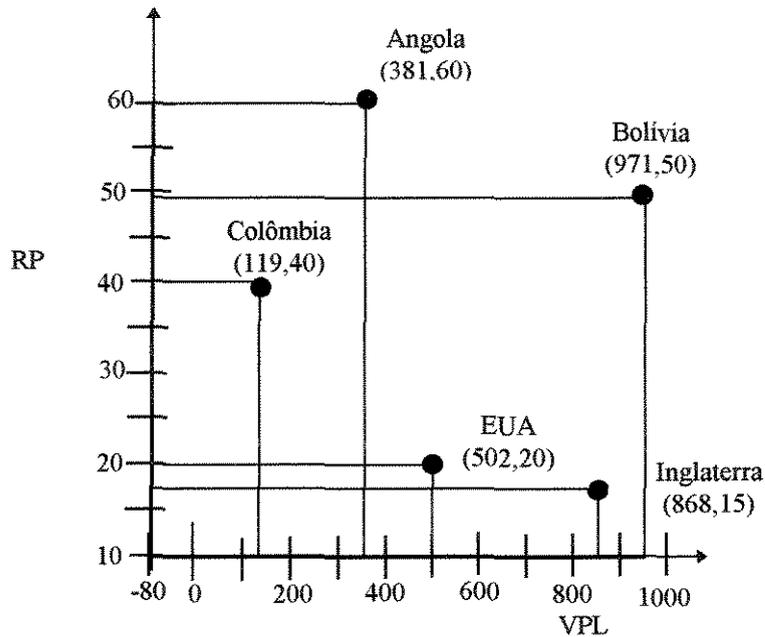


Figura. 5.4.3. Um espaço consequência para dois atributos (VPL,RP)

Deve-se avaliar uma função-utilidade sobre todas possíveis consequências (VPL,RP). Um espaço consequência ilustrado na Figura 5.4.3 é uma ajuda gráfica para o tomador de decisão.

O próximo passo, é limitar a região útil sobre a qual se deve avaliar as preferências para uma região tão pequena quanto possível. As preferências que eventualmente se avaliam devem somente ser aquelas para consequências (VPL,RP) com $VPL_2 \leq VPL \leq VPL_1$ e $RP_2 \leq RP \leq RP_1$.

Os valores devem ser escolhidos por conveniência e significação para o tomador de decisão. Por exemplo, se VPL varia de -77 a 971 milhões de dólares, pode-se definir $VPL_2 = -80$ e $VPL_1 = 1000$ milhões. Um valor de VPL = 100000 milhões, por exemplo, provavelmente teria pouco significado para o tomador de decisão.

5.4.8 Avaliação das Funções-utilidade Individuais

Conforme se discutiu no Capítulo 4, um método que facilitaria essa difícil avaliação seria pensar sobre uma função-utilidade multi-atributos

elaborada a partir das funções-utilidade individuais. Matematicamente, pode-se representar o caso mais geral como:

$$U(X, Y) = f\{ U_{VPL}(vpl), U_{RP}(rp)\}$$

A notação $f(*, *)$ significa que $U(VPL, RP)$ é uma função das funções-utilidade individuais $U_{VPL}(vpl)$ e $U_{RP}(rp)$.

Para que esse arranjo seja possível são necessárias algumas condições especiais para a função-utilidade combinada. Essas condições dizem respeito a como as preferências interagem entre os atributos. Uma condição necessária para que se tenha esse tipo de separabilidade é a “mútua independência preferencial”.

5.4.9 Mútua independência preferencial

Um atributo RP é dito ser preferencialmente independente do VPL se preferências para valores de RP menores são sempre preferíveis, independente do nível de atributo de VPL. Necessita-se mútua independência preferencial, assim também é preciso que o VPL seja preferencialmente independente do risco político. Se é preferível maior VPL, não importando qual o risco político do país onde se realiza o projeto, então VPL é preferencialmente independente de RP. Assim, pode-se dizer que os dois atributos são mútua e preferencialmente independentes.

Independência quanto a utilidade é claramente análoga à independência preferencial, exceto que a avaliação é feita sob condições de incertezas.

Para checar se os atributos são utilidades mutuamente independentes, pode-se usar o método descrito por KEENEY & RAIFFA(1976), descrito no Capítulo 4.

5.4.10 Aplicação da condição de independência

Se as preferências de um tomador de decisão mostram utilidades com mútua independência, então uma função-utilidade de dois atributos pode ser escrita como uma composição das funções-utilidade individuais. Comumente,

a saída de menor preferência (VPL_2, RP_2) é assimilada como o valor 0 da utilidade, e o par mais preferido (VPL_1, RP_1) é assinalado como o valor da utilidade 1.

Sob preferências com utilidades mutuamente independentes, a função-utilidade de dois atributos pode ser escrita como:

$$U(x,y) = k_x U_X(x) + k_y U_Y(y) + (1-k_x-k_y) U_X(x) U_Y(y)$$

em que:

$U_X(x)$ é uma função-utilidade de X escalar tal que $U_X(x_2)=0$ e $U_X(x_1)=1$

$U_Y(y)$ é uma função-utilidade de Y escalar tal que $U_Y(y_2)=0$ e $U_Y(y_1)=1$

5.4.11 Avaliação das funções-utilidade individuais $U_{VPL}(vpl)$ e $U_{RP}(rp)$.

5.4.11.1 Função-utilidade VPL ($U(x)$)

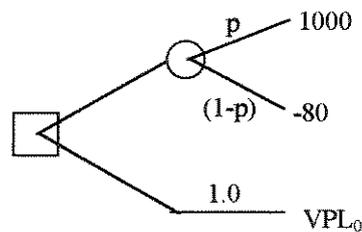


Figura 5.4.4 Jogo referência do risco econômico

$$VEU = pU(1000) + (1-p)U(-80)$$

por definição: $U(1000) = 1$ \therefore Se $VPL_0 = 1000$ $\rightarrow p = 1$

$U(-80) = 0$ \therefore Se $VPL_0 = -80$ $\rightarrow p = 0$

Se o tomador de decisão for indiferente ao risco, o valor do VPL_0 é igual ao VEU e a função-utilidade é representada por uma reta (Figura 5.4.5).

Ex. $VPL_0 = 460$ $\rightarrow p = 0.5$.

$VPL_0 = -80$ $\rightarrow p = 0.0$

$VPL_0 = 1000$ $\rightarrow p = 1.0$

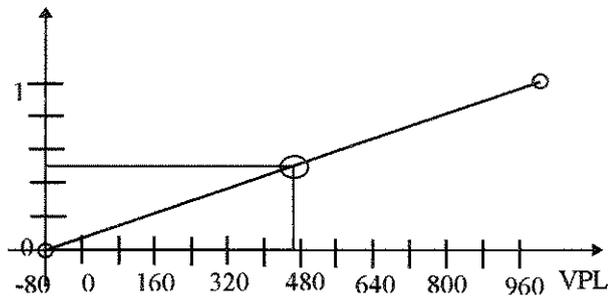


Figura 5.4.5. Função-utilidade linear (gerente indiferente ao risco)

Agora, se o tomador de decisão é avesso ao risco, a utilidade do VPL_0 é igual à utilidade esperada do jogo, ou seja,

$$U(VPL_0) = pU(1000) + (1-p)U(-80)$$

Assim, pode-se escolher um VPL_0 qualquer e perguntar ao gerente qual a probabilidade de sucesso que o tornaria indiferente entre participar desse jogo referência ou ficar com o valor certo. VPL_0 é também chamado o equivalente certo para esse jogo.

Nesse estudo de caso, assume-se que a função-utilidade resultante das respostas do gerente para esse jogo, após o gerente ser confrontado com vários valores de VPL_0 , foi uma função exponencial do tipo $U(x) = -e^{-cx}$, e que o coeficiente de aversão c a ser usado seja do mesmo nível apresentado pelas empresas transnacionais ($c = 4/\text{Capital Exploratório anual}(K) = 4/250 = 0,016$). Para ilustrar a importância do coeficiente de aversão ao risco, a Tabela 5.4.3 e a Figura 5.4.6, também mostram a função-utilidade com um valor de c igual a $1/K$ ($c = 1/250 = 0.004$). O VPL, conforme visto acima, varia na faixa de -80 a 1000 milhões de dólares.

Como o gerente é avesso ao risco, diz-se que $U(VPL_0)$ é igual ao valor da utilidade esperada do jogo, ou seja, $U(VPL_0) = pU(1000) + (1-p)U(-80)$ como, $U_{VPL}(1000) = 1$ e $U_{VPL}(-80) = 0$;

então, $U_{VPL}(VPL_0) = p$, para qualquer VPL_0 .

assim, $p = (U(VPL_0) - U(-80)) / (U(1000) - U(-80))$

$$p = U_{VPL}(VPL_0) = (e^{-c(-80)} - e^{-cVPL_0}) / (e^{-c(-80)} - e^{-c1000})$$

A Tabela 5.4.3 sintetiza esses cálculos para um gerente indiferente ao risco, em que a função-utilidade é $U(x) = x$, e outros para um gerente avesso ao risco em que a função-utilidade é do tipo exponencial $U(x) = -e^{-cx}$. Neste último caso consideram-se duas situações, uma em que $c = 4/250$ e outra em que $c = 1/250$.

Tabela 5.4.3: Função-utilidade para o risco econômico

Função Utilidade VPL	$U(x) = x = p$ $p=(80+x)/1080$	$U(x) = -e^{-cx} = p$ $p=(e^{-cVPL_2}-e^{-cVPL_0})/(e^{-cVPL_2}-e^{-cVPL_1})$	
		$c = 4/250$	$c = 1/250$
		1000	1
892	0.9	1	0.992717
784	0.8	0.999999	0.981498
676	0.7	0.999994	0.964218
568	0.6	0.999969	0.9376
460	0.5	0.999823	0.8966
352	0.4	0.999004	0.833445
244	0.3	0.994394	0.736167
136	0.2	0.968444	0.586325
28	0.1	0.822361	0.355519
-80	0	0	0

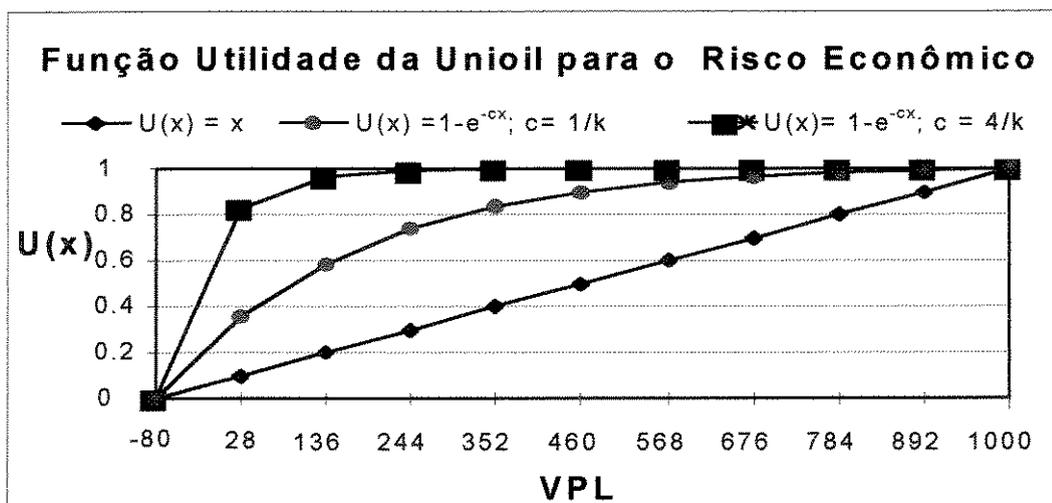


Figura 5.4.6. Função-utilidade da Unioil para o VPL, usando coeficiente de aversão ao risco de $c = 4/K$, e outro de $c = 1/K$, onde K =capital exploratório anual da firma.

Conforme discutido no Capítulo 4, o coeficiente do nível de aversão pode ser melhor entendido, visualizado e estimado com a ajuda de um gráfico de tolerância ao risco. (Figura 5.4.7).

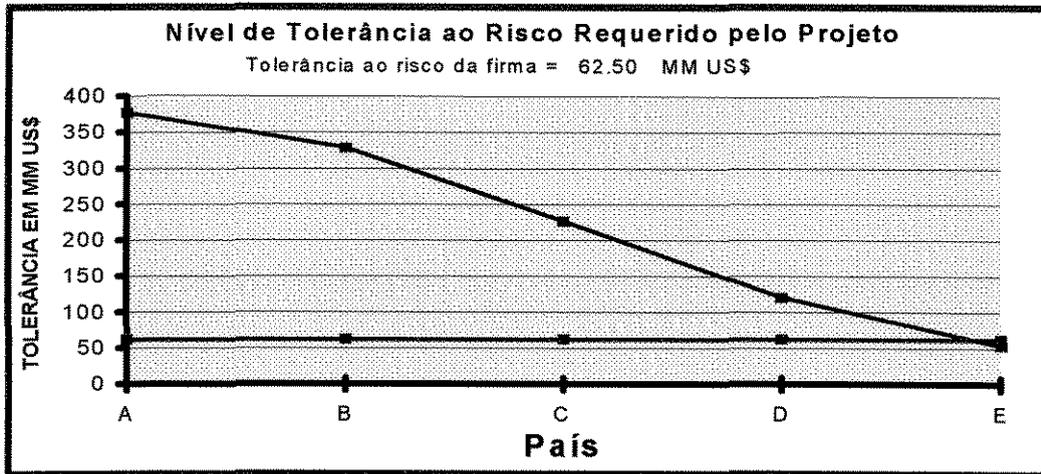


Figura 5.4.7. Esse gráfico mostra o nível de tolerância ao risco requerido pelos projetos para que o nível de participação da firma seja ótimo em 100%. A linha vermelha horizontal mostra o nível de tolerância ao risco adotada para esse estudo de caso que é igual a 1/4 do capital exploratório anual da firma.

Conforme visto no Capítulo 4, o equivalente certo para uma função-utilidade $U(x) = -e^{-cx}$ é dado por $EqC = -1/c \ln(p e^{-cVPL_1} + (1-p)e^{-cVPL_2})$. A figura 5.4.8 mostra o valor dos projetos (equivalente certo) versus o nível ótimo de participação no projeto.

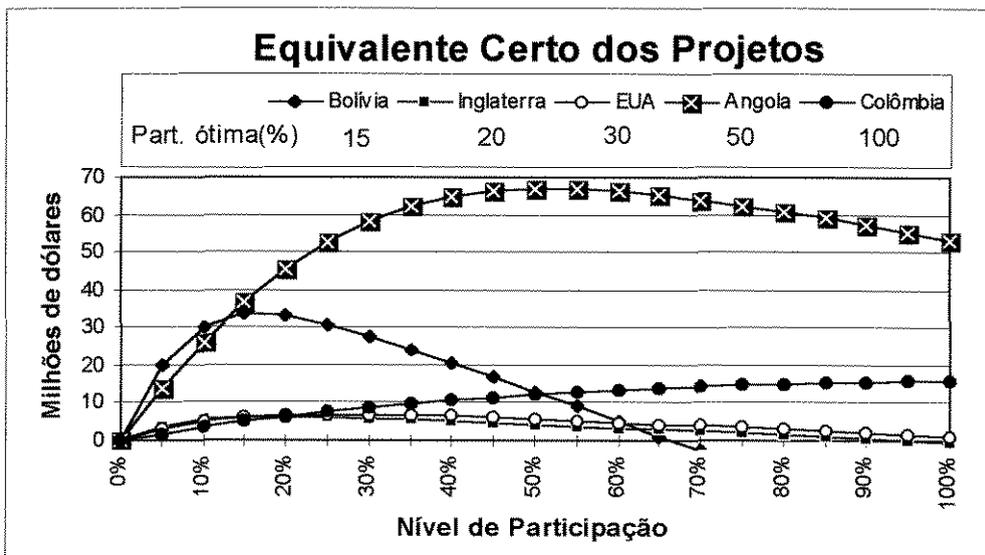


Figura 5.4.8. Valores dos projetos (equivalente certo) versus nível de participação financeira da Unioil

A Figura 5.4.8 mostra que, usando como critério apenas o VPL, o melhor projeto é o de Angola, tendo um nível de participação ótimo da Unioil em 50%. O segundo melhor projeto é o da Bolívia para um nível de

participação de 15%. Em seguida, vem o projeto da Colômbia com uma participação ótima para a Unioil de 100%, visto que o custo do projeto é de apenas US\$ 6 milhões. Os projetos do EUA e Inglaterra são praticamente iguais com participações ótimas para a Unioil de 30 e 20% respectivamente.

5.4.11.2 Função-utilidade RP ($U_{RP}(X)$)

Se o gerente é indiferente ao risco político, pode-se dizer que ele ignorará esse atributo ou simplesmente aplicará linearmente o RP para ponderar os seus projetos com esses índices. O RP normalmente é estimado ou por grupos internos da firma ou por uma consultoria externa contratada ou ainda pelo uso de índices apresentados por organizações que publicam esses riscos políticos para diversos países.

O questionário para se encontrar a função-utilidade $U_{RP}(x)$ seria semelhante ao caso usado para o VPL. O gerente prefere trabalhar num país com $RP = RP_0$ ou participar de um jogo referência em que se tem 0,5 de chance de trabalhar num país com RP_1 e 0,5 de chance de trabalhar num país com RP_2 ?

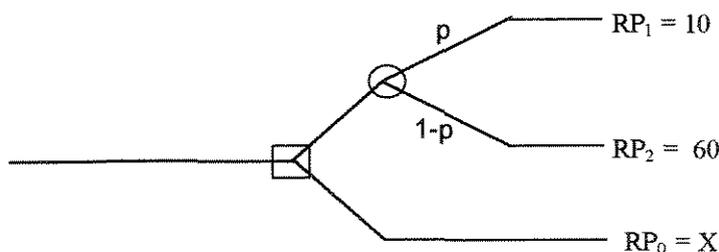


Figura 5.4.9. Jogo de referência do risco político

Se o gerente é indiferente ao risco político, pode-se dizer que RP_0 é igual ao valor esperado do risco político ($RP_0 = VE$).

Assim,

1. Assuma $RP_0 = 35$
 $35 = p \cdot 10 + (1-p) \cdot 60$
 $\rightarrow p = f(x) = 0.5$

2. Assuma $RP_0 = 10$
 $10 = p \cdot 10 + (1-p) \cdot 60$
 $\rightarrow p = f(x) = 1.0$

3. Assuma $RP_0 = 20$
 $20 = p \cdot 10 + (1-p) \cdot 60$
 $\rightarrow p = f(x) = 0.8$

Portanto, para $U(x) = x$, ----> $RP_0 = VE = x$,

$$x = pRP_1 + (1-p)RP_2 =$$

$$x = p(10) + (1-p)60$$

$$x = 60 - 50p \quad \therefore \boxed{p = (60 - x)/50}$$

Se o gerente apresenta aversão ao risco político, então pode-se construir sua curva de função-utilidade para o risco político fazendo uma série de perguntas sobre suas preferências, e com isso calcular a função de aversão ao risco político que esse gerente apresenta.

Admita que a função-utilidade resultante das respostas do gerente da Unioil a esse questionário o conduziu a uma função-utilidade exponencial do tipo $U(x) = -e^{-c_{rp}x}$ e o coeficiente de aversão ao risco (c_{rp}) é duas vezes maior do que aquele coeficiente que o gerente da Unioil apresentou para o risco financeiro, ou seja $c_{rp} = 2c$. Eles acham que o risco político pode mudar rapidamente a estabilidade das condições de contrato, variando a taxa de impostos, convertibilidade da moeda e restrições ambientais, e com isso inviabilizar o projeto de exploração. Eles argumentam que, quanto aos riscos financeiros, o mercado já criou vários mecanismos de proteção contra aumento de custos da matéria-prima ou volatilidade dos preços, tais como mecanismos de otimização de estoques e utilização de mercado futuro, estabilizando custos e preços.

