

1

Avaliação de Investimento de Capital em Projetos de Geração Termoelétrica no Setor Elétrico Brasileiro Usando Teoria das Opções Reais

Alessandro de Lima Castro

Orientadores:

José Paulo Teixeira

Albert Cordeiro Geber de Melo

Objetivos

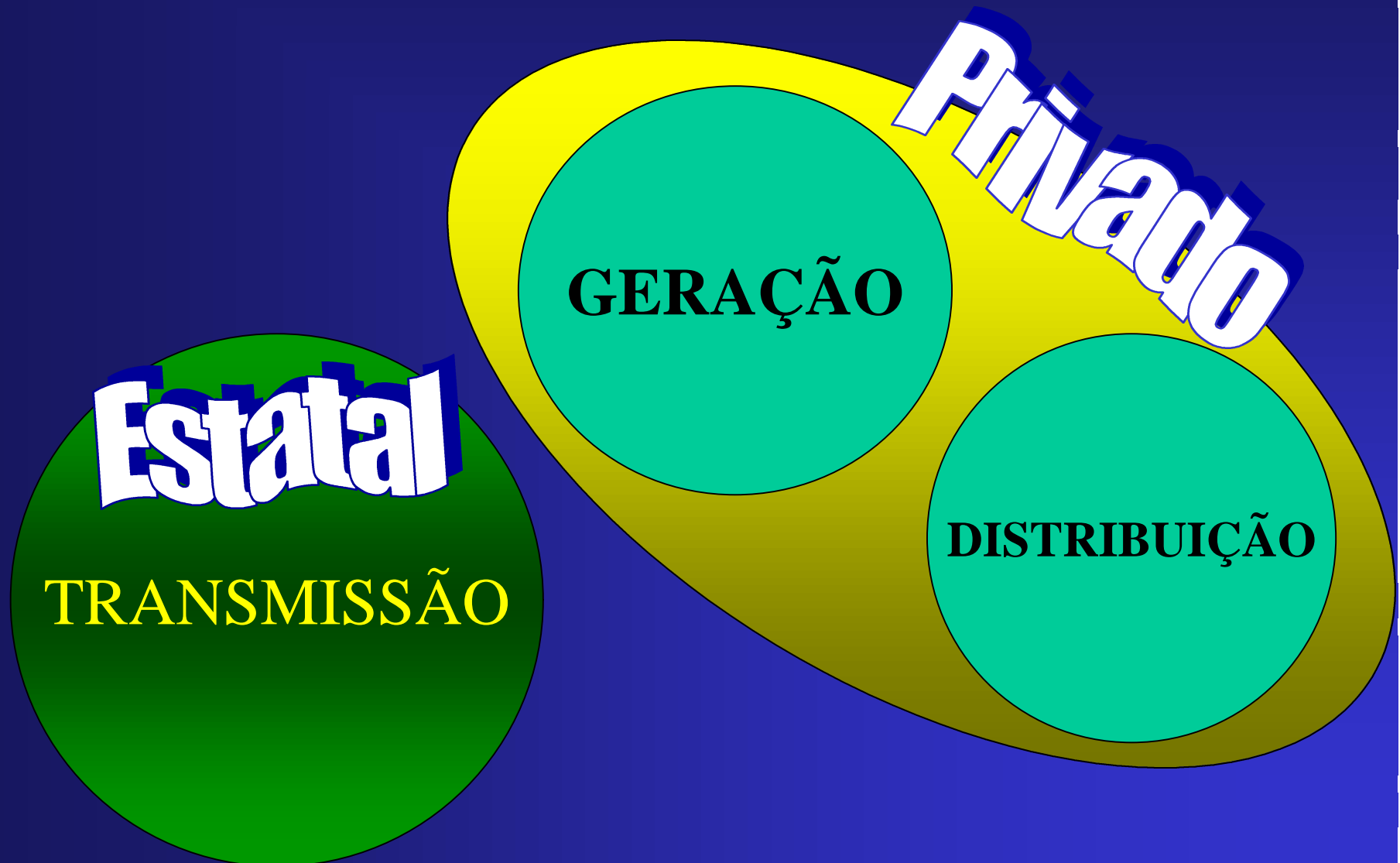
- Apresentar a nova estrutura do Setor Elétrico Brasileiro;
- Apresentar os Modelos de Opções Reais utilizados nesta Dissertação;
- Avaliar um projeto de construção de uma usina termoelétrica no Setor Elétrico Brasileiro;
- Calcular o valor da opção de se declarar flexível

Setor Elétrico Brasileiro

Reestruturação

- Objetivo: transferir para a iniciativa privada a tarefa de aumentar a capacidade de geração instalada no país;
- Oferta possa acompanhar a demanda crescente;

Reestruturação (Cont.)