Portanto, $U(x) = -e^{-c_{rp}x}$ seria igual a $U(x) = -e^{-2cx}$

em que, $c = 4/250$, portanto $c_{rp} = 8/250$

Como o gerente é avesso ao risco, diz-se que a $U(RP_0)$ é igual ao valor esperado da utilidade do jogo (VEU)

$$-e^{-c_{rp}RP_0} = p(-e^{-c_{rp}RP_1}) + (1-p)e^{-c_{rp}RP_2}$$

$$e^{-c_{rp}RP_2} - e^{-c_{rp}RP_0} = -pe^{-c_{rp}RP_1} + pe^{-c_{rp}RP_2}$$

$$e^{-c_{rp}RP_2} - e^{-c_{rp}RP_0} = p(e^{-c_{rp}RP_2} - e^{-c_{rp}RP_1})$$

$$\boxed{p = (e^{-c_{rp}RP_2} - e^{-c_{rp}RP_0}) / (e^{-c_{rp}RP_2} - e^{-c_{rp}RP_1})}$$

A Tabela 5.4.4 sintetiza esses cálculos para um gerente indiferente ao risco para quem a função-utilidade é $U(x) = x = p$, e um gerente avesso ao risco com função-utilidade $U(x) = -e^{-c_{rp}x}$.

Tabela 5.4.4. Mostra os valores de três funções-utilidade para o atributo risco político de um gerente indiferente ao risco e duas funções de gerentes avessos ao risco.

Função Utilidade RP	$U(x) = x=p$	$U(x) = -e^{-cx}$ $c = 4/250$	$U(x) = -e^{-c_{rp}x}$ $c_{rp} = 8/250$
10	1	1	1
15	0.9	0.86	0.81
20	0.8	0.73	0.66
25	0.7	0.61	0.52
30	0.6	0.50	0.41
35	0.5	0.40	0.31
40	0.4	0.31	0.23
45	0.3	0.22	0.16
50	0.2	0.14	0.10
55	0.1	0.07	0.04
60	0	0	0

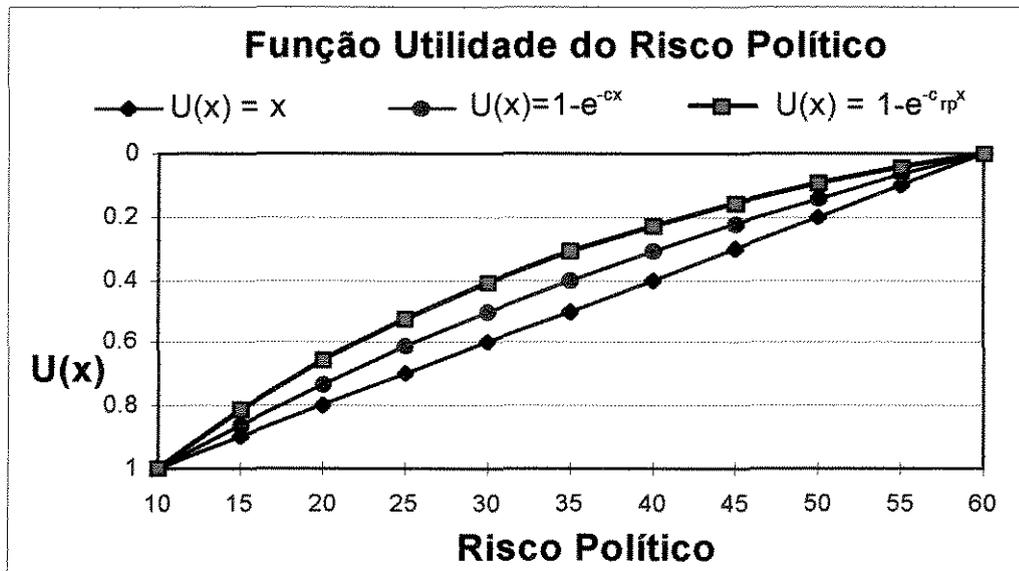


Figura 5.4.10. Função-utilidade do gerente da Unioil ao risco político. A estimativa do risco político foi feita usando os índices de HARGREAVES *et alii* (1994).

Assim, usando o jogo referência (Figura 5.4.4) uma função-utilidade exponencial para os valores de VPL foi determinada, estabelecendo-se $U_{VPL}(1000)=1$ (melhor caso) e $U_{VPL}(-80)=0$ (pior caso).

Portanto, a função-utilidade para o valor do VPL é dado por:

$$U_{VPL}(x) = -e^{-cx} \quad (5.4.1)$$

em que $c = 4/\text{Capital exploratório} \therefore c = 4/250$

Do mesmo modo, a segunda função-utilidade para os valores de riscos políticos foi determinada usando os equivalentes certos previamente avaliados (Figura 5.4.10). Novamente, uma forma exponencial foi estimada:

$$U_{RP}(y) = -e^{-2cy} \quad (5.4.2)$$

Essas funções-utilidade também têm $U_Y(10) = 1$ e $U_Y(60) = 0$.

5.4.12 Normalização de escalas

A faixa de valores do atributo risco político está entre 10 e 60, sendo 10 o melhor resultado e 60 o risco político menos desejável. A faixa de valores do atributo valor presente líquido está entre -80 e 1000 milhões de dólares. A Figura 5.4.11 normaliza essa duas escalas para valores entre 0 e 1.

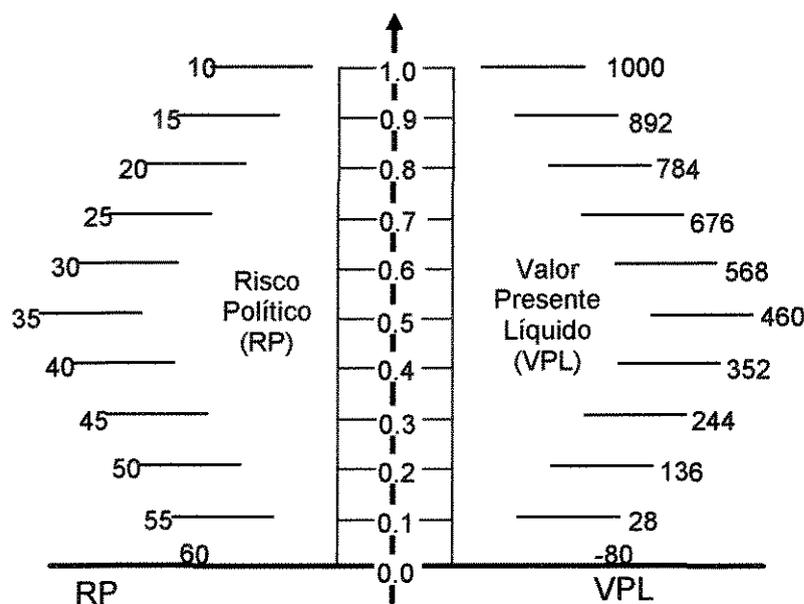


Figura 5.4.11. Escala comum para VPL e RP

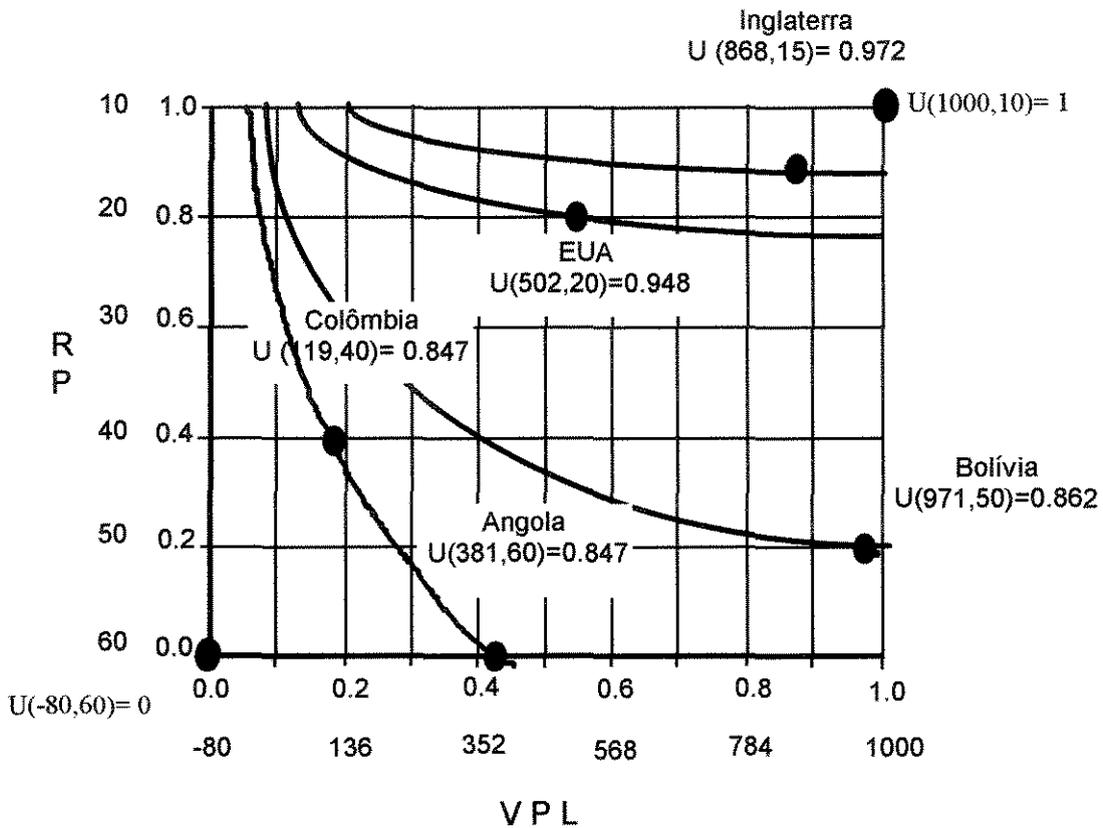


Figura 5.4.12. A figura de isopreferência da tabela 5.4.4 ilustra a função-utilidade de dois atributos $U(VPL,RP)$

5.4.13 Determinação das constantes escalares

Avaliar os pesos k_x e k_y é a chave para achar a função-utilidade de dois-atributos. A regra prática é usar tantas informações quanto possível para ajustar as equações baseadas em diferentes resultados e loterias, e então resolver as equações para os pesos. Por haver duas incógnitas, k_x e k_y , resolvem-se duas equações em duas incógnitas. Para ajustar as duas equações, necessita-se de duas avaliações de utilidades.

Desde que se tenham utilidades mutuamente independentes e admitindo que $\sum_{i=1}^n k_i = 1$, pode-se escrever a função-utilidade multi-atributos como uma equação linear aditiva (Equação 4.14). Nessa equação, observa-se que as constantes k_i medem os “tradeoffs” relativos do tomador de decisão entre os objetivos.

$$U(x) = \sum_{i=1}^n k_i U_i(x_i) \quad (4.14)$$

Em que: i = atributo de interesse; x = valor avaliado para atributo i ; U = preferência do tomador de decisão para x e k = importância relativa do atributo i .

Foi possível perguntar ao gerente da Unioil várias questões significativas acerca dos k_i 's para obter-se algum sentimento sobre seus valores. Por exemplo, pediu-se ao gerente da Unioil para imaginar que se os dois atributos estivessem em seus piores casos, e se ele pudesse escolher somente um atributo para mover, para o seu melhor caso, qual atributo seria escolhido? O gerente, naturalmente, selecionou o VPL, mostrando que, para ele, valores pequenos de VPL são muito piores que um risco político maior.

Invariavelmente existem inconsistências nas avaliações iniciais. Entretanto, o procedimento dos questionários presta-se bem para revisões, a fim de mais realisticamente representar os valores e preferências do tomador de decisão. KEENEY & RAIFFA (1976) trazem uma discussão mais detalhada dos procedimentos de avaliações de preferências. Esses métodos foram utilizados repetidamente até que ambos, analista e tomador de decisão, estivessem confortáveis com os resultados de avaliação.

As constantes escalares k_i , foram avaliadas para cada um dos dois objetivos, da seguinte maneira:

O gerente decidiu que o projeto de Angola (381,60) era igualmente preferido como o projeto da Colômbia (119,40).

Os valores de $U_{VPL}(vpl)$ e $URP(rp)$ serão extraídos dos gráficos que mostram $U_{VPL}(vpl)$ vs VPL (Figura 5.4.6) e $URP(rp)$ Vs RP (Figura 5.4.10), ou podem ser calculados analiticamente usando as fórmulas das funções-utilidade $U_{VPL}(x)$ e $URP(x)$, normalizada para a faixa de 0 e 1.0 (Equações 5.4.3 e 5.4.4).

$$U(VPL_0) = \frac{(e^{-cVPL_2} - e^{-cVPL_0})}{(e^{-cVPL_2} - e^{-cVPL_1})} \quad \text{e} \quad U(RP_0) = \frac{(e^{-c_{RP}RP_2} - e^{-c_{RP}RP_0})}{(e^{-c_{RP}RP_2} - e^{-c_{RP}RP_1})} \quad (5.4.3 \text{ e } 5.4.4)$$

portanto,

	vpl	$U_{VPL}(vpl)$	rp	$U_{RP}(rp)$	$U_{VPL}(x)U_{RP}(y)$
Angola	381	0.999373931	60	0	0
Colômbia	119	0.958580385	40	0.226783	0.2173898148

Lembrar que a forma multilinear pode ser escrita como:

$$U(x,y) = k_x U_x(x) + k_y U_y(y) + (1-k_x-k_y) U_x(x) U_y(y). \quad (4.7)$$

Como o gerente era indiferente entre (381,60) e (119,40), tem-se:

$$U(381,60) = U(119,40)$$

Substituindo, obtêm-se:

$$0.99937k_x + 0 \cdot k_y + 0 \cdot (1-k_x-k_y) = 0.74119k_x + 0.00939k_y + 0.21739(1-k_x-k_y)$$

$$\therefore 0.21739 + 0.00939k_y = 0.25818k_x$$

Admite-se também que essas funções são aditivamente independentes, portanto:

$$k_x + k_y = 1$$

assim, têm-se duas incógnitas e duas equações

$$\begin{cases} 0.21739 + 0.00939k_y = 0.25818k_x \\ 1.00000 - 1.00000k_y = 1.00000k_x \end{cases}$$

Resolvendo as duas equações, têm-se:

$$k_x = 0.84754$$

$$k_y = 0.15246$$

Concluindo, tem-se:

$$U(x,y) = 0.84754U(x) + 0.15246U(y) \quad (5.4.5)$$

Resolvendo esta expressão, os pontos da função-utilidade para $U(x,y)$ dos diversos projetos nesses países estão mostrados na Tabela 5.4.5.

Tabela 5.4.5. Valores de utilidade para duas variáveis (Vpl e risco político)

País	x	y	U(x)	U(y)	U(x,y)
Bolívia	971	50	1	0.09540	0.86209
Inglaterra	868	15	1	0.81474	0.97176
EUA	502	20	0.99991	0.65687	0.94761
Angola	381	60	0.99937	0	0.84701
Colômbia	119	40	0.95858	0.22678	0.84701

A função-utilidade final avaliada é prontamente interpretada (Tabela 5.4.6). Quanto maior o valor de k_x relativo a k_y , significa que o gerente é muito mais preocupado com o VPL do que com o risco político.

TABELA 5.4.6. Matriz de valores de utilidade para diferentes VPL e risco político U(VPL,RP)

RP \ VPL	60	50	40	30	20	10
-80	0.00000	0.01454	0.03457	0.06216	0.10014	0.15246
28	0.69699	0.71153	0.73156	0.75915	0.79713	0.84944
136	0.82080	0.83534	0.85537	0.88296	0.92094	0.97326
244	0.84279	0.85734	0.87737	0.90495	0.94294	0.99525
352	0.84670	0.86125	0.88127	0.90886	0.94684	0.99916
460	0.84739	0.86194	0.88197	0.90955	0.94754	0.99985
568	0.84752	0.86206	0.88209	0.90968	0.94766	0.99997
676	0.84754	0.86208	0.88211	0.90970	0.94768	1.00000
784	0.84754	0.86209	0.88212	0.90970	0.94769	1.00000
892	0.84754	0.86209	0.88212	0.90970	0.94769	1.00000
1000	0.84754	0.86209	0.88212	0.90970	0.94769	1.00000

O gráfico da Figura 5.4.13 mostra as curvas de isopreferências traçadas sobre os dados de utilidade da função $U(VPL,RP)$, descritos na Tabela 5.4.6.

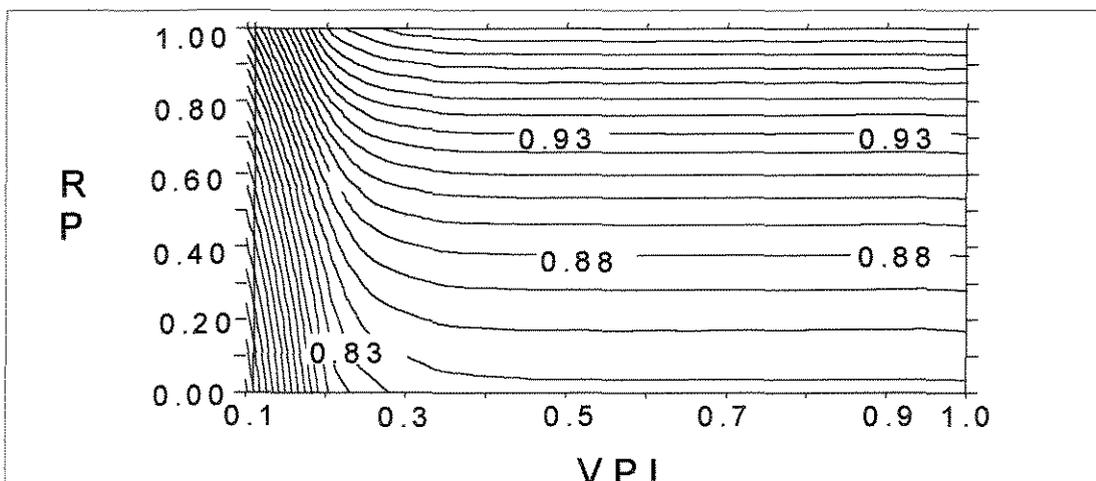


Figura 5.4.13. Mapa de isopreferência da função $U(VPL,RP)$

5.4.14 Priorização de projetos usando função-utilidade dois-atributos

A priorização dos projetos é realizada pelo valor esperado da utilidade dos projetos para a função-utilidade multi-atributos para vários níveis de participação financeira.

Para a Figura 5.4.14, o VEU é dado pela seguinte fórmula:

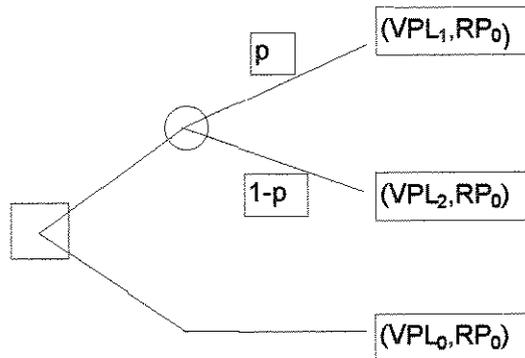


Figura 5.4.14. Jogo de referência de um projeto num país com risco político RP_0 .

$$U(\alpha VPL_0, RP_0) = pU(\alpha VPL_1, RP_0) + (1-p)U(\alpha VPL_2, RP_0)$$

em que α é o nível de participação desejado (variando entre 0 e 1).