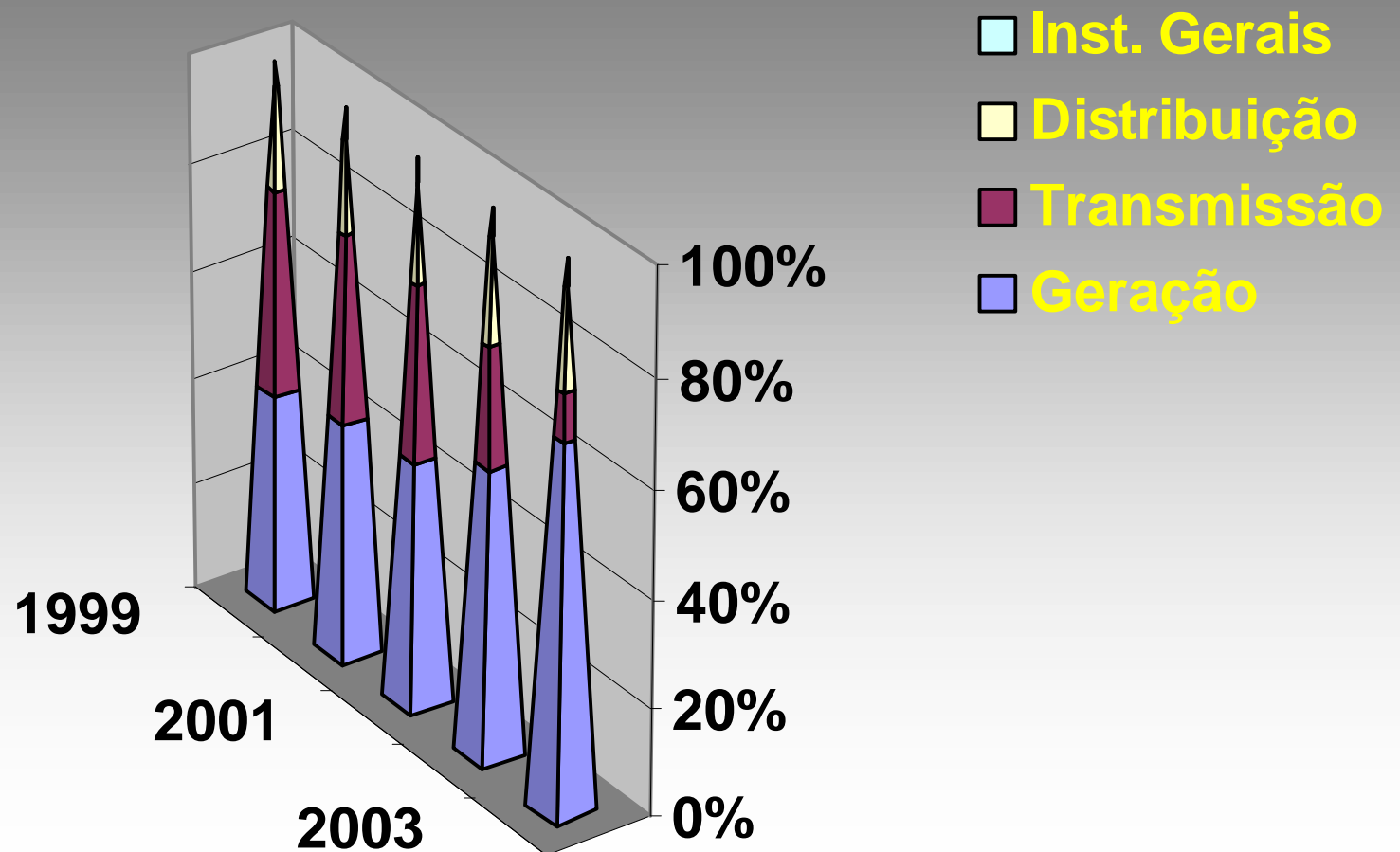
Característica

- Predominância hidráulica (~92%);
- Grandes reservatórios;
- Regulação plurianual;
- Estruturada em cascatas complexas sobre várias bacias hidrográficas.