Assim, o VEU para o projeto da Bolívia seria:

$$VEU = pU(\alpha 971, 50) + (1-p)U(-77\alpha, 50),$$

Generalizando ter-se-ia:

$$\begin{aligned} U(\alpha x, y) &= p(k_x U_x(\alpha x_1) + k_y U_y(y)) + (1-p)(k_x U_x(\alpha x_2) + k_y U_y(y)) \\ &= p k_x U_x(\alpha x_1) + \cancel{p k_y U_y(y)} + k_x U_x(\alpha x_2) + k_y U_y(y) - p k_x U_x(\alpha x_2) - \cancel{p k_y U_y(y)} \end{aligned}$$

$$U(\alpha x, y) = p k_x U_x(\alpha x_1) + (1-p) k_x U_x(\alpha x_2) + k_y U_y(y)$$

Para o caso do VPL (-80, 1000) e RP (60, 10), tem-se:

$$VEU = U(\alpha x, y) =$$

$$= p k_x \left(\frac{e^{-c(-80)} - e^{-c\alpha x_1}}{e^{-c(-80)} - e^{-c(1000)}} \right) + (1-p) k_x \left(\frac{e^{-c(-80)} - e^{-c\alpha x_2}}{e^{-c(-80)} - e^{-c(1000)}} \right) + k_y \left(\frac{e^{-2c(60)} - e^{-2cy}}{e^{-2c(60)} - e^{-2c(10)}} \right)$$

A Tabela 5.4.7 apresenta os resultados finais desse estudo de caso, classificando os projetos pelo valor esperado da utilidade e definindo o nível ótimo de participação da Unioil em cada projeto nesses países:

Tabela 5.4.7. Classificação dos projetos e Nível ótimo de participação, usando função-utilidade com dois atributos.

	VPL	Custo	P.S	RP	U(VPL,RP)	VEU	N.Part.	Classif.
Bolívia	971	-77	0.56	50	0.86209	0.72	15%	4
Inglaterra	868	-9	0.13	15	0.97176	0.76	20%	2
EUA	502	-10	0.16	20	0.94761	0.74	30%	3
Angola	381	-41	0.78	60	0.84701	0.77	50%	1
Colômbia	119	-6	0.34	40	0.84701	0.70	100%	5

A Figura 5.4.15, mostra o resultado final, listado na Tabela 5.4.7 em forma de apresentação gráfica.

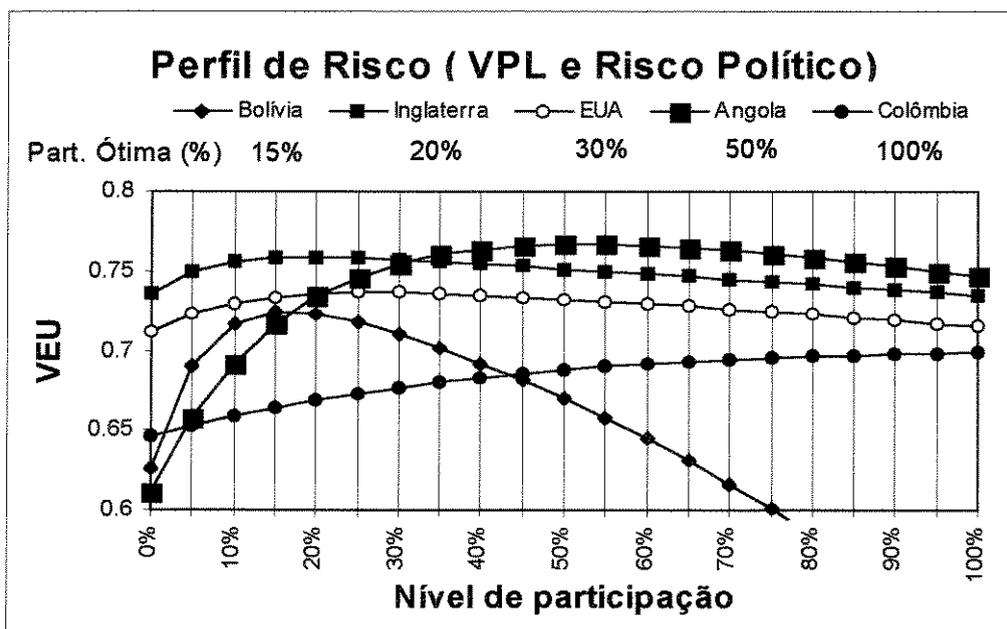


Figura 5.4.15. Priorização dos projetos levando em conta o risco político e a rentabilidade dos projetos. A figura também apresenta o nível ótimo de participação financeira no projeto.

A comparação da Figura 5.4.15 com a Figura 5.4.8 mostra o efeito da aversão ao risco político apresentado pela Unioil na priorização dos projetos de exploração nesses diversos países.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mais importante passo em um processo de tomada de decisão é a definição dos objetivos. O objetivo desse trabalho é a melhoria de qualidade do processo de tomada de decisão em investimentos de risco. Para atender a esse objetivo, definiu-se o valor do equivalente certo como um índice de verificação para dar coerência e consistência ao processo, levando-se em consideração a avaliação econômica do projeto, o risco do projeto e a atitude da firma frente ao risco. A metodologia apresentada nesse trabalho permite controlar e reduzir os riscos financeiros da firma, explicitando os objetivos e estabelecendo uma política coerente de risco para a tomada de decisão.

Alguns aspectos considerados importantes desse processo de tomada de decisão, desenvolvidos na tese, estão citados a seguir:

- Diversificação e Compartilhamento do Risco

Um ponto importante originado a partir da quebra do monopólio do petróleo no Brasil é a possibilidade de associação ("joint venture"). As parcerias são feitas para reduzir risco e permitir a participação em grandes projetos para o qual o capital da firma é insuficiente para a mesma se bancar sozinha.

Até recentemente, nas decisões acerca de diversificação e compartilhamento de risco, os principais métodos para controlar os riscos do negócio eram feitos principalmente através de procedimentos informais e intuições individuais.

A metodologia baseada na teoria da preferência, apresentada nesse trabalho, permite criar um processo coerente de diversificação e compartilhamento de investimentos na exploração de petróleo, definindo o nível ótimo de participação financeira para projetos desenvolvidos em parcerias, visando à maximização do ganho e a redução do risco, respeitando a capacidade financeira da firma e a disposição de seus gerentes de correr riscos.

- Comparação de projetos

Muitos exploracionistas dizem que o conceito de valor monetário esperado (VME) inclui uma ponderação da consequência financeira pela sua probabilidade de sucesso. Entretanto, risco não é somente função da distribuição probabilística de resultados de reservas a serem alcançados, mas também da magnitude do capital sendo exposto à chance de perda.

Pode-se dizer que o VME é o caso do tudo ou nada. Ele não especifica o nível ótimo de participação no projeto, é indiferente ao risco de grandes perdas financeiras, pois admite que o capital da empresa é ilimitado. Se o investimento representar uma pequena fração do orçamento da empresa, o decisor poderá conservar seu critério baseado no VME. Entretanto, se a perda for significativa, podendo abalar as finanças da empresa, seus critérios deverão ser revistos. A noção de risco varia, portanto, de empresa para empresa em função de sua capacidade de absorver perdas. O mesmo projeto pode ser arriscado para uma firma e atrativo para outra.

A teoria da preferência, apresentada nessa tese, vai além dos métodos tradicionais para análise de risco exploratório pelo fornecimento do valor do equivalente certo (EqC) baseado em uma atitude coerente da firma com respeito ao risco do projeto.

Diferentemente do VME, a avaliação do equivalente certo (EqC) mede o “tradeoff” entre potencial de ganhos incertos versus possibilidades de grandes perdas, incorporando a atitude da firma frente ao risco. A análise do equivalente certo fornece um guia para a firma em termos dos valores de diversificação e redução do risco, assegurando uma atitude consistente do processo de decisão quanto à comparação e avaliação dos projetos de riscos.

Para a PETROBRÁS, em particular, o uso dessa técnica facilitará e dará consistência ao processo de tomada de decisão na orçamentação e seleções de áreas para exploração de petróleo, definindo a necessidade e o grau de associação para cada projeto.

- Avanços na Teoria da preferência

As grandes dificuldades para a implantação da teoria da preferência são: encontrar a função-utilidade da firma para cada um dos objetivos e determinar o seu nível de aversão ao risco. Mostra-se, neste trabalho, que o questionário específico da indústria, a reanálise das decisões de alocações passadas e a análise conjunta de todos os projetos disponíveis na carteira fornecem uma medida útil para estimar o coeficiente de aversão ao risco da firma.

Conforme abordado no capítulo 3, existe uma relação entre aversão ao risco e capital exploratório disponível. Quando se opera em um regime de monopólio, como no Brasil, o nível de aversão ao risco é refletido pelo nível de atividade imposto em cada bacia. Isso poderá ajudar a definir o coeficiente de aversão ao risco, utilizado pela PETROBRÁS para cada bacia em particular, refletindo as características dos projetos das bacias (risco geológicos, tamanho das descobertas, proximidade do mercado, grau de maturidade, etc.) e a disposição dos gerentes de correr riscos. Este pressuposto facilitará o processo de orçamentação do capital exploratório que será alocado a cada uma das bacias.

- Aplicações práticas

As aplicações práticas dessa metodologia de tomada de decisão em projetos de risco são muito amplas - da escolha de uma carteira de ações na bolsa de valores a decisões pessoais como a opção por determinado emprego - e se aplicam especificamente à exploração de petróleo. Por isso, todos os exploracionistas entendem um pouco do tema e certamente gostariam de entender mais. Oferecem, dessa maneira, uma excelente oportunidade de contribuir com um instrumento para a gestão do processo exploratório no Brasil.

O tema da tese se aplica a todos os ramos de atividade que envolvam riscos e, no caso do petróleo há muitas situações de dúvidas e incertezas quanto a “perfurar ou não perfurar um prospecto”, “completar ou não completar um poço para avaliação”, em que o tomador de decisão assume um determinado risco.

As questões relativas à decisão em exploração de petróleo têm sido muito intuitivas nas quais o “*feeling*” do exploracionista e os “*educated guesses*” são muito comuns. As decisões na exploração têm sido obtidas “por consenso” em reuniões de locação como se utiliza na PETROBRÁS e em outras empresas há muitos anos, predominando o método “Delphi” e onde especialistas de várias áreas se reúnem para tomar decisão sobre um projeto. Por outro lado, a decisão baseada em números, como descrita nessa tese, adapta-se muito melhor ao gerente que opera com portfólio de oportunidades, que deve explicações aos acionistas e que, a qualquer momento, poderá ser cobrado para reconstituir o processo de decisão de um fracasso ou sucesso econômico.

As aplicações práticas, ilustradas na tese, são usadas para exercitar o uso dessa teoria. Outros casos podem ser feitos, com o mesmo processo, para cada firma em particular, considerando seu nível de aversão ao risco e sua função de preferência.

Existe uma tendência de internacionalização da exploração de petróleo que recomenda o uso de técnicas padronizadas de avaliações e comparações de “plays” e prospectos. Essa aplicação é principalmente apropriada para a análise de projetos em parcerias (“joint ventures”), e visa otimizar o nível de participação financeira no projeto para cada empresa, reduzindo o risco financeiro e quantificando o processo de orçamentação de cada companhia.

- Análise de Portfólio

Usa-se o termo portfólio para indicar as combinações de investimentos que um investidor pode escolher.

Todas as vezes que dois investimentos apresentam um coeficiente de correlação menor do que +1, alguma redução de risco será possível pela combinação dos mesmos em um portfólio. Observa-se que se pode conseguir uma redução de risco de itens positivamente correlacionados. Isso dá um significado extra para o gerenciamento do portfólio.

Portanto, técnicas de otimização de portfólio representam uma valiosa ferramenta para a orçamentação de capital.

A escolha do portfólio ótimo dentro de um conjunto eficiente de portfólios requer um balanço entre risco e retorno que dependem da atitude de risco da organização.

Deste modo, para encontrar a melhor solução negociada, torna-se necessário avaliar a função-utilidade do tomador de decisão. Para problemas com múltiplos objetivos, isso envolve avaliação da função-utilidade multi-atributos. Portanto, conhecendo-se as preferências da firma, é possível identificar o portfólio ótimo.

- Sistema de Suporte à Tomada de Decisão

Nesse trabalho foi desenhado e desenvolvido um “software” de suporte à decisão, baseado na teoria da preferência, para assegurar uma atitude de risco consistente na comparação e avaliação de projetos. O desenvolvimento desse programa veio atender aos gerentes que usam os resultados dos programas de avaliação econômica e da análise de risco para a tomada de decisão em projetos de exploração de petróleo.

O programa de suporte à decisão gerencial (RASS), desenvolvido nesse trabalho, incorpora a avaliação econômica e a análise de risco da exploração de petróleo, usando a teoria da preferência, em um sistema extremamente poderoso, versátil e surpreendentemente fácil de utilizar, baseado em computadores PC e dentro do Microsoft Excel. Ele permite ao usuário tomar vantagem da técnica da análise de decisão e da teoria da preferência sem um conhecimento explícito da estrutura matemática dessas áreas.

O RASS vai além dos métodos tradicionais para análise de risco exploratório pelo fornecimento do valor do equivalente certo (EqC), baseado na atitude coerente da firma em relação a correr risco. Essa metodologia oferece a possibilidade de identificar a participação financeira ótima de sua firma em cada prospecto exploratório ou em um conjunto de prospectos ou na aquisição de uma propriedade.

Utilizando os princípios da análise de decisão e a teoria da preferência ao risco, o RASS capacita a firma a construir um portfólio de prospectos de exploração que coincide com as preferências ao risco da firma e a limitação de capital. A teoria da utilidade vem sendo muito utilizada nos últimos cinco anos pelos exploracionistas em grandes companhias de petróleo nos EUA.

- Tomada de Decisão Multi-Atributos

A maioria dos problemas de decisão não têm somente um objetivo. Os objetivos múltiplos podem interagir tanto numa mesma direção de satisfação como em direções opostas. Para a maioria dos problemas de interesse prático, é necessário que se analisem, simultaneamente, vários atributos de cada alternativa.

O sucesso da aplicação de técnicas de análise das decisões como apoio a problemas com um objetivo único abriu caminho para estudos de problemas mais ambiciosos como os de decisões com múltiplos critérios. Como evolução natural da análise de decisão, resultou a metodologia da tomada de decisão utilizando a função-utilidade multi-atributos. Seu rigor teórico torna as aplicações difíceis para um analista menos preparado.

Para desmistificar essa dificuldade, apresenta-se nessa tese uma aplicação do modelo da teoria da utilidade multi-atributos, na área de alocação de capital em investimentos, na exploração de petróleo, discutindo passo a passo a solução do problema, que envolve dois atributos: valor monetário do projeto e risco político dos países onde se realiza o investimento.

O processo de especificação dos objetivos e as funções-utilidade desses objetivos são úteis para identificar estratégias potenciais e alternativas de decisão. A explicitação no modelo da natureza sistemática de trocas entre objetivos conflitantes, assim como das medidas de preferências ao risco da corporação, produzem um processo de decisão mais racional e informativo.

A aplicação do modelo apresentado demonstra que uma vez especificado um conjunto de objetivos da corporação, funções-utilidade podem ser construídas considerando o valor do gerenciamento de trocas entre objetivos do negócio e a propensão da firma em participar de projetos de risco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- AGUILERA C. L. Global distribution of oil and gas: challenges facing latin America. In The Fourth International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Aug. 23rd, 1995. 19p.
- AITCHISON, J.; BROWN, J.A.C. The lognormal distribution with special reference to its uses in economics. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1966, 176p.
- ARPS, J.J; ARPS, J.L. Prudent risk-taking. Journal of Petrology Technology., Jul., 1974, pp. 711-716.
- BAIRD, B.F. Managerial decisions under uncertainty: an introduction to the analysis of decision making. New York: John Wiley & Sons, 1989. 527p.
- BASTOS, B. L. The Albacora field subsea development: a case history. abstract of the 26th Annual OTC, Houston-Texas, USA, 1994, p 663-677. (OTC 7585).
- BEKMAN, O. R., COSTA NETO, P. L. O. Análise estatística da decisão. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1993. 124p.
- BETTINI, Cláudio. Avaliação do potencial petrolífero da bacia Sergipe/Alagoas pelo método "Play Analysis". Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 1984. 129p
- BRASIL ENERGIA. Rio de Janeiro: Brasil Energia Ltda, n. 182, out., 1995
- BRASIL ENERGY. Rio de Janeiro: Brasil Energia Ltda. year 16 n. 279/280, Jul./Aug., 1995.
- BROWN, F.,H. ANSI-C routines for the estimation of the lognormal mean. Computers & Geosciences, vol 21, n. 10, p. 1191-1199. 1995.
- CARNEIRO, L.E. Bacia de Campos. Brasil Energia, n. 171, out. 1994. p. 9-10.
- CARRAGHER P.D. Probability and the petroleum system. AAPG Hedberg Conference, Lessening Risk in International Exploration & Production. Snowbird, UTAH: Aug. 10th to 13th, 1993
- CHANG, H.K, KOSMANN, R.O., FIGUEIREDO, A.M.F and BENDER A.A. Tectonics and stratigraphy of the east Brazil rift system: an overview. Tectonophysics 213, 1992, (TEC 03607).
- CHERMAK, Janie M. Hold-up problems in a sunk cost investment: a Tobit analysis of political risk in selected copper projects. Golden: Colorado School of Mines, 1991. (Mineral Economics Working Paper, No. 91-14).
- CHERMAK, Janie M. Political risk analysis: past and present. Resources Policy, Sept. 1992.

- CLEMEN, R. T. Making hard decisions: an introduction to decision analysis. Belmont: Duxbury Press, 1990.
- COZZOLINO, J. M. Management of oil and gas exploration risk. West Berlin: Cozzolino Associates, 1977.
- COZZOLINO, John M. Controlling risk in capital budgeting: a practical use of utility theory for measurement and control of petroleum exploration risk. The Engineering Economist, v.25, n° 3, 1980. p161-186.
- DAVIS, John C. Risk assessment for the independent - the mont Carlo approach. Lawrence: Kansas Geological Survey, 1991.
- DAVISON I. Brazil's many sedimentary basins offer attractive exploration targets. Oil & Gas Journal, p. 52-55, Aug 5. 1991.
- DEBREU, G. Topological methods in cardinal utility theory. In: Mathematical methods in the social sciences. Stanford: Stanford University Press, 1960.
- EHRICK, P. J. Modelos quantitativos de apoio às decisões - II. Revista de Administração de Empresas. São Paulo: EAESP/FGV, v.36, n. 2, p. 44-52, Abr/Maio/Jun. 1996.
- FANTINE, J. Produção de petróleo no Brasil: análise estratégica. Engenharia em Revista, n. 6, Janeiro, 1994.
- FERGUSON, C.E. Microeconomic Theory, R.D. Irwin, Homewood, Ill., 1972
- FIGUEIREDO, A.M.F., MARTINS, C.C, BERALDO, V.L. Análise de resultados de 20 anos de exploração na Bacia de Campos. Boletim de Geociências da PETROBRÁS, RJ, n. 1 vol 4, n. 1, p.135-147. 1990.
- FURTADO, André T.; SUSLICK Saul B. Forecasting of petroleum consumption in Brazil using the intensity of energy technique, Energy Policy, Sept., 1993.
- GARRATT, Malcom J. Assessment of political risk. In: International Resource Law: A Blueprint for Mineral Development, Paper No. 6, Rocky Mountain Mineral Law Foundation, Denver, CO, 1991.
- GENTRY, Donald, O'NEIL, Tomas. Mine investment analysis. New York: AIME, 1984. 505p.
- GOICOECHEA, A., HANSEN, D.R., DUCKSTEIN, L. Multiobjective decision analysis with engineering and business applications. New York: John Wiley & Sons, 1982. 513p.
- GORDON, R.D., CAYIAS, J. L. An approach to resolve uncertainty in quantitative risk assessment. Onyx Energy Co. 1993.