Características (Cont.)

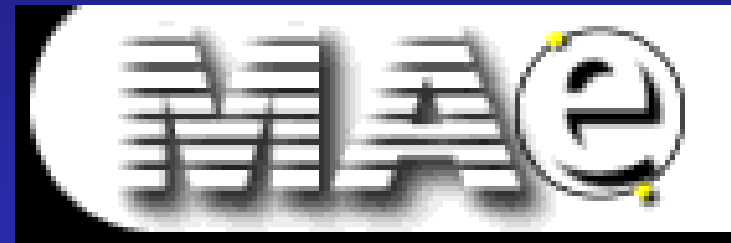
- Participação de energia termelétrica tende a crescer;
- Disponibilidade de Gás Natural;
- Avanços tecnológicos possibilitando implantação de usinas mais eficientes;
- Incrementar a capacidade instalada no curto prazo.

Previsão de Investimento SEB



Fonte: Plano Decenal 1999-2008

Novos Agentes



Operador Nacional do Sistema Elétrico

MAE

- Mercado Atacadista de Energia;
- Substitui o sistema de preços regulamentados de geração e contratos renováveis de suprimento;
- Introduz a competição nos segmentos de produção e comercialização de energia;
- Estabelecerá o preço à vista (*spot price*)

ONS

- Operador Nacional do Sistema;
- Promover a otimização e o despacho do sistema;
- Minimizar o custo do sistema;
- Livre acesso à rede de transmissão;
- Planejamento operacional da geração e transmissão;
- Cobrança da tarifa de uso da transmissão.

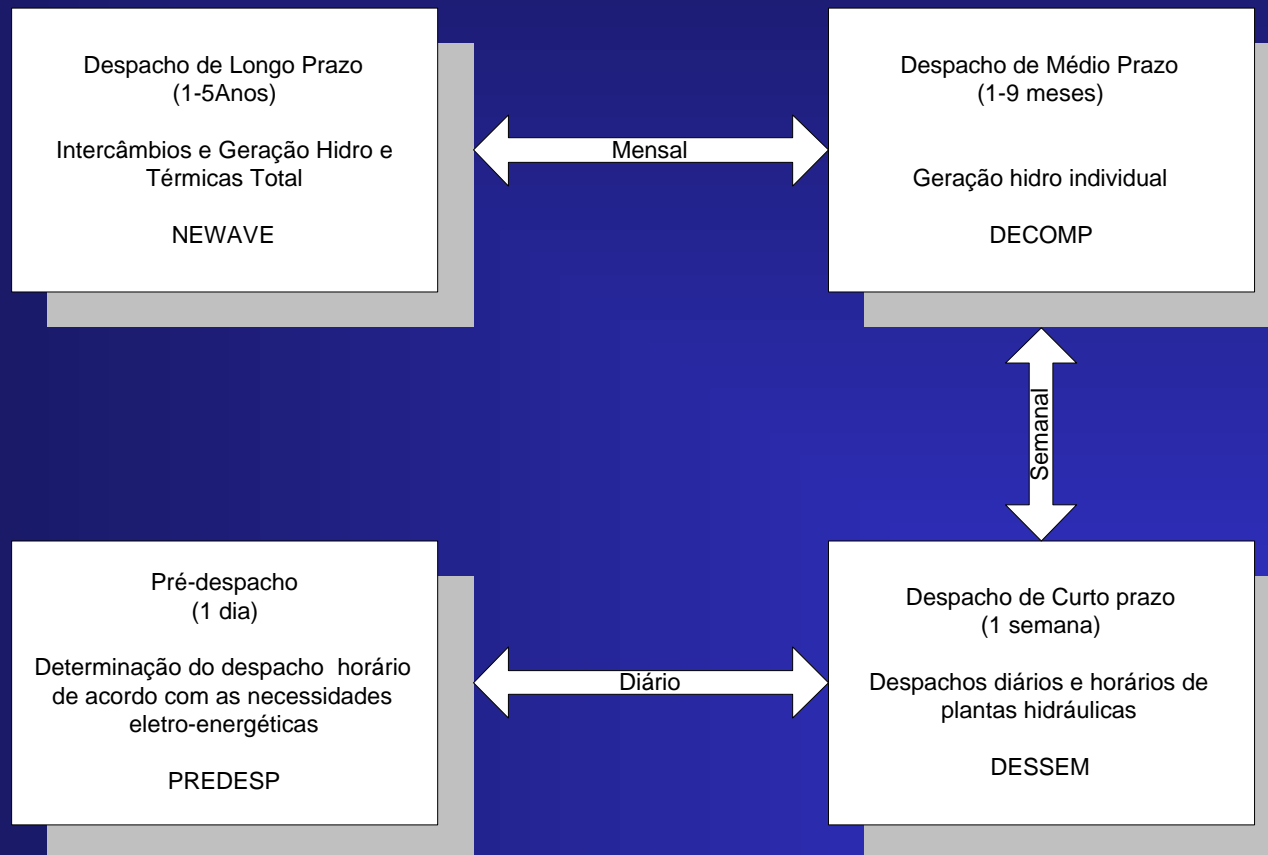
ANEEL

- Agência Nacional de Energia Elétrica;
- Missão: “*Proporcionar condições favoráveis para que o mercado de energia elétrica se desenvolva com equilíbrio entre os agentes e em benefício da sociedade*”;
- Regulamentação e Fiscalização do Setor Elétrico.