- GRAYSON, C.J. Decisions under uncertainty: drilling decisions by oil and gas operators. Boston: Harvard University, 1960.
- GREEN, Robert T. Political structures as a predictor of radical political change. Columbia Journal of World Business, p. 31-35. Spring, 1974
- GROEBNER, D.F., SHANNON, P. W. Business statistics: a decision making approach. 4 ed. New York: Macmillan, 1993.
- HAENDEL, Dan, MEADOWS, R.G., WEST, G.T. Overseas investment and political risk. Philadelphia: Foreign Policy Research Institute, 1975.
- HAMMOND, J.S. III. Better decisions with preference theory. Harvard Business Review, Nov.-Dec., 1967, vol. 45, No. 6, p. 123-141.
- HAMMOND III, J.S. Simplifying the choice between uncertain prospects where preference is nonlinear. Management Science, vol. 20, no.7, p 1047-1072. Mar., 1974
- HANER, F. T. Business environment risk index, Appendix B. BERI Ltd System for Select Countries, August, 1981.
- HARBAUGH, J.H.; DUCASTAING, M. Historical changes in oil field populations as a method of forecasting field sizes of undiscovered populations: a comparison of Kansas, Wyoming and California. Kansas: Kansas Geological Survey, 1981. (Subsurface Geology Series 5), 56p.
- HARGREAVES, D, EDEN-GREEN, M. e DEVANEY J. World index of resources and population. England: Dartmouth, 1994.
- HARRISON, Robert, JEFFS Paul. What is the appropriate return as investment required for a risky foreign venture?. British Gás E&P, and Sun Intl E&P Co, 1992. (SPE 24654).
- HARSANYI, John C. Recent developments in game theory and its applications in modern economics and in other fields. Rio de Janeiro: Escola Superior de Guerra, 1996. 33p.
- HIBBS, Douglas A. Mass political violence: a cross-national causal analysis. New York: John Wiley, 1973.
- KEENEY, R. L. Examining corporate policy using multiattribute utility analysis. Sloan Management Review, vol.17, p. 63-76, 1975.
- KEENEY, R. L., RAIFFA, H. Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs. New York: John Wiley & Sons, 1976. 501p.

- KELLAS, G. K. and HODGSHON, S.G. Risk and reward: the relationship between prospectivity and fiscal regimes. London: Petroconsultants UK Ltd, 1992. (SPE 24245).
- KENNEDY, C. R. Political risk management: international lending and investing under environmental uncertainty. New York: Quorum Books, 1985.
- KEPNER, C.H., TREGOE, B.B. The rational manager. New York: McGraw-Hill, 1965, p. 183-186.
- KRANTZ, D.H., LUCE, R.D., SUPPES, P., TVERSKY, A. Foundations of measurement. New York: Academic Press, 1971. vol. 1.
- LAX, Howard L. State and companies: political risks in the international oil industry. New York: Praeger, 1988.
- LECRAW, Donald J. Bargaining power, ownership, and profitability of transnational corporations in developing countries. Journal of International Business Studies, p. 27-43. Spring/Summer, 1984
- LUCCHESI, C. F. Um mergulho em busca do tesouro no fundo do mar. Jornal do 38o congresso da SBG, Camburiú, SC, 1994.
- LUCCHESI, C.F.; MARTINS, C.C.; COSTA, C.A.; GUARDADO, L.R. 3-D seismic as an exploration & production tool: the campos basin experience. Abstract of the 27th Annual OTC, Texas, USA, 1-4 May, 1995.
- LUCE, R.D. and RAIFFA, H. Games and Decisions: Introduction and Critical Survey. New York: John Wiley & Sons, 1967. 501p.
- MAGOON, L.B, DOW, W.G.(eds). The petroleum system - from source to trap. Tulsa: AAPG, 1994. (AAPG Memoir 60).
- MAITAL, S. Economia para executivos. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1996.
- MAJOR, Michael J. Risk evaluation methods change. AAPG EXPLORER, May 1994.
- MALIK, K.A. Future strategies of the oil companies. Austin: Univ. of Texas, 1990. SPE 20806.
- MANNARINO, Remo. Introdução à engenharia econômica. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1991. 198p.
- MANNARINO, R. Economic and fiscal aspects of petroleum risk contracts. In: The Thirteenth World Petroleum Congress, Buenos Aires, 1991.
- MANSFIEL, Edwin. Microeconomics theory/applications. 5 ed. New York: W.W. Norton & Company, 1985.

- MARKOWITZ, H.M. Portfolio selection: efficient diversification of investment. New York: John Wiley and Sons, 1959
- MARINHO, I.P. Jr. Petróleo política e poder: um novo choque do petróleo? Rio de Janeiro: José Olympio, 1989.
- MARTINS, C. C. Campos de Barracuda, Caratinga e adjacências: novo polo exploratório e de produção na Bacia de Campos. Anais do 5º Congresso Brasileiro de Petróleo e CONEXPO, Rio de Janeiro, 1994.
- McCRAY. Petroleum evaluations and economic decisions. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1975.
- MELLO, M.R.; KOUTSOUKOS, E.A.M.; MOHRIAK, W.U.; BACCOCOLI, G. Selected petroleum systems in Brazil. Tulsa: AAPG, 1994. p499-512. (AAPG memoir 60).
- NEPOMUCENO, F. Concessões na área de petróleo. Campinas: UNICAMP /IG/DARM, 1995. 60p. (Monografia).
- _____. Exploração de petróleo no mar: competitividade dos campos de águas profundas. Campinas: UNICAMP/IG/DARM, 1995. 86p. (Monografia).
- NEUFVILLE, R., KEENEY, R.L. Use of decision analysis in airport development for Mexico city. In: A. W. Drake, R. L. Keeney, P.M. Morse, (eds.) Analysis of public systems. Cambridge: M.I.T. Press, 1972.
- NEWENDORP, Paul D. Decision analysis for petroleum exploration. Tulsa: PennwellBooks, 1975. 668p.
- OMAN Paul. The decision process in petroleum exploration: a model. Houston: Oil & Gas Journal, Jul., 1983.
- PEREIRA, A. C. Avaliação econômica de projetos de exploração. Rio de Janeiro: CONEXPO-ARPEL, 1992.
- PEREIRA, A. C. Avaliação de projetos de exploração na Braspetro e contratos de exploração de petróleo no Reino Unido. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 1991. 10p. (Relatório Interno).
- PETROVENTURES. The independent guide to petroleum exploration & production opportunities. Austrália: Petroventures Pty Limited Pub., Vol. 3 no. 3. Jun-Jul 1995, 66p.
- PORTO, R., PEREIRA, A.C. Geopolítica do petróleo: uma visão energética. Rio de Janeiro: CONEXPO ARPEL, 1992.
- PRAST, W.G., LAX, Howard L. Political risk as a variable in the TNC decision-making. Natural Resources Forum, vol. 6, 1982. p. 183-191.

- PRATT, J.W. Risk Aversion in the Small and in the Large. Econometrica, vol. 32, no. 1, p. 122-136, jan. 1964.
- RAIFFA, Howard. Decision analysis: introductory lectures on choices under uncertainty. Massachusetts: Addison-Wesley, 1968.
- RAYFIELD, H. General Motors: approach to political risk. In: Assessing Country Risk. London: Euromoney Pub., 1981.
- REIS, L.A.N. Situação atual e perspectivas dos contratos de risco no Brasil. Itaipava: Petrobrás, Out., 1984. (Relatório interno).
- RIBEIRO, M.R.S. Contratos de exploração petrolífera. Brasil Energia, no 179, julho de 1995. p 14-18.
- RODRIGUES L.A. Os contratos de risco no Brasil e no mundo. Rio de Janeiro: Escola Superior de Guerra, 1987. (Monografia 238).
- RUMMEL, R. J., HEENAN, D.A. How multinationals analyse political risk. Harvard Business Review, vol 56, no. 1, 1978, p. 68-71.
- SHARPE, W.F. Portfolio theory and capital markets. New York: McGraw-Hill, 1970.
- SILVA, R.R., TERRANA, A.C. Orientação para o uso do SIPLEX89. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 1989. (Relatório Interno).
- SILVA, R. R. Decision support system for petroleum exploration economics in Brazil (DEEP). In: The Fourth International Congress of the Brazilian Geophysical Society, Aug. 23rd, 1995. 15p.
- SMITH, Marvin B. Parametric utility functions for decisions under uncertainty. paper presented at 47th Annual Meeting of Society of Petroleum Engineers, San Antonio, Texas, Oct. 8-11, 1972 (SPE pre-print no.3973)
- SMITH, Marvin B. Understanding common risk analysis problem leads to better E&P decisions. Colorado: World Oil, Oct. 1994.
- SOUZA, Petain Ávila de. Avaliação econômica de projetos de mineração: análise de sensibilidade e análise de risco. Belo Horizonte: IETEC, 1995. 230p.
- SZATMARI, P., DEMERCIAN S., COBBOLD, P.R. Style and pattern of salt diapirs due to thin-skinned gravitational gliding, Campos and Santos Basins, Offshore Brazil. Tectonophysics, vol. 228, p. 393-433, 1993.
- von NEUMANN, John; MORGENSTERN, Oscar. Theory of games and economic behavior. 3. ed. Princeton: Princeton University Press, 1953.

- WALLS, M. R. Estimating the corporate utility function: a case study of BP Exploration. Unpublished case study, Colorado School of Mines Department of Mineral Economics, 1991.
- WALLS, M. R.; DYER, J.S. Risky propensity and firm performance: a study of the petroleum exploration industry. Colorado: Colorado School of Mines, 1992. (Working paper series # 92-9).
- WALLS, Michael R. et alii. A conceptual framework for incorporating environment issues into gold mine development decision. Colorado: Colorado School of Mines, 1993a. (Working Paper # 93-6).
- WALLS, M. R.; MORAHAN T. E DYER, J.S. Allocating oil and gas capital at phillips petroleum with DISCOVERY. Colorado: Colorado School of Mines, 1993b. (Working Paper # 93-7).
- WALLS, Michael R. Achieving multiple objectives in the capital allocation process: a decision analysis model for petroleum exploration firms. Colorado: Colorado School of Mines, 1994a. (Working paper #94-1).
- _____. Corporate risk tolerance and capital allocation: a practical approach to setting and implementing an exploration risk policy. In: Managing Risk and Strategic Decisions in Petroleum Exploration. Seminar. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, Dez/1994b.
- WHITE, David A., Geologic risking guide for prospects and plays. AAPG Bull, v 77, n 12, p. 2048-2061. 1993.
- WHITNEY, J.W., WHITNEY, R.E. Investment and risk analysis in mineral industry. Nevada: John Whitney, 1978. 224p.

ANEXO A

- Elementos da Teoria da Preferência
- Elementos da Análise Econômica e Financeira
- Elementos de Distribuições Estatísticas
- Unidades de Conversões

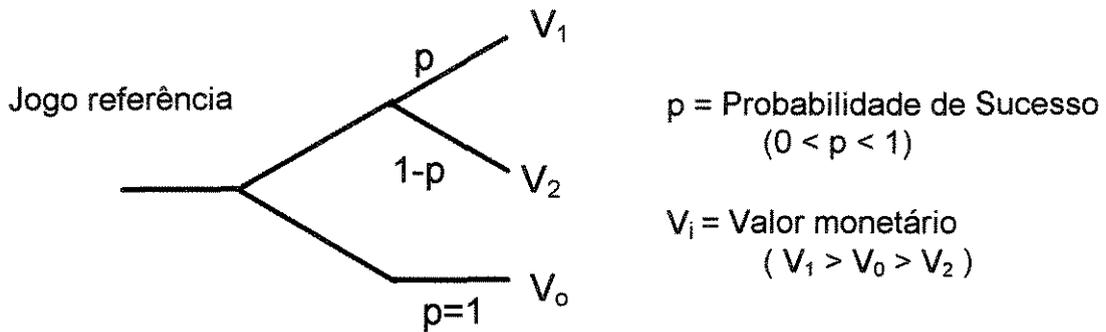
1997

F. Nepomuceno Filho

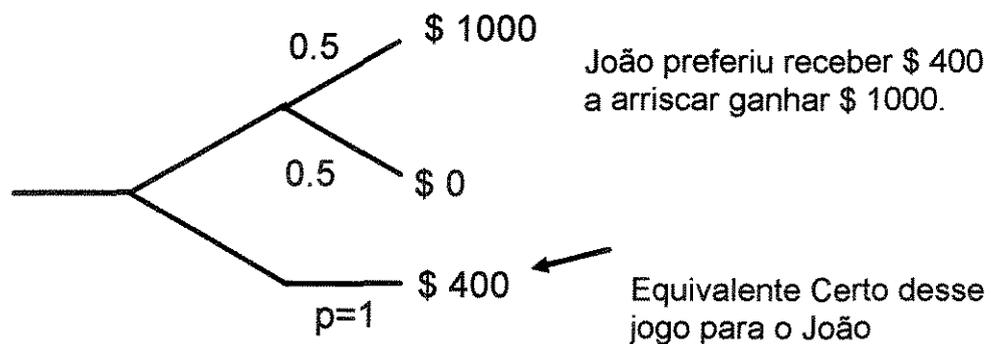
Anexo A

Elementos da Teoria da Preferência

Jogo referência representa a situação de decisão básica onde se leva em conta a preferência do tomador de decisão frente ao risco.



Equivalente Certo de um jogo (projeto de risco) é aquele valor justo que o tomador de decisão é indiferente entre aceitar o jogo ou receber esse valor EqC para desistir do jogo (jogo referência). Exemplo: João estava jogando cara ou coroa onde ele podia ganhar \$ 0 ou \$ 1000, e desistiu quando lhe ofereceram \$ 400. Assim para o João o equivalente certo desse jogo é \$ 400.



Como o tomador de decisão sempre busca maximizar seus ganhos assim, assume-se por definição que a utilidade do equivalente certo é igual a utilidade esperada do Jogo.

$$U(\text{EqC}) = UE(\text{jogo}) = \sum p_i U(x_i)$$

Função utilidade do tipo exponencial é a forma da função utilidade que mais genericamente representa o comportamento das companhias de petróleo, frente ao risco, muito embora outras funções analíticas, como a função utilidade logarítmica e a função utilidade de raiz quadrada, são expressões também usadas para representar preferências das companhias frente ao risco (WALLS & DYER, 1992, BETTINI, 1985) .

$$\boxed{U(x) = - e^{-cx}} \quad (1)$$

em que: x é a variável de interesse (ex. valor monetário), e
 c = o coeficiente de aversão ao risco

Utilidade Esperada

$$E(u) = p_1U(VPL_1) + p_2U(VPL_2)$$

$$\boxed{E(u) = p_1e^{-cVPL_1} + p_2e^{-cVPL_2}} \quad (2)$$

em que: p_1 = a probabilidade de sucesso,
 $p_2 = (1-p_1)$ = A probabilidade de insucesso
 VPL_1 = O valor presente Líquido no caso de sucesso
 VPL_2 = O Valor presente líquido no caso de insucesso.

Portanto, para o jogo referência:

$$\begin{aligned}U(\text{EqC}) &= UE(\text{jogo}) \\-e^{-c\text{EqC}} &= p_1 e^{-c\text{VPL}_1} + p_2 e^{-c\text{VPL}_2} \\-c\text{EqC} &= p_1 e^{-c\text{VPL}_1} + p_2 e^{-c\text{VPL}_2}\end{aligned}$$

$$\text{EqC} = -1/c \ln (p_1 e^{-c\text{VPL}_1} + p_2 e^{-c\text{VPL}_2})$$

Genericamente, para n eventos tem-se:

$$-c\text{EqC} = \text{LN} \left(\sum_{i=1}^n p_i e^{-c\text{VPL}_i} \right)$$

$$\text{EqC} = -1/c \text{LN} \left(\sum_{i=1}^n p_i e^{-c\text{VPL}_i} \right) \quad (3)$$

Em que:

- EqC = O Equivalente certo do projeto
- Pi = Probabilidade de ocorrência do evento i
- VPLi = Valor presente líquido do evento i
- c = Índice de aversão ao risco

MAXIMIZAÇÃO DO EQUIVALANTE CERTO

Para participação fracionada nos projetos tem-se:

da Eq. 3

$$\text{EqC}(x) = -1/c \text{ LN}(pe^{-cVPL_1 X} + (1-p)e^{-cVPL_2 X})$$

em que, c = Coeficiente de aversão ao risco

p = Probabilidade de sucesso (%)

VPL_1 = Valor Presente Líquido no caso de sucesso (milhões de dólares)

VPL_2 = Valor presente Líquido no caso de insucesso (milhões de dólares)

X = Nível de participação no Projeto (%)

$$\frac{d \text{ LN } (f(x))}{dx} = \frac{f'(x)}{f(x)} \quad (4)$$

Portanto,

$$\begin{aligned} f'(x) / f(x) &= -1/c (-cVPL_1 pe^{-cVPL_1 X} - (1-p)cVPL_2 e^{-cVPL_2 X}) = 0 \\ &= VPL_1 pe^{-cVPL_1 X} + (1-p)VPL_2 e^{-cVPL_2 X} = 0 \\ VPL_1 pe^{-cVPL_1 X} &= - (1-p)VPL_2 e^{-cVPL_2 X} \\ (VPL_1 * p) / (VPL_2 * (1-p)) &= - e^{-cVPL_2 X} * e^{cVPL_1 X} \\ (VPL_1 * p) / (VPL_2 * (1-p)) &= - e^{-c(VPL_1 - VPL_2) X} \end{aligned}$$

$$cX = \frac{\text{Ln} [(-VPL_1 / VPL_2) * (p / (1-p))]}{(VPL_1 - VPL_2)}$$

$$X_{\text{ótimo}} = \frac{\text{Ln} [(-VPL_1 / VPL_2) * (p / (1-p))]}{c (VPL_1 - VPL_2)} \quad (5)$$

PARTICIPAÇÃO ÓTIMA COMO FUNÇÃO DO CAPITAL EXPLORATÓRIO

A aversão ao risco (c) é proporcional ao capital exploratório anual (K) da firma (WALLS & DYER, 1992). Walls e Dyer, analisando 50 empresas americanas, concluíram empiricamente que, a tolerância ao risco dessas firmas era igual a 1/4 do Capital exploratório anual, ou seja a aversão ao risco $c = 4 /$ capital exploratório anual .

$$\boxed{c = 4 / K} \quad (6)$$

Portanto,

$$\frac{4X}{c} = \frac{\text{Ln } [(-VPL1 / VPL2) * (p / (1-p))]}{(VPL1 - VPL2)}$$

$$\boxed{X_{\text{ótimo}} = K * \frac{\text{Ln } [(-VPL1 / VPL2) * (p / (1-p))]}{(VPL1 - VPL2)}} \quad (7)$$

Assim, a relação $X_{\text{ótimo}}$ como função de C é uma reta com coeficiente angular dado por:

$$\boxed{\alpha = \frac{\text{Ln } [(-VPL1 / VPL2) * (p / (1-p))]}{(VPL1 - VPL2)}} \quad (8)$$

Para um projeto em particular, quanto maior for o capital maior é o nível de participação ótima nesse projeto numa relação linear.

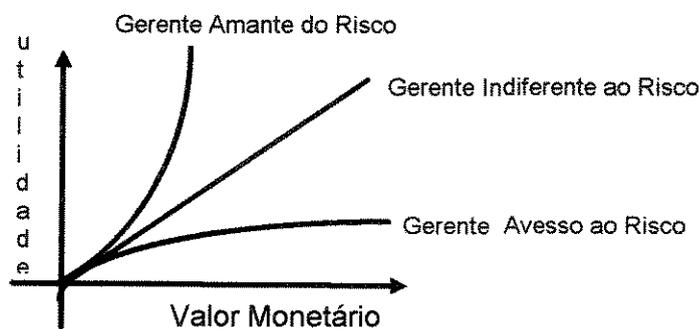
O COEFICIENTE DE AVERSÃO AO RISCO (c)

A função utilidade de uma variável considerada é característica do comportamento de cada tomador de decisão e representa a função de preferência do tomador de decisão em relação a variável considerada. O coeficiente de aversão ao risco embutida na função utilidade $U(X)$ é definido pela expressão:

$$c = - U''(x) / U'(x) \quad (9)$$

Em que, $U'(x)$ e $U''(x)$ é a primeira e a segunda derivada de $U(X)$, respectivamente.

Esse coeficiente indica como varia o comportamento do investidor em relação ao risco com a magnitude dos valores monetários (x). Assim: $c > 0$ indica aversão ao risco; $c = 0$ indica indiferença ao risco; e $c < 0$ indica propensão ao risco.



Esse gráfico ilustra o conceito de função utilidade. No eixo das abcissas está representado a variável considerada, no caso, o valor monetário, e na ordenada, o valor da utilidade.

Coeficiente de Aversão e Equivalente Certo da Função Exponencial

Função utilidade do tipo exponencial é definida por uma expressão do tipo:

$$U(x) = -e^{-cx} \quad (10)$$

$$U(x) = 1 - e^{-cx} \quad (11)$$

$$U(x) = 1/c[1 - e^{-cx}] \quad (12)$$

$$U(x) = (1 - e^{-cx}) / (1 - e^{-c}) \quad (13)$$

Para qualquer uma das formas exponenciais c é o próprio coeficiente de aversão, como demonstrado a seguir:

1. Coeficiente da aversão ao risco da função: $U(x) = -e^{-cx}$

$$c = -U''(x)/U'(x)$$

$$U(x) = -e^{-cx}$$

$$U'(x) = c e^{-cx}$$

$$U''(x) = -c^2 e^{-cx}$$

portanto,

$$\text{coef. de aversão} = -(-c^2/c) = c$$

2. Equivalente Certo (Eq)

$$U(\text{Eq}) = UE (\text{jogo}) = \sum p_i U(x_i)$$

$$-\exp(-c \cdot \text{Eq}) = \sum p_i (-\exp(-cx_i))$$

em que, UE = Utilidade esperada

portanto,

$$\text{Eq} = -1/c \ln (\sum p_i (-\exp(-cx_i)))$$

Função utilidade do tipo logarítmica é definida por uma expressão do tipo: $U(x) = \ln(X+a)$, para $a>0$ e $x>-a$ (COZZOLINO, 1980)

1. Coeficiente da Aversão ao risco da função utilidade logarítmica definida pela expressão:

$$U(x) = \ln(X+a), \text{ para } a>0 \text{ e } x>-a \quad (14)$$

O cálculo da aversão ao risco (c) é dado por:

$$U'(x) = 1 / (x+a)$$

$$U''(x) = 1 / (x+a)^2$$

Portanto:

$$c = 1 / (x+a) \quad (15)$$

A expressão de (c) mostra que a aversão ao risco diminui quando x cresce. O parâmetro a representa a disponibilidade de capital para investimento, dessa forma, incorpora essa grandeza ao modelo de utilidade do investidor.

2. Equivalente Certo (Eq)

$$U(Eq) = UE (\text{jogo}) = \sum p_i U(x_i)$$

$$\ln(Eq + a) = \sum p_i \ln(x_i + a)$$

$$Eq = \exp(\sum p_i \ln(x_i + a)) - a$$

$$Eq = \prod \exp(\ln(x_i + a)^{p_i}) - a$$

$$Eq = \prod ((x_i + a)^{p_i}) - a$$

portanto,

$$Eq = \prod ((x_i + a)^{p_i}) - a \quad (16)$$

Função utilidade raiz quadrada do tipo: $U(x) = \sqrt{x+a}$ (17)

$$U'(x) = \frac{1}{2\sqrt{x+a}}$$

$$U''(x) = -\frac{1}{4(x+a)\sqrt{x+a}}$$

Portanto,

$$c = \frac{1}{2(x+a)} \quad (18)$$

2. Equivalente Certo (Eq)

$$U(Eq) = UE (\text{jogo}) = \sum p_i U(x_i)$$

$$\ln((Eq+a)^{0.5}) = \sum p_i \ln(x_i+a)^{0.5}$$

$$0.5 \ln(Eq+a) = 0.5 \sum p_i \ln(x_i+a)$$

$$\ln(Eq+a) = \sum p_i \ln(x_i+a)$$

$$Eq = \exp(\sum p_i \ln(x_i+a)) - a$$

$$Eq = \prod \exp(\ln(x_i+a)^{p_i}) - a$$

$$Eq = \prod ((x_i+a)^{p_i}) - a$$

portanto,

$$Eq = \prod ((x_i+a)^{p_i}) - a \quad (16)$$

Formulário

1. Comparação de quantias

$$\bullet \text{ FV} = \text{PV}(1+i)^n \quad (19)$$

em que, FV = Valor futuro, PV = Valor presente, i = Taxa de Juros anuais
e n = Número de anos

2. Equivalência temporal e Taxas de Juros

$$\bullet (1+i_a) = (1+i_m)^{12} \quad (20)$$

em que, i_a = Taxa de juros anuais, e i_m = Taxa de juros mensais

Ex. Taxa trimestral (i_t) para taxa anual (i_a)

1 ano = 4 trimestres, portanto

$$(1+i_a) = (1+i_t)^4$$

3. Juros reais e Inflação

$$\bullet (1+i) = (1+i_r) (1+I) \quad (21)$$

em que, i = taxa aparente ; i_r = taxa real de juros; I = taxa de inflação.

Ex. Qual a correção monetária aplicada a um papel cujo rendimento aparente foi de 39%, se sabemos que o juro real contratado era de 1,5%

$$(1+I) = (1+0,39)/(1+0,015) = 1,36946 \text{ ou } 36,946\%.$$

Obs. Nunca se soma, subtrai, multiplica ou divide-se taxas, toda relação entre elas devem ser calculadas pela fórmula acima.

4. Tabela Price - Amortização com prestações constantes

$$PV = PMT \left(\frac{1 - (1+i)^{-n}}{i} \right) \quad (22)$$

em que, PV = Valor presente; PMT = Valor da prestação, i = taxa de juros anuais e n = número de anos.

5. Poupança e Acumulação

$$FV = PMT \left(\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right) \quad (23)$$

em que, FV = Valor futuro, PMT = Valor do depósito, n = número de anos ou meses, e i = taxa de juros anuais ou mensais.

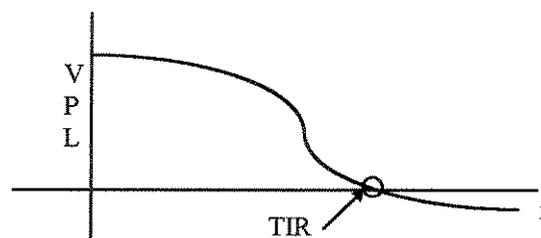
6. Valor Presente Líquido (VPL)

$$VPL = \frac{FC_0}{(1+i)^0} + \frac{FC_1}{(1+i)} + \frac{FC_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1+i)^n} \quad (24)$$

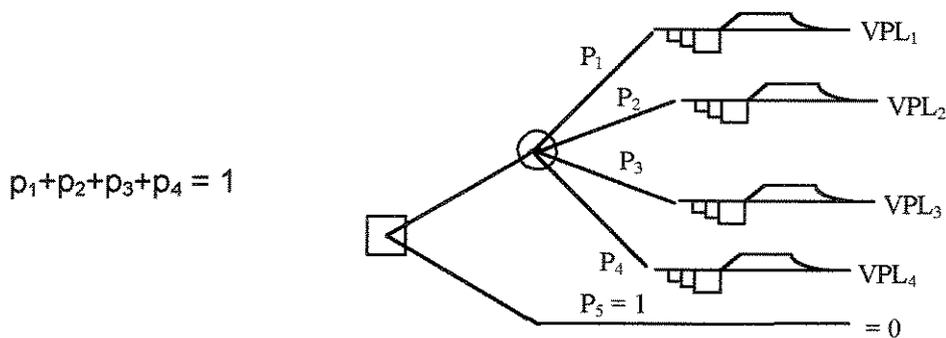
em que, FC_0 = Fluxo de caixa no ano 0; i = Taxa de juro anual; n = número de anos.

7. Taxa Interna de Retorno (TIR)

Calculo de i que anula o VPL



8. Valor Monetário Esperado (VME)



$$\bullet \quad \boxed{VME = p_1 VPL_1 + p_2 VPL_2 + \dots + P_n VPL_n} \quad (25)$$

Em que, VPL = Valor Presente Líquido de cada um dos eventos possíveis;
 p = Probabilidade de ocorrência de cada evento.

9. Encargos da Produção

9.1 Custos de operação - US\$/poço/mês

9.2 Custo de manuseio/transporte (US\$/bbl)

9.3 Overhead +/- entre 10 e 20% dos custos de 9.1 e 9.2.

9.4 Custos de seguros das instalações (US\$/ano)

9.5 Indenização sobre lavra $isl = 0.05p(1-f)tx_1$

onde, p = preço em US\$; f = fração a ser descontada do preço pelo custo médio de transporte no Brasil; Tx_1 - Taxa de câmbio

9.6 Imposto sobre a renda

10. Escolha da Taxa de Juros

■ Taxa de Oportunidade

Escolha entre o próprio negócio e a aplicação no mercado financeiro

■ Taxa mínima de Atratividade (TMA)

No caso de haver um leque de alternativas de negócio (incluindo o Mercado), aquela que nos proporcionará a maior Tx, ou seja a melhor rentabilidade passa a ser a TMA. A TMA é portanto conjuntural, dependendo do leque de alternativa do momento.

11. Decisões Econômicas na Indústria do Petróleo

- Decisões em ausência do risco geológico
 - Métodos Empíricos
 - 1- Método do tempo de Retorno (The pay out time method)
 - 2-Método do lucro não descontado (Undiscounted profit method)
 - Métodos convencionais
 - 3-Método do Valor presente líquido ou Valor atual;
 - 4- Método da Taxa interna de retorno

1. Método do Tempo de Retorno:

Fluxo de Caixa Acumulado. Observa-se o ano em que se anula o fluxo de caixa.

2. Método do Lucro não descontado

$Lnd = \text{Receitas líquidas} - \text{total de investimento.} \quad (26)$

$\text{Profit-Investimento ratio : Pir} = Lnd / \text{Invest. Total} \quad (27)$

Exemplo - Pequenas empresas americanas aceitam:

Pay-out time < 5 anos

Pir > 0,50.

Anexo A: Elementos de Distribuições Estatísticas

Medidas Estatísticas Importantes:

$$\text{Média } \mu = \frac{\sum x_i}{N} \quad \begin{array}{l} x_i - \text{dados levantados} \\ N - \text{no. total de dados} \end{array} \quad (28)$$

$$\text{Desvio Padrão } \sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \mu)^2}{N}} \quad \begin{array}{l} \text{Mostra a dispersão dos dados} \end{array} \quad (29)$$

$$\text{Variância } \sigma^2 = \frac{\sum (x_i - \mu)^2}{N} \quad \begin{array}{l} \text{Medida de dispersão} \end{array} \quad (30)$$

$$\text{Coef. de Variação } CV = \sigma / \mu \quad \begin{array}{l} \text{Medida que mostra se os dados são} \\ \text{homogêneos (} CV \leq 0.60 \text{)} \end{array} \quad (31)$$

Variância

$$\text{Relativa } VR = \sigma^2 / \mu^2 \quad \begin{array}{l} \text{Mostra a homogeneidade dos dados. Os dados} \\ \text{são homogêneos (} VR \leq 0.36 \text{)} \end{array} \quad (32)$$

LOGNORMAL (μ , σ)

Freqüentemente as distribuições usadas para descrever dados geológicos tem uma forma lognormal ou pseudolognormal. Exemplos típicos incluem magnitudes dos terremotos, valores de quantidade de ouro (KOCK AND LINK, 1981) e tamanho dos campos de óleo de uma bacia ou região (DAVIS, 1986).

A distribuição lognormal possui a propriedade que o logaritmo dos dados aparecem como uma distribuição normal, isto é $Y = \text{Log}(Z)$ é distribuído normalmente com média μ e variância σ^2 , e Y tem uma distribuição normal $N(\alpha, \beta^2)$. Então o valor esperado de Z é:

$$\mu = \exp(\alpha, \beta^2/2) \quad \text{Eq. 33}$$

e a variância de Z é

$$\sigma^2 = \mu^2 \exp(\alpha, \beta^2) \quad \text{Eq. 34}$$

(AITCHISON AND BROWN, 1966, APUD BROWN, F.H, 1995)
reference to its uses in economics: Cambridge Univ. Press, Cambridge, 176 p

LOGNORMAL (μ , σ)

Lognormal (μ , σ) especifica uma distribuição lognormal tendo como dado de entrada a média (μ) e o desvio padrão (σ)

Aplicação: Representa quantidades que são o produtório de um grande número de outras quantidades; por exemplo temos as distribuições de quantidades físicas da natureza tais como o tamanho dos campos de óleo numa bacia.

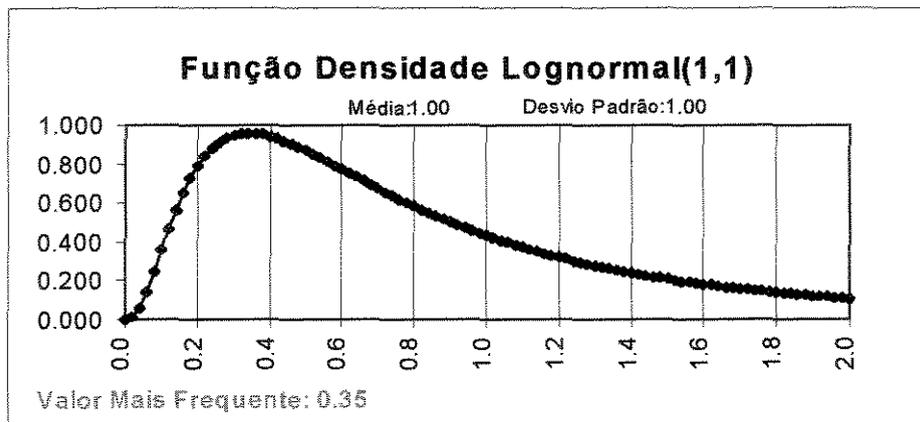
$$F(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi\sigma_1^2}} \exp\left(\frac{-(\ln x - \mu_1)^2}{2(\sigma_1)^2}\right) \quad \text{Eq. 35}$$

$$\mu_1 = \ln[\mu^2 / (\sigma^2 + \mu^2)^{1/2}]$$

$$\sigma_1 = (\ln[(\sigma^2 + \mu^2) / \mu^2])^{1/2}$$

Onde, $\sigma > 0$, $\mu > 0$ e $x > 0$;

μ = Média σ = Desvio Padrão.



Anexo A: Unidade de Conversões

Conversão e Outros fatores

<u>Unidade</u>	<u>Conversões</u>
Barril	1 bbl = 42 US gallons = 0.1590 m ³
BTU	1 BTU = 252.1 calorias = 0.293 *10 ⁻³ kwh =1054.8 J
Gallon, US	1 gallon = 3.785 litros
Metro	1 m = 3.280833 ft
Metro Cúbico	1 m ³ = 35.314 pés cúbico = 6.2899 bbl
Pé	1 ft = 0.3048006 m
Pé cúbico	1 pé cúbico = 0.028317 m ³
Pound	1 lb = 0.4535924 kg
Kilowatthora	1 kwh = 860.4 * 10 ³ cal = 3413 BTU
Tonelada métrica	1 ton = 1000 kg = 2204.6 lb
1 acre	4046,84 m ²

Valores Caloríficos

1 bbl óleo crú, média:	1.4 * 10 ⁹ cal = 5.55 x 10 ⁶ BTU
1 Pé cúbico gás natural:	252.1*10 ³ cal = 1000 BTU
1 Tonelada de óleo equivalente (toe) ¹ :	10.29* 10 ⁹ cal = 4.08 * 10 ⁷ BTU
1 m ³ gás natural:	9* 10 ⁶ cal = 35.3* 10 ³ BTU

Equivalências

1 tonelada de óleo crú:	7.33 bbl óleo crú, (Média)
1 tonelada de óleo crú:	39200 pés cúbico de gás natural
1 bbl óleo crú	4400 pés cúbico de gás natural
1000 m ³ de gás natural	0.408 toe
1000 kwh:	0.0837 toe

¹ A tonelada (tonelada métrica) de óleo “equivalente” corresponde a uma tonelada dessa substância de um aceitado valor calorífico.

ANEXO B: SOFTWARE

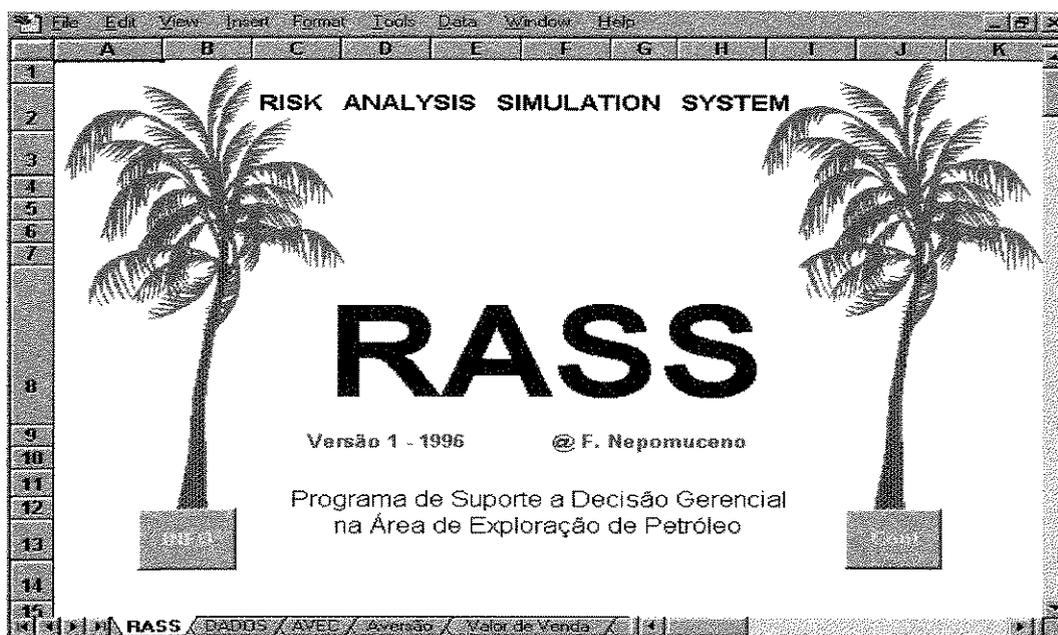


Figura 1: Tela 1 do programa RASS (“Risk Analysis Simulation System”) desenvolvido dentro do Microsoft Excel.