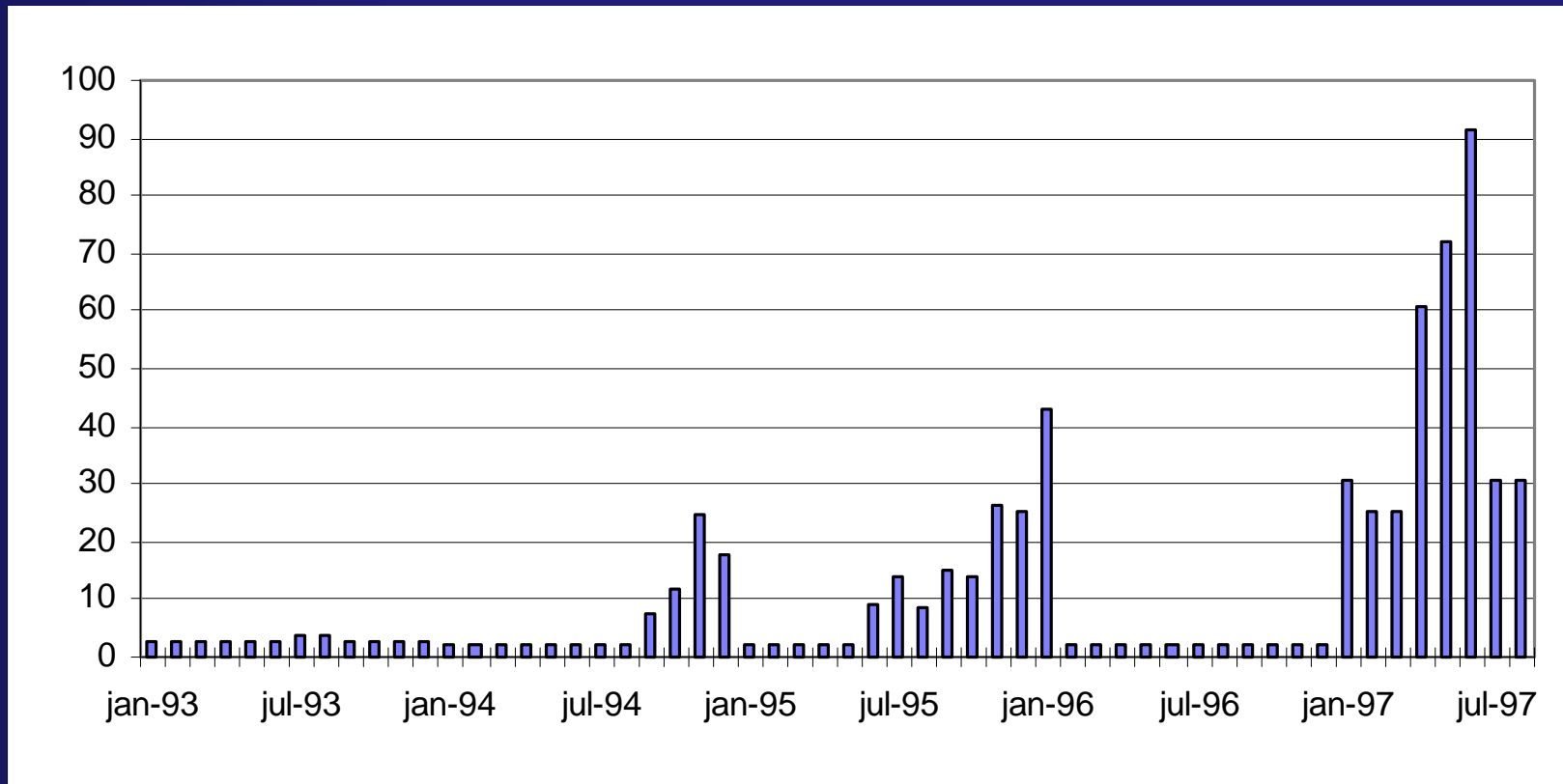
Preço *Spot* de Eletricidade

- Refletirá o Custo Marginal de Curto Prazo;
- Obtido por modelos de otimização;
- Existem quatro modelos que calculam o preço *spot* de acordo com o período de despacho;
- Estes sistemas levam em conta características como:
 - acoplamento temporal;
 - variáveis estocásticas.

Preço *Spot* de Eletricidade (Cont.)



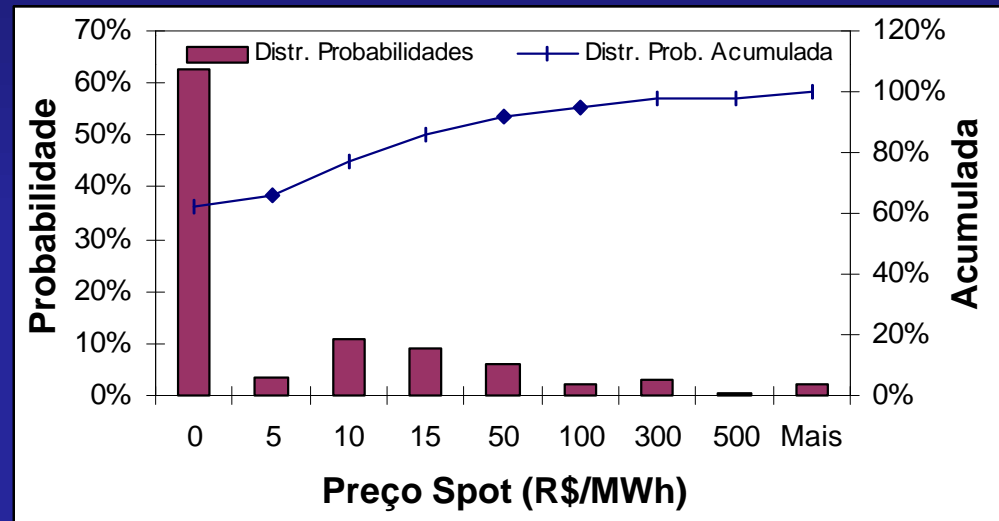
Preço *Spot* de Eletricidade (Cont.)



Histórico Mensal do CMCP do SEB

Preço *Spot* de Eletricidade (Cont.)

- Distribuição de Probabilidades dos preços futuros é fortemente assimétrica;
- Difícil de prever sua variação futura;



Gerenciamento de Riscos

- A introdução da competição expõe os participante do mercado a vários tipos de riscos:
 - riscos financeiros (taxa de câmbio, taxa de juros, Risco Brasil ...);
 - riscos hidrológicos (períodos de estiagem);
- Demanda crescente por mecanismos de proteção a esses riscos (*hedging*).