O Programa RASS, (“software” desenvolvido pelo autor nesse trabalho), recebeu o nome de Risk Analysis Simulation System (RASS), numa referência direta com o programa BASS desenvolvido pelo PETROBRAS/CENPES que faz uma avaliação numérica de análise de bacias (Basin Analysis Simulation System), que é uma importante ferramenta usada pela PETROBRÁS e BRASPETRO para a definição de prospectos exploratórios e estimativa de risco geológico de cada bacia. Os dados fornecidos pelo BASS são fundamentais para o uso do RASS.

O programa RASS foi desenvolvido, como um invólucro da tecnologia de aplicação prática da moderna teoria da utilidade na comparação de prospectos exploratórios de diferentes “plays¹” em diferentes bacias. É uma maneira de incorporar quantitativamente o risco exploratório e a avaliação econômica, de tal modo que diferentes prospectos e “plays”, situados em diferentes bacias, podem ser comparados uns com os outros.

¹ Play é uma palavra usada na indústria do petróleo para significar um conjunto de prospectos exploratórios com características comuns.

Esse "software" serve para treinar o gerente no uso dessa tecnologia, dando consistência ao processo de tomada de decisão em exploração de petróleo. Ele será usado para: (1) seleção de projetos para a construção de uma carteira de locações exploratórias que minimiza o risco e maximiza o lucro; (2) definição do nível ótimo de participação financeira em cada projeto; (3) comparação e priorização dos projetos usando o mesmo coeficiente de aversão ao risco; (4) definição da alocação ótima de recursos financeiros em vários projetos, reduzindo o risco via diversificação.

1. O que faz o "software" RASS

O RASS ajuda o gerente a estimar o seu coeficiente de aversão ao risco, baseado em decisões passadas, ou na análise de sua carteira de prospectos ou na construção de questionários que levam em conta o capital exploratório da firma e as preferências de seus gerentes em relação ao risco.

O RASS ajuda o gerente a encontrar o valor do equivalente certo de um projeto de risco, (avaliações de medidas ajustadas ao risco), coerente com a seu coeficiente de aversão ao risco (função de preferência).

O RASS oferece a extraordinária capacidade de identificar qual a percentagem de participação que sua firma deve ter em cada prospecto exploratório ou aquisição de concessões (blocos).

A avaliação econômica, a modelagem da árvore de decisão e a teoria de preferência ao risco, embutidas dentro desse programa, fornecem o poder e a capacidade para efetivamente gerenciar a complexa orçamentação do capital de investimento.

Um avanço na área da teoria da utilidade é o uso de considerações genéricas no estabelecimento de preferências ao risco para um indivíduo ou organização. O uso dessas considerações facilita a análise da carteira de projetos, partindo-se de uma curva padrão internacional de referência, e estimando-se um coeficiente de aversão ao risco para cada gerente ou firma em particular.

Existe uma tendência de internacionalização da exploração de petróleo a qual recomenda o uso de técnicas padronizadas de avaliações e comparações de "plays" e prospectos.

Recentemente, foi introduzido o uso de forma exponencial da função utilidade para tratar satisfatoriamente uma larga faixa de preferência ao risco das corporações na área de petróleo (HAMMOND, 1974 e WALLS & DYER, 1992).

O resultado final do RASS é fornecer um relatório de prioridades de projetos:

1. Fornece um sumário dos prospectos, ordenados pelo equivalente certo dos projetos para até 50 projetos, para um selecionado nível de aversão ao risco do usuário.

2. Recomenda o nível ótimo de participação de sua firma (incluindo "farm out"), baseado em suas preferências ao risco.

3. Permite construir um portfólio de prospectos exploratórios que coincida com sua preferência ao risco e sua limitação de capital.

2. Aplicação do Programa RASS

Exemplo: Alocação de investimentos exploratórios em projetos de risco

Essa aplicação é principalmente apropriada para análise de projetos em parcerias ("joint ventures"). Visa otimizar o nível de participação no projeto, reduzindo custo e qualificando o processo de orçamentação da companhia.

Esse "software", desenvolvido dentro do Microsoft Excel, usa diversas macros(construídas pelo autor dentro do visual basic); diversas equações da teoria da preferência, e os recursos de telas e gráficos do Excel para facilitar a tomada de decisão pelo gerente.

2.1 Resolução do problema passo a passo

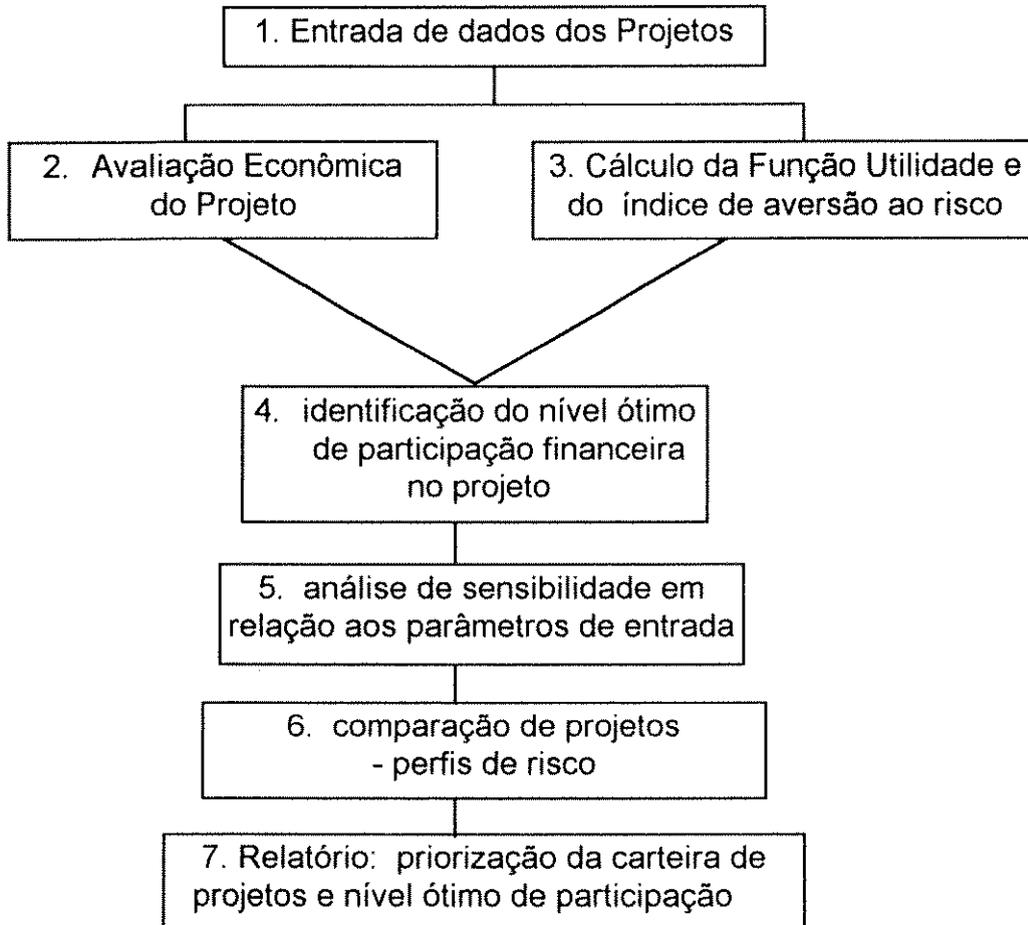


Figura 2: Macrofluxo do programa RASS

2.1.1 Dados de Entrada

Inicialmente foram colocados numa planilha dentro do Excel os dados de entrada do problema ou seja, os valores de custos, valor presente líquido, probabilidade de sucesso, volume de óleo a descobrir por projeto, fator de aproveitamento econômico e preço do barril de óleo. O preço do barril de óleo usado foi de US\$ 18/bbl. (Figura 3).

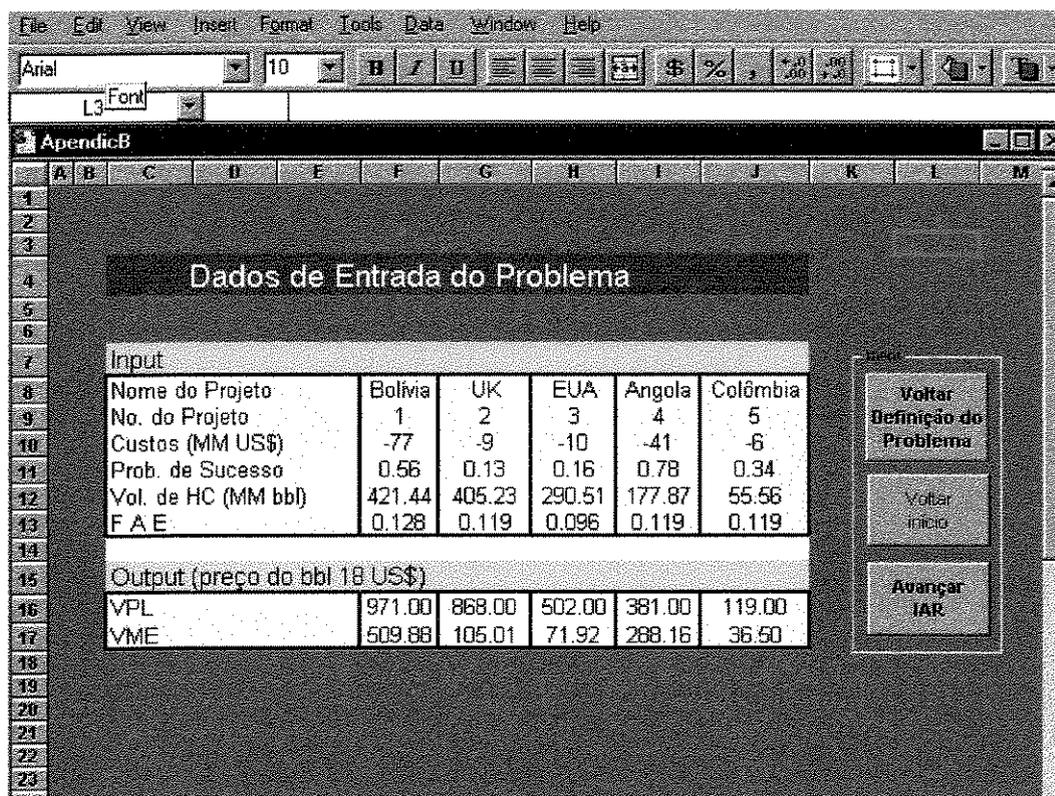


Figura 3 : Tela 2 do programa RASS: Dados de entrada dos Projetos

2.1.2 Avaliação Econômica dos Projetos

Em seguida foram calculados os valores de VPL e VME cuja as equações estão apresentadas abaixo:

2.1.2.1 Cálculo do Valor Presente Líquido (VPL)

$$\text{VPL} = \text{Vol.} * \text{Preço} * \text{FAE} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde,

Vol. = Volume de óleo equivalente recuperável em milhões de barris

Preço = Preço de venda do Petróleo em US\$

FAE = Fator de Aproveitamento Econômico do Projeto. Definido por SILVA,1985, esse valor tem sido estimado para várias bacias brasileiras, e depende da infra-estrutura disponível, da produtividade dos campos, dos efeitos de impostos e "royalties", do custo do dinheiro, da TMA, etc.

2.1.2.2 Cálculo do Valor Monetário Esperado (VME)

$$VME = p \cdot VPL_1 + (1-p) \cdot VPL_2 \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde,

p = probabilidade de sucesso para se descobrir aquele volume estimado,

VPL_1 = valor presente líquido do projeto no caso de sucesso, e

VPL_2 = o valor presente líquido no caso de insucesso.

2.1.3: Função Utilidade, Equivalente Certo e Cálculo do Coeficiente de Aversão ao Risco

2.1.3.1 Função Utilidade

Foi adotada a função de preferência dada pela seguinte função utilidade

$U(x)$:

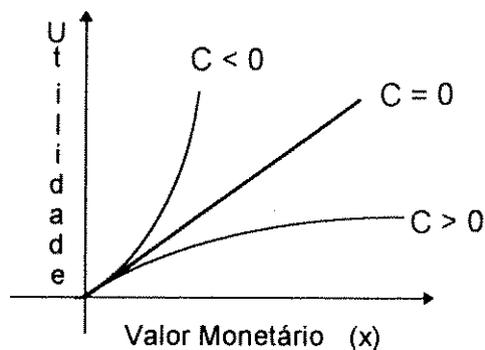


Figura 4: Função utilidade de gerentes avessos ao risco ($C > 0$), de gerentes indiferentes ao risco ($C = 0$), e de gerentes amantes do risco ($C < 0$).

$$U(x) = e^{-cx} \quad (\text{Eq. 3})$$

em que:

c é o Coeficiente de Aversão ao risco, e

x é a variável considerada, no caso o valor monetário

2.1.3.2 Equivalente Certo

Para a função utilidade que foi usada nesse trabalho ($U(x) = e^{-cx}$), o valor do equivalente certo é dado por:

$$Eq = -\frac{1}{c} \ln(pe^{-cVPL_1} + (1-p)e^{-cVPL_2}) \quad (\text{Eq. 4})$$

em que:

c é o índice de aversão ao risco; VPL_1 é o valor presente líquido no caso de sucesso, VPL_2 é o valor presente líquido no caso de insucesso e p é a probabilidade de sucesso.

2.1.3.3 Cálculo do Coeficiente de Aversão ao Risco

Apresenta-se quatro modos de calcular o índice de aversão ao risco (IAR) (Figura 7).

1. Preço de venda do projeto
2. Nível de participação desejada no projeto
3. Cálculo estatístico da carteira do projeto
4. Níveis padrão das companhias internacionais

A fórmula generalizada do Equivalente certo (Eq. 4) para qualquer nível de participação (np) é:

$$Eq(np) = -\frac{1}{c} \ln(pe^{-cVPL_1(np)} + (1-p)e^{-cVPL_2(np)}) \quad (\text{Eq. 5})$$

em que, np é o nível de participação financeira no projeto

Para encontrar qual o nível de participação que torna o equivalente certo máximo, toma-se a primeira derivada da equação Eq. 5 e iguala-se a zero. Com isso encontra-se uma relação entre o nível de participação e o índice de aversão ao risco, conforme mostrado na Equação 6.

Derivando a Equação 5 e igualando a zero tem-se:

$$c = \frac{\ln\left(\frac{-p V P L_1}{(1-p) V P L_2}\right)}{np(V P L_1 - V P L_2)} \quad (\text{Eq. 6})$$

Serão descritos aqui, quatro métodos para encontrar o coeficiente de aversão ao risco apresentado por um gerente:

Método 1: Coeficiente de aversão ao risco de uma firma e equivalente certo.

Submete-se ao gerente de exploração um questionário para ele responder qual o preço de venda dos projetos

Nome	Resultado	Valor (MMUS\$)	Prob.Sucesso	VME	Preço de Venda
Proj ₁	Sucesso	100	10%	5.5	?
	Insucesso	-5			
Proj ₂	Sucesso	10	40%	1	?
	Insucesso	-5			
Proj ₃	Sucesso	100	20%	4	?
	Insucesso	-20			

Figura 6: Modelo de questionário sobre o preço de venda dos projetos, para ser respondido pelo gerente de exploração para se calcular o coeficiente de aversão ao risco da firma.

A relação do valor do equivalente certo (EqC) com o valor monetário esperado (VME) é acompanhada pela medida de aversão ao risco c , exibida pela firma (Equação 4):

Entrando com os valores de VPL, probabilidade de sucesso e o valor do equivalente certo (o preço para a qual a firma prefere vender no lugar de perfurar), o programa RASS calcula o valor do coeficiente de aversão ao risco da firma.

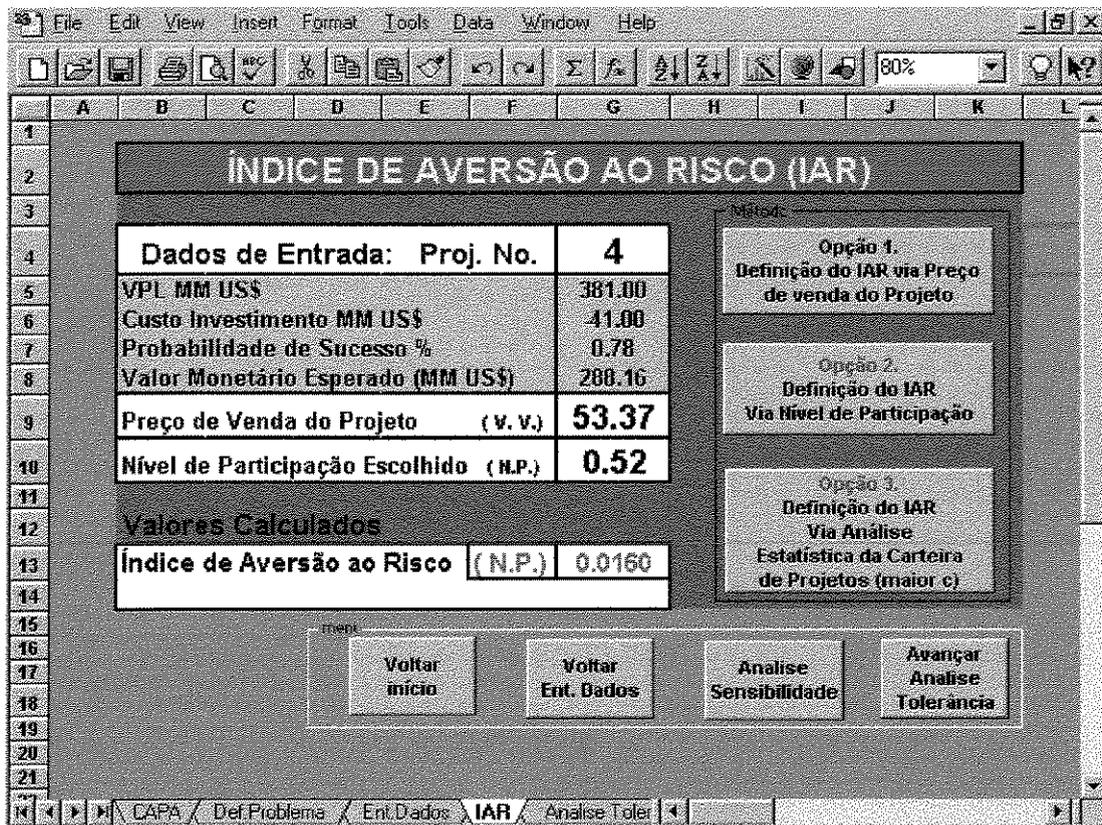


Figura 7: Tela 3 do programa RASS. Diversos métodos de cálculo do coeficiente de aversão ao risco.

Método 2: Coeficiente de aversão ao risco de uma firma e nível de participação financeira desejado para um projeto.

A aversão ao risco é também expressa pela escolha do nível de participação em um projeto. (Equação 5). Assim é oferecido um questionário sobre o nível de participação desejado em um projeto para ser respondido pelo gerente de exploração (Figura 8).

A correlação entre o nível de participação desejado em um projeto, o seu preço de venda e o seu nível de aversão ao risco está ilustrado na Figura 9. Ou seja, dado o nível de participação desejado, determina-se o seu preço de venda e seu nível de aversão ao risco e vice-versa. Dado o preço de venda do projeto

é possível determinar o nível de participação ótima e o nível de aversão ao risco. Essa tela ajuda ao tomador de decisão mostrando a coerência entre o seu preço de venda e o seu nível de participação em um determinado projeto. Exemplo, se o nível de participação desejado é de 50%, significa que o preço de venda é de US\$ 0.35 MM e o coeficiente de aversão é de 0.1387.

Nome	Resultado	Valor (MMUS\$)	Prob.Suc.	Nível de participação desejado
Proj ₁	Sucesso	100	10%	100% 75% 50% 25% 12,5% 0%
	Insucesso	-5		
Proj ₂	Sucesso	10	40%	100% 75% 50% 25% 12,5% 0%
	Insucesso	-5		
Proj ₃	Sucesso	100	20%	100% 75% 50% 25% 12,5% 0%
	Insucesso	-20		

Figura 8: Modelo de questionário sobre nível de participação no projeto, para ser respondido pelo gerente de exploração para se calcular o coeficiente de aversão ao risco da firma.

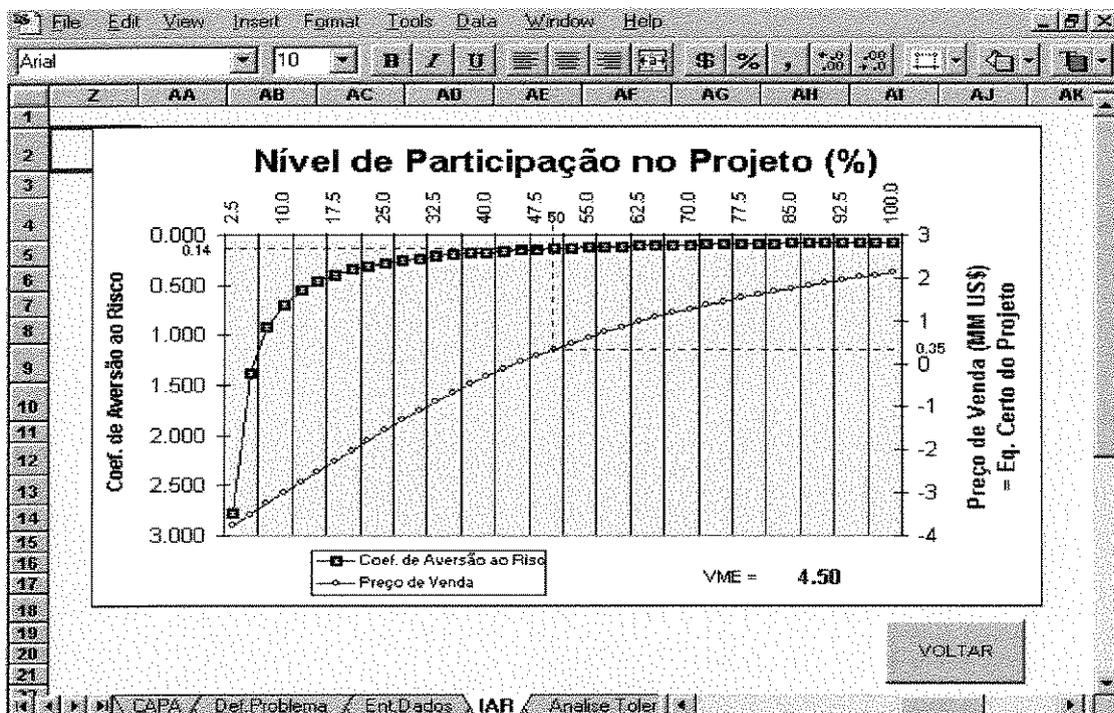


Figura 9: Tela 4 do programa RASS, mostra uma análise de sensibilidade no cálculo do coeficiente de aversão ao risco para uma variação das estimativas de valor do projeto e nível de participação desejado pela firma no projeto. Dados do exemplo acima: $VPL_1 = \text{US\$}13 \text{ MM}$, $VPL_2 = \text{US\$} -4 \text{ MM}$ e Probabilidade. Sucesso de 50%.

Método 3: Cálculo da tolerância ao risco da firma para que o nível ótimo de participação da firma no projeto seja de 100%. Tolerância ao risco é definido como o inverso da aversão ao risco ($1/c$).

$$c = \ln[-p \cdot VPL_1 / ((1-p) \cdot VPL_2)] / (VPL_1 - VPL_2) \text{ (Eq. 6, quando } np = 1)$$

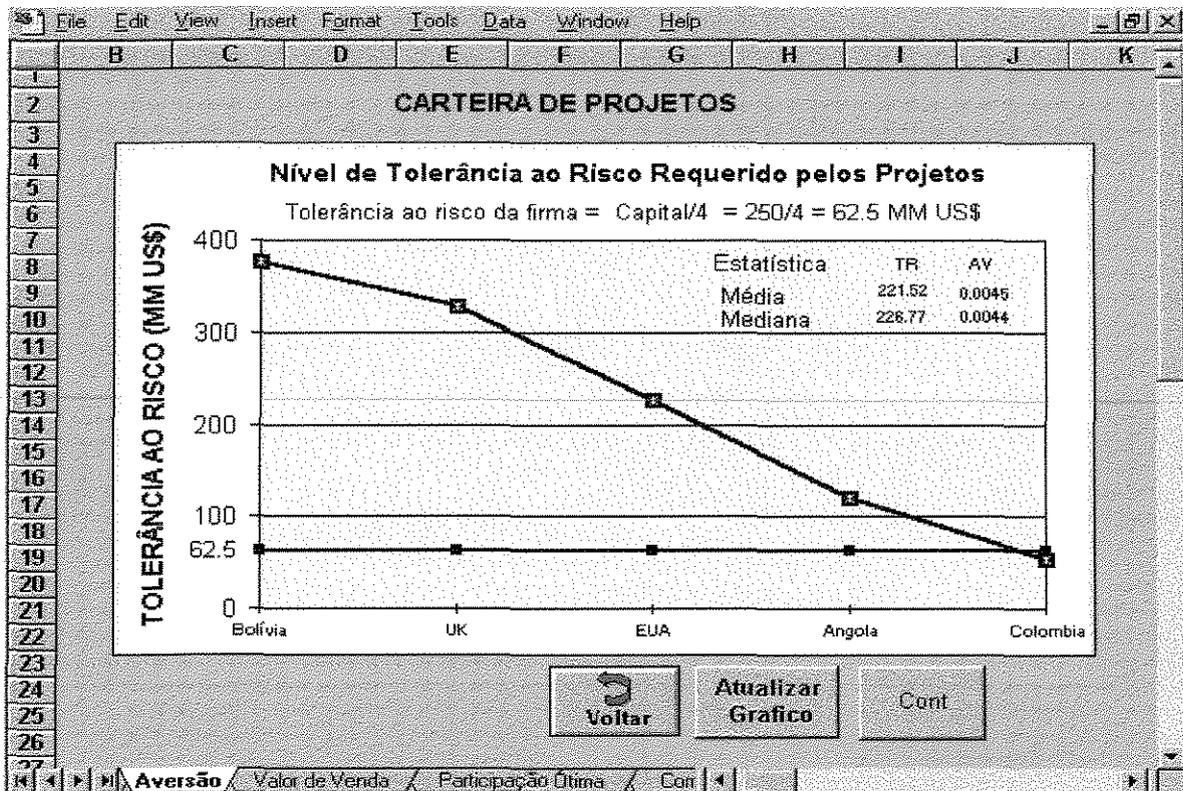


Figura 10: Tela 5 do programa RASS mostrando qual o nível de tolerância ao risco requerido por cada projeto para que a participação da firma em cada um deles sejam ótimo em 100%.

Tomada de decisão coerente e consistente é conseguida quando se avalia todos os prospectos com o mesmo coeficiente de aversão ao risco.

A Figura 10 mostra o nível de tolerância usado na avaliação de todos os projetos (linha horizontal) e o nível de tolerância ao risco necessário para que a participação ótima fosse de 100%. Observe que se o nível de tolerância ao risco necessário está acima do nível de tolerância usado, significa que a participação ótima se dará em um valor de participação menor que 100%.

Claro que, quando executa-se o projeto tem-se um np de 100%, seja para a firma ou seja para a "joint venture". Assim, fazendo $np=100\%$ na Equação 6, encontra-se o valor de c . " c " representa o nível de aversão que o projeto exige para que ele seja executado apresentando um equivalente certo máximo para uma participação de 100%.

Uma seqüência lógica de análise seria fazer uma análise de baixo para cima. Primeiro analisa-se o projeto que requer menor nível de tolerância ao risco para ser aprovado e estima-se qual o nível de participação desejado. Se for 100% passa-se para o segundo projeto com mais baixo nível de tolerância ao risco requerida. No exemplo acima, para o segundo projeto o tomador de decisão só estava interessado em participar com 52%. Isso define o nível de aversão do tomador de decisão e conseqüentemente com coerência a esse coeficiente, o nível de participação em todos os outros projetos.

Método 4: Coeficiente de aversão ao risco padrão, usado pelas companhias internacionais.

WALLS & DYER (1992), estudando 50 companhias americanas concluiu que a tolerância ao risco apresentada por essas companhias eram de 1/4 do Capital exploratório anual. COZZOLINO(1980), sugeriu que para início de discussão seria razoável estimar que o coeficiente de aversão ao risco fosse o inverso do capital exploratório anual da firma.

De qualquer modo o coeficiente de aversão ao risco é inversamente proporcional ao capital disponível para investimento da firma. Ele depende desse capital e das atitudes dos gerentes frente ao risco.

Nesse exemplo, assumamos que a tolerância ao risco apresentado por essa firma seja de ¼ do capital exploratório anual que é de US\$ 250 milhões.

2.1.4. Identificação do Nível Ótimo de Participação Financeira

O próximo passo é calcular o nível ótimo de participação para cada projeto (np) dado esse nível de aversão ao risco encontrado na seção anterior.

$$np = \frac{\ln\left(\frac{-pVPL_1}{(1-p)VPL_2}\right)}{c(VPL_1 - VPL_2)} \quad (\text{Eq.7})$$

A Figura 11 e Figura 12 mostram o equivalente certo em função do nível de participação, definindo o nível ótimo de participação para os projetos da Bolívia e Angola respectivamente. Para calcular os equivalentes certos usa-se a fórmula abaixo(Eq. 5)

$$Eq(np) = -\frac{1}{c} \ln\left(pe^{-cVPL_1(np)} + (1-p)e^{-cVPL_2(np)}\right) \quad (\text{Eq. 5})$$

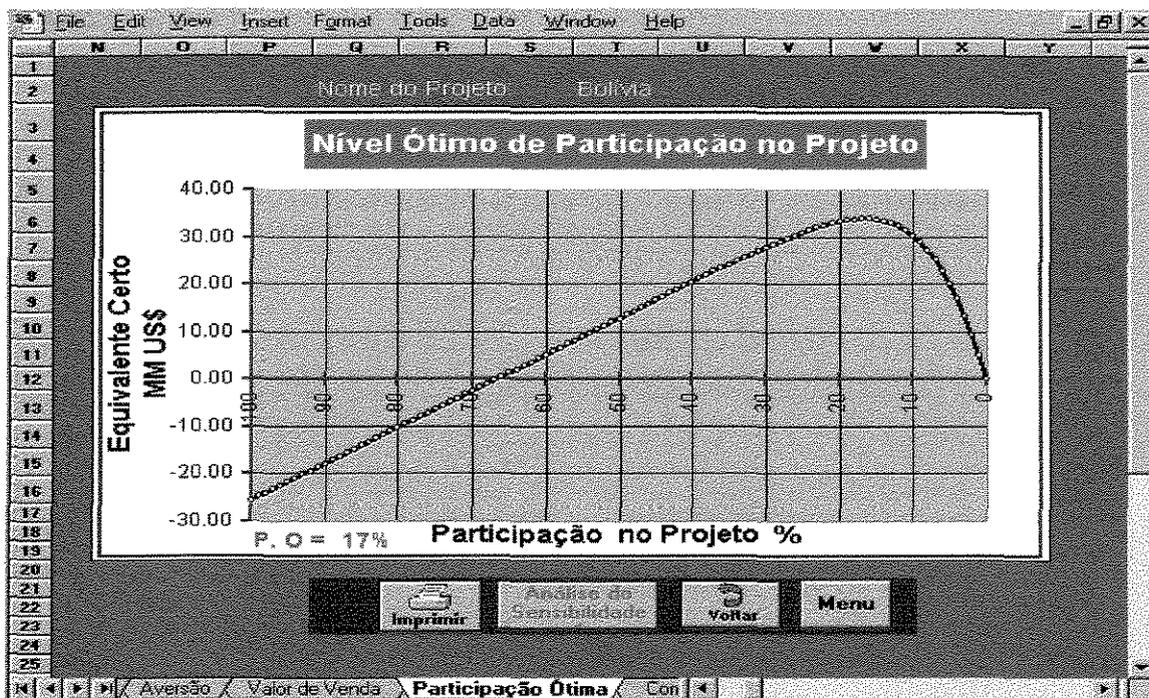


Figura 11: Equivalente certo Vs Nível de participação - Projeto Bolívia

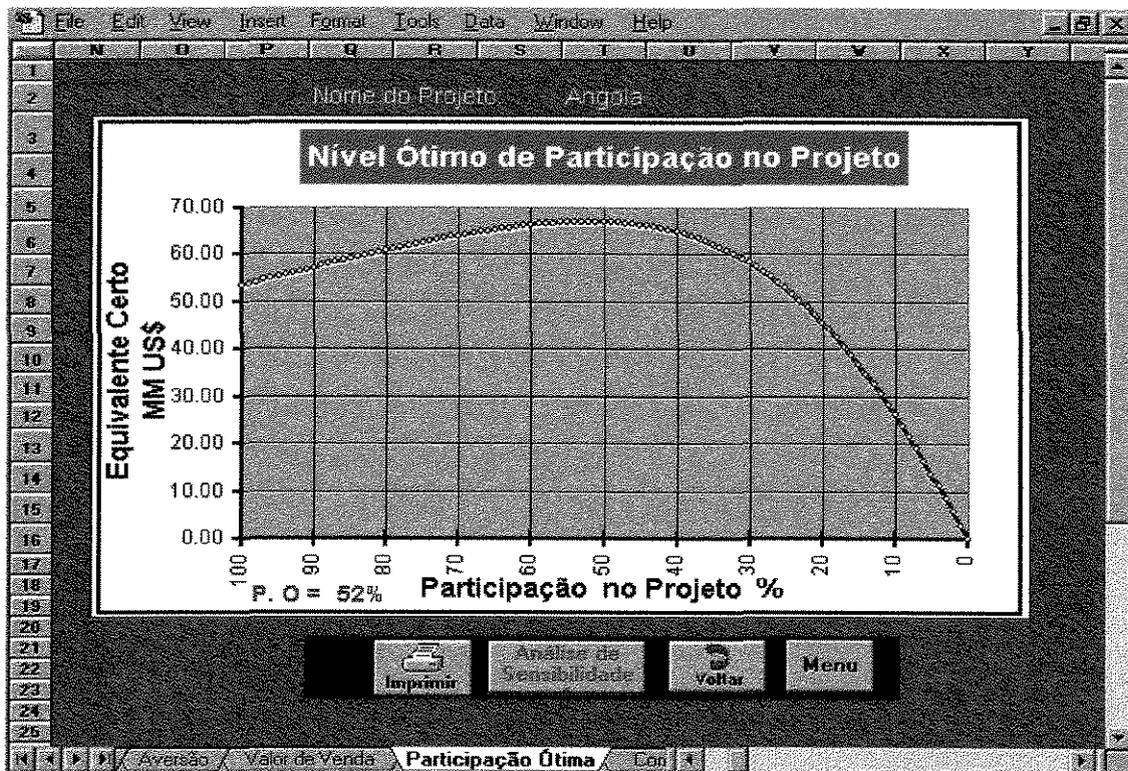
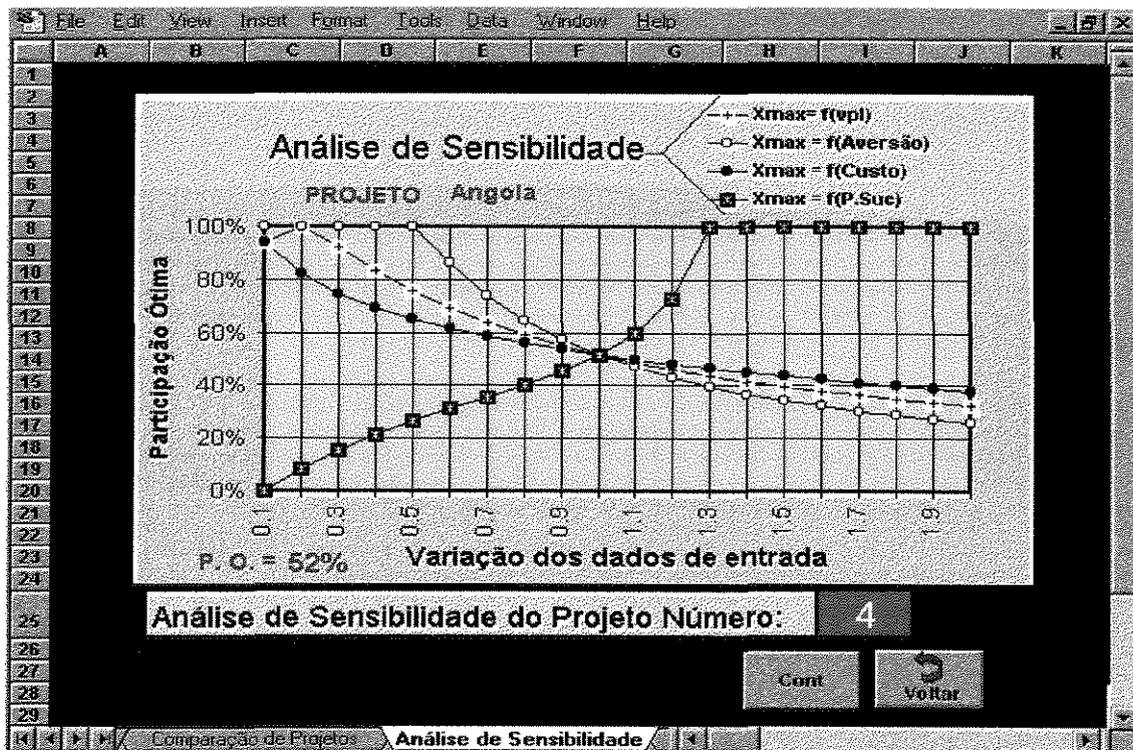


Figura 11.12: Equivalente certo Vs Nível de participação - Projeto Angola

2.1.5. Análise de Sensibilidade



A Figura 11.13 ilustra a análise de sensibilidade tipo "SPIDER" do projeto de Angola, para variações dos dados de entrada em 10%. Um parâmetro de cada vez.

2.1.6. Comparação de Projetos - Perfis de Risco

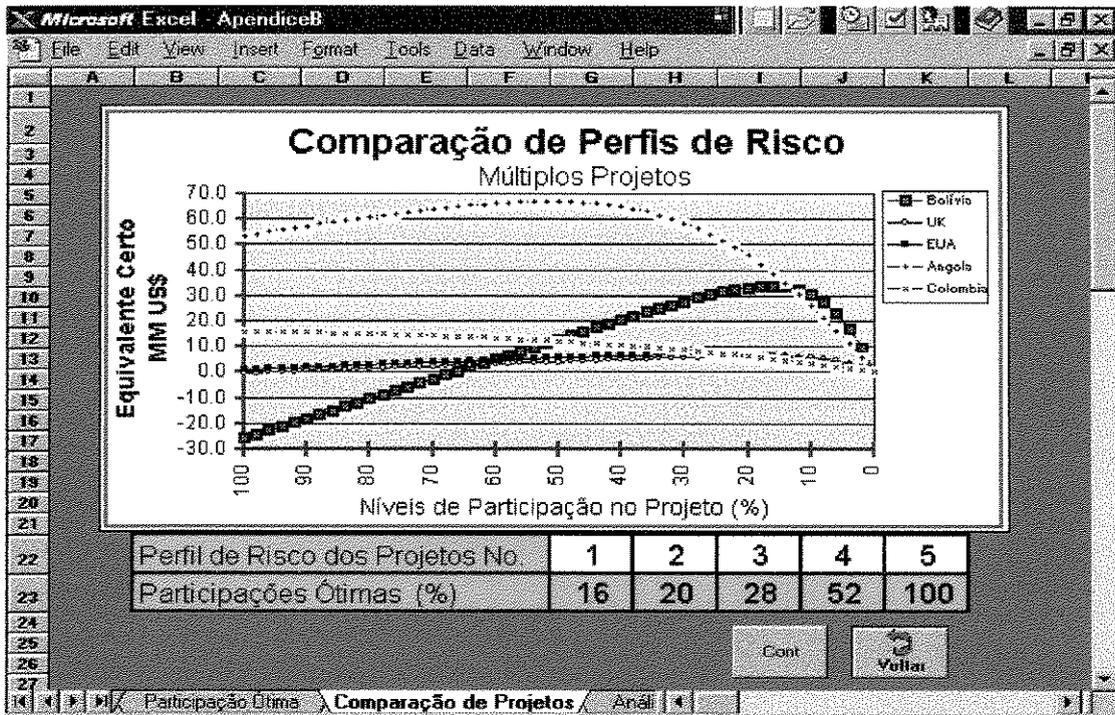


Figura 11. 14: Compara o perfil de risco de todos os projetos para vários níveis de participação, mostrando qual o melhor projeto e definindo o nível ótimo de participação para cada projeto

2.1.7. Relatório: Priorização da Carteira de Projetos e Nível Ótimo de Participação

The figure shows a Microsoft Excel spreadsheet with a table titled "Sumário da Carteira de Projeto". The table lists five projects with their respective participation levels, expected values, and ranks. The table is as follows:

Rank	Nome	Part.	CEq	VME*AM	VME	Rank	P.S	Rank	Custo	Rank	CEq	Rank
CEq	Proj.	Ótima	P.O.	MMUS\$	MMUS\$	VME	P.S	MMUS\$	Custo	100%	CEq 100%	Rank
1	Angola	52%	67.02	149.85	288.16	2	78%	1	-41	2	53.36	1
2	Bolívia	16%	33.78	81.58	509.89	1	56%	2	-77	1	-25.69	50
3	Colombi	100%	15.76	36.50	36.50	5	34%	3	-6	5	15.76	2
4	EUA	28%	6.91	20.14	71.92	4	16%	4	-10	3	0.89	3
5	UK	20%	6.34	21.00	105.01	3	13%	5	-9	4	-0.30	49

Figura 11.15 apresenta um sumário dos resultados de saída do programa RASS

ANEXO C: GLOSSÁRIO

Apresenta-se nesse apêndice, algumas das palavras normalmente usadas nessas cinco áreas que fazem parte do nosso trabalho: Tomada de Decisão; Avaliação Econômica, Exploração de Petróleo, Análise de Risco e Teoria da Preferência.

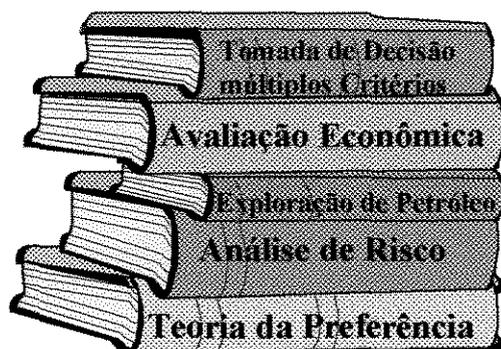


Figura 1 Ilustra as áreas afins do nosso trabalho

Árvore de Decisão: Uma árvore de decisão representa um problema de decisão com uma série de escolhas, cada qual é desenhada por um garfo de decisão, ou um garfo de chances .

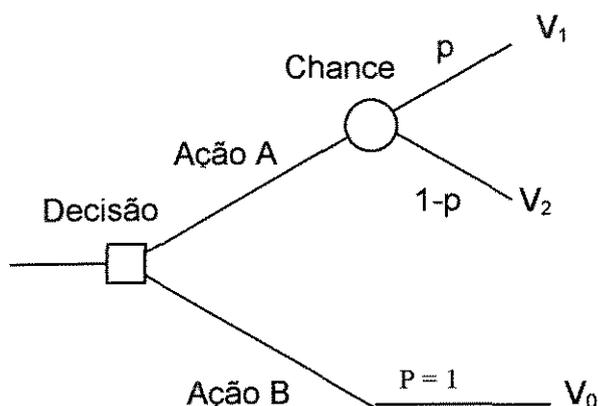


Figura 2: Árvore de Decisão

Área da Estrutura: é a área da estrutura possivelmente portadora de hidrocarboneto. É apresentada, normalmente, em mapa estrutural sísmico ou mapa de anomalia sísmica ou mapa de zona porosa a partir dos dados sísmicos de reflexão.

Aversão ao risco significa: Menos risco é preferível à mais risco, todas as outras coisas sendo iguais. Grande coeficiente de aversão ao risco (c) significa uma grande concentração para diminuir as perdas e reduzida concentração para grandes lucros potenciais.

Tomada de decisão consistente com respeito ao risco é encontrada quando se avalia todos os prospectos com o mesmo nível de aversão ao risco.

Contrato de partilha de produção: A estatal do país hospedeiro tem participação na administração e a empresa internacional de petróleo assume o risco da parte técnica e financeira da operação em uma determinada área sob contrato; a produção pertence ao país hospedeiro; após recuperação dos custos, a produção é rateada entre a estatal e a empresa internacional de acordo com o percentual pré-determinado; a renda da empresa internacional é sujeita a tributação; os equipamentos e instalações são propriedade do país hospedeiro (RIBEIRO,1995).

Custo da Exploração: Inclui os Custos com a Perfuração do poço pioneiro e das extensões para delimitação do Campo. (alguma vezes pode incluir o custo com sísmica e gasto passados com a exploração).

Custo da Produção: Inclui o custo dos poços de desenvolvimento do campo, o custo com a infra-estrutura de produção, e custo operacional do poço e custo de manuseio, estocagem e transporte de óleo.

Equivalente Certo e prêmio de risco: Muitas Vezes, uma opção arriscada pode ser comparada com uma sem risco. Os executivos poderiam perguntar: Qual o menor valor em dinheiro que eu aceitaria, sem risco, como retorno pela escolha arriscada, com esse valor esperado? Esse valor é o equivalente certo da escolha arriscada. (MAITAL,1996).

Para quem não gosta de risco, ele é geralmente menor do que o valor esperado. A diferença entre o equivalente certo e o valor esperado é o “**prêmio de risco**”: o custo em dinheiro da incerteza, como é percebido pela pessoa disposta a tolerá-lo.

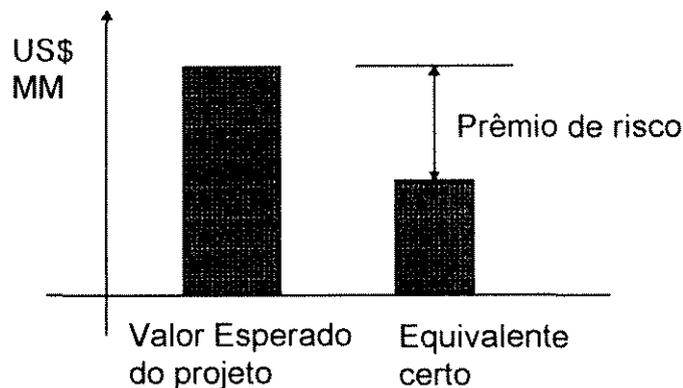


Figura 3: Definição do prêmio de risco

Para uma função utilidade do tipo $U(x) = -e^{-cx}$

$$Eq = -\frac{1}{c} \ln(pe^{-cVPL_1} + (1-p)e^{-cVPL_2})$$

onde,

c é o coeficiente de aversão ao risco; VPL_1 é o valor presente líquido no caso de sucesso, VPL_2 é o valor presente líquido no caso de insucesso e p é a probabilidade de sucesso.

Assim nos projetos de exploração de petróleo, o preço para o qual a firma prefere vender o projeto (perfuração de um poço) no lugar de perfurar representa aquele ponto de indiferença da firma (Equivalente certo) entre um valor certo (venda) e um mais lucrativo, mas um jogo arriscado (perfurar).

Equivalente certo (Valor ajustado ao risco) é o resultado do desconto do risco baseado na teoria da preferência ao risco, também conhecida como teoria da utilidade.

Fluxo de caixa é aqui definido como movimentos de dinheiro de entrada e saída do caixa(Figura 4)

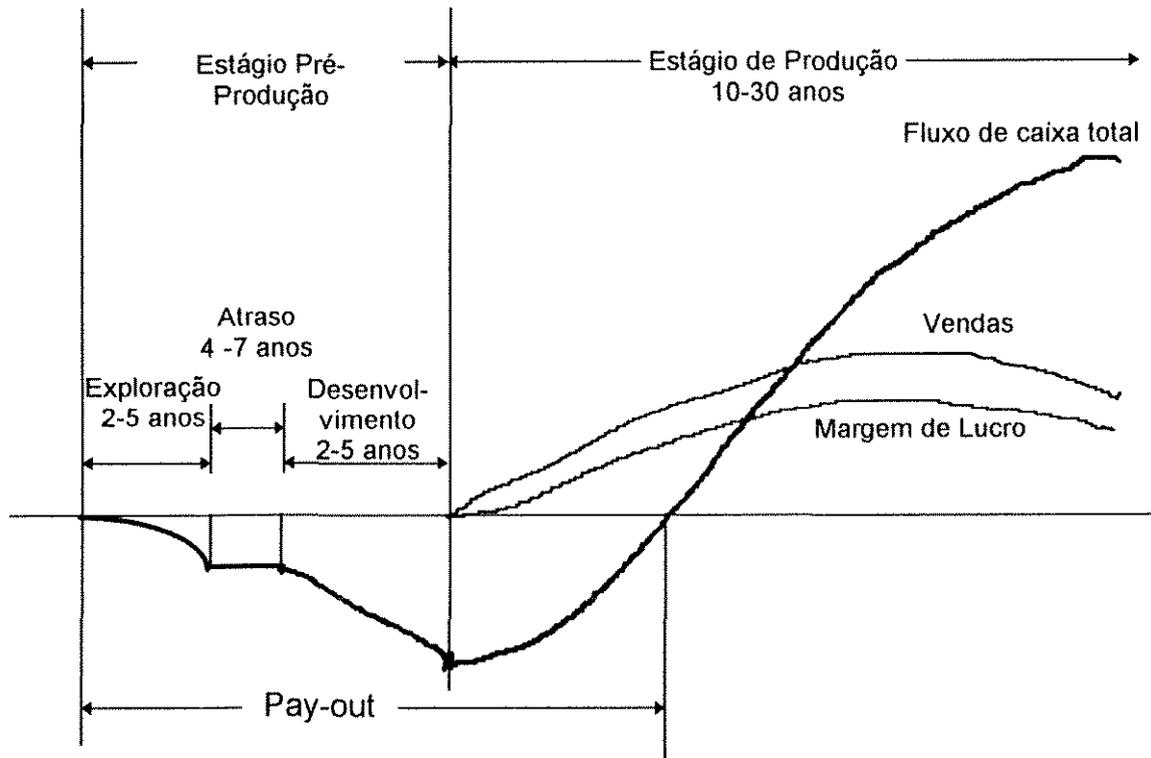


Figura 4 : Fluxo de caixa típico de um projeto de mineração

Payout: O payout de um projeto de investimento de capital é definido como o período de tempo requerido para que a soma das vendas acumuladas seja igual ao investimento.

Payout é um útil parâmetro para comparar as taxas relativas de receitas de vendas, mas não é um parâmetro que reflete ou mede todas as dimensões da lucratividade, as quais são relevantes na decisão.

“Play” é uma palavra usada na indústria do petróleo para significar um conjunto de prospectos exploratórios com características comuns.

Probabilidade de Sucesso: Um poço é considerado um sucesso geológico se um fluxo estabilizado de hidrocarboneto for obtido em teste. A probabilidade de sucesso de um poço na descoberta de petróleo é normalmente calculada pelo seguinte produtório:

$P_s =$ probabilidade de existência da trapa (Estrutura) * probabilidade de ocorrência de reservatório * probabilidade de geração e migração de Hc * probabilidade de ocorrência do selo (Capeador) * probabilidade de ocorrência de sincronismo espacial e temporal desses eventos.

Probabilidade: Afirmativas quantitativas sobre risco e incertezas são dadas como probabilidades numéricas, ou probabilidade de ocorrências. Probabilidades são frações decimais no intervalo entre zero e 1. Um evento ou resultado certo de ocorrer tem uma probabilidade de ocorrência 1.0. Quanto mais a probabilidade se aproxima de zero mais o evento ou resultado é menos provável de ocorrer. Um evento que não pode ocorrer tem uma probabilidade de ocorrência de zero. Exemplo, num jogo de moeda (cara ou coroa) a probabilidade de dar uma cara é 0,5.

Processos de negócio: define-se processos como pessoas usando tecnologia de uma maneira efetiva e dentro de um tempo certo. Tecnologia é de pouco uso se pessoas não podem usá-la de maneira lucrativa.

Razão lucro / investimento (Profit to investment ratio): A razão lucro/investimento é a medida que reflete a lucratividade total. É um número adimensional relacionando a quantidade de dinheiro novo gerado por um projeto de investimento por dólar investido. Algumas vezes chamado de retorno do investimento ("return on investment") ou simplesmente ROI.

Risco e Incertezas: Risco, refere-se a uma situação onde o resultado é incerto, mas onde a probabilidade de cada resultado possível é conhecida ou pode ser estimada. Incertezas, refere-se a uma situação onde essas probabilidades são desconhecidas.

Risco financeiro: Diz-se que um projeto tem 25% de chance de ocorrer se ao repetir esse projeto muitas vezes, essa probabilidade se realiza. Assim de 4 vezes ocorre 1 ou de 40 vezes ocorre 10. Se existisse capital suficiente para bancar 400 projetos certamente (risco, praticamente, zero) ganhar-se-ia 100 vezes e portanto não se perderia dinheiro.

Assim, risco frente ao capital ou risco financeiro significa que em um projeto com probabilidade de sucesso p não existe capital para bancar um número de projetos tal que a probabilidade se realize. Risco financeiro significa que eu posso quebrar antes que a probabilidade se realize.

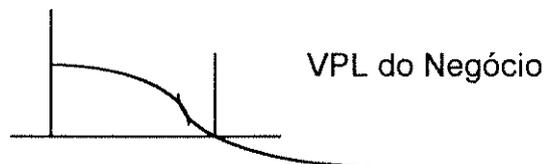
Claro que risco financeiro também está associado a outros fatores como: risco da estimativa de probabilidade calculada estar errada, não existir tantos projetos assim para investir, riscos políticos, sociais, ambientais que podem embargar o processo exploratório.

Risco Político: Ações governamentais as quais mudam a rentabilidade de um projeto, pode ser uma definição genérica aceitável, a qual compreende um conjunto de ações mais do que ações específicas, como embargos ou nacionalizações,

Taxa de Retorno: Valor da taxa de juros (desconto) que anula o Valor Presente de todos os fluxos de caixa.

$$\sum_{j=0}^n CF_j(1/(1+i))^j = 0$$

Taxa Interna de Retorno (TRI)
Cálculo do i que anula o $VPL = TRI$



Definição da taxa de retorno é a taxa de juros que iguala o valor total do entrada do fluxo de caixa com a saída, quando esses fluxos de caixas são descontados ou compostos para um ponto comum no tempo. Dizendo diferentemente, é a taxa de juro a qual faz o valor presente da receita total igual ao valor presente dos investimentos.

Tecnologia: define-se tecnologia como a capacidade de realizar uma tarefa.

Exemplo, a capacidade de adquirir e processar um 3D, capacidade de migrar em profundidade, mapeamento geológico ou avaliar perfis de poços.

Política: declaração de forma clara e concisa para a melhoria contínua da qualidade de qualquer negócio.

“Tradeoff” - abrir mão de alguma coisa para obter outra - são a base dos custos de oportunidade. São a parte principal do trabalho do executivo, e são um pouco paradoxais. Quanto mais sucesso você tiver, maiores serão os custos de oportunidade.

Todos os executivos enfrentam duas tarefas. Primeiro: trabalhar com coragem, talento, perseverança e criatividade para criar os “tradeoffs”, onde não há nenhum, pois quando encontra-se algum “tradeoff” pode-se avaliá-lo e escolher a melhor opção. Se o executivo não for capaz de identificar os “tradeoff”, não pode saber o que está perdendo.

Se você não estiver enfrentando nenhum “tradeoff”, é sinal de que sua empresa está sendo mal gerenciada. Se você não tiver que receber menos de alguma coisa, para receber mais de outra, o que acontece é que você poderia receber mais de tudo se organizasse melhor as coisas. Isto, em contrapartida, significa que há muita gordura e desperdício no sistema, que precisam ser eliminados.

As tarefas de criar e gerenciar “tradeoffs” estão relacionadas com a visão econômica de eficiência. Cada tarefa envolve um conceito diferente de eficiência, focalizando tipos diferentes de conhecimento gerencial. No primeiro caso os gerentes se livram do desperdício. No segundo caso, fazem opções de “tradeoffs”.

Nesse trabalho de tese, trabalha-se com múltiplos objetivos e muitas vezes os interesses são conflitantes, e precisa-se gerenciar esses “tradeoffs” da melhor maneira possível, equilibrando os lucros e os prejuízos de modo a melhorar o seu negócio, com o máximo de ganho pelo mínimo de sacrifício.

Teoria da Preferência: Se o seu projeto não tem risco, e você sabe tudo o que vai acontecer no futuro, aí basta fazer uma análise econômica bem feita e está tudo resolvido. Agora, se seu projeto envolve riscos, você precisa de uma tecnologia que reduza seus riscos e maximiza seus lucros, aí então a teoria da preferência é importante.

Normalmente, os projetos com maiores riscos oferecem maiores lucros. Então para participar desses grandes projetos que envolvem muito dinheiro e risco, é importante definir qual o nível ótimo de participação. A teoria da preferência define a participação ótima e dá coerência ao processo de tomada de decisão na orçamentação do seu capital.

Utilidade é um número que é agregado a um possível resultado da decisão. Cada resultado tem uma utilidade. (As mais desejáveis tem valores mais altos que as menos desejáveis).

Utilidade Esperada é a soma das utilidades de cada resultado que ocorre vezes a probabilidade de ocorrência do resultado. Um tomador de decisão racional maximizará a utilidade esperada.

A medida de utilidade foi estabelecida por Von Neumann e Morgenstern (1947) com o propósito de predição, para permitir ao teórico determinar no caso de ausência do jogador, qual das várias proposições de risco o jogador preferiria.

Valor esperado de uma informação perfeita é o aumento no valor monetário esperado que o tomador de decisão teria se ele obtivesse informações completas e acuradas sobre o resultado do problema.

Valor esperado de um resultado: O produto obtido pela multiplicação da probabilidade de ocorrência do resultado e o valor condicional que é recebido se o resultado ocorrer.