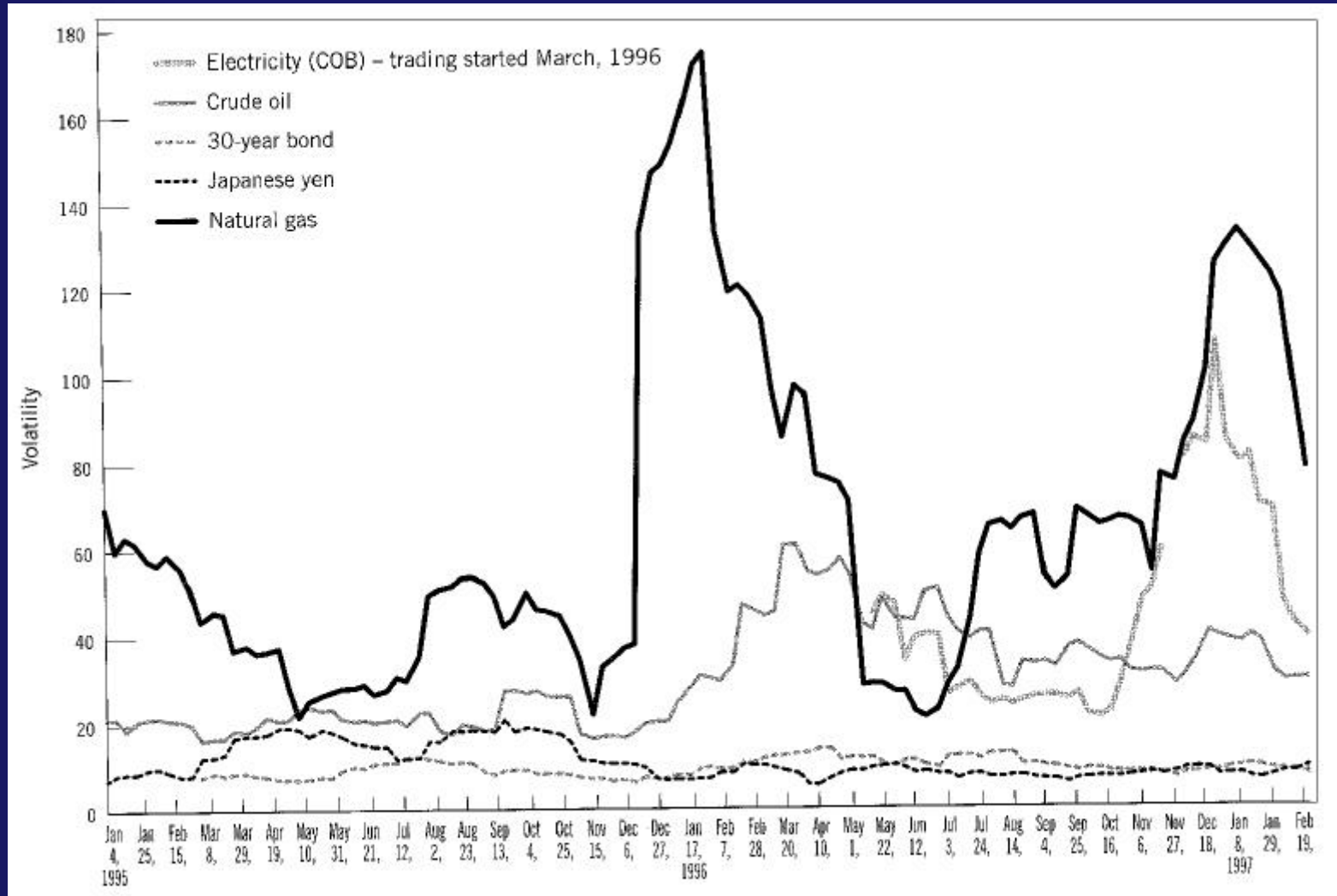
Gerenciamento de Riscos (Cont.)

- Instrumentos financeiros desempenham um papel importante em um Mercado Competitivo:
 - introduzem eficiência às negociações;
 - cultura do gerenciamento e compartilhamento dos riscos;
 - especulação diversifica o risco e gera liquidez;
 - formação de capital necessário para a expansão da capacidade.

Gerenciamento de Riscos (Cont.)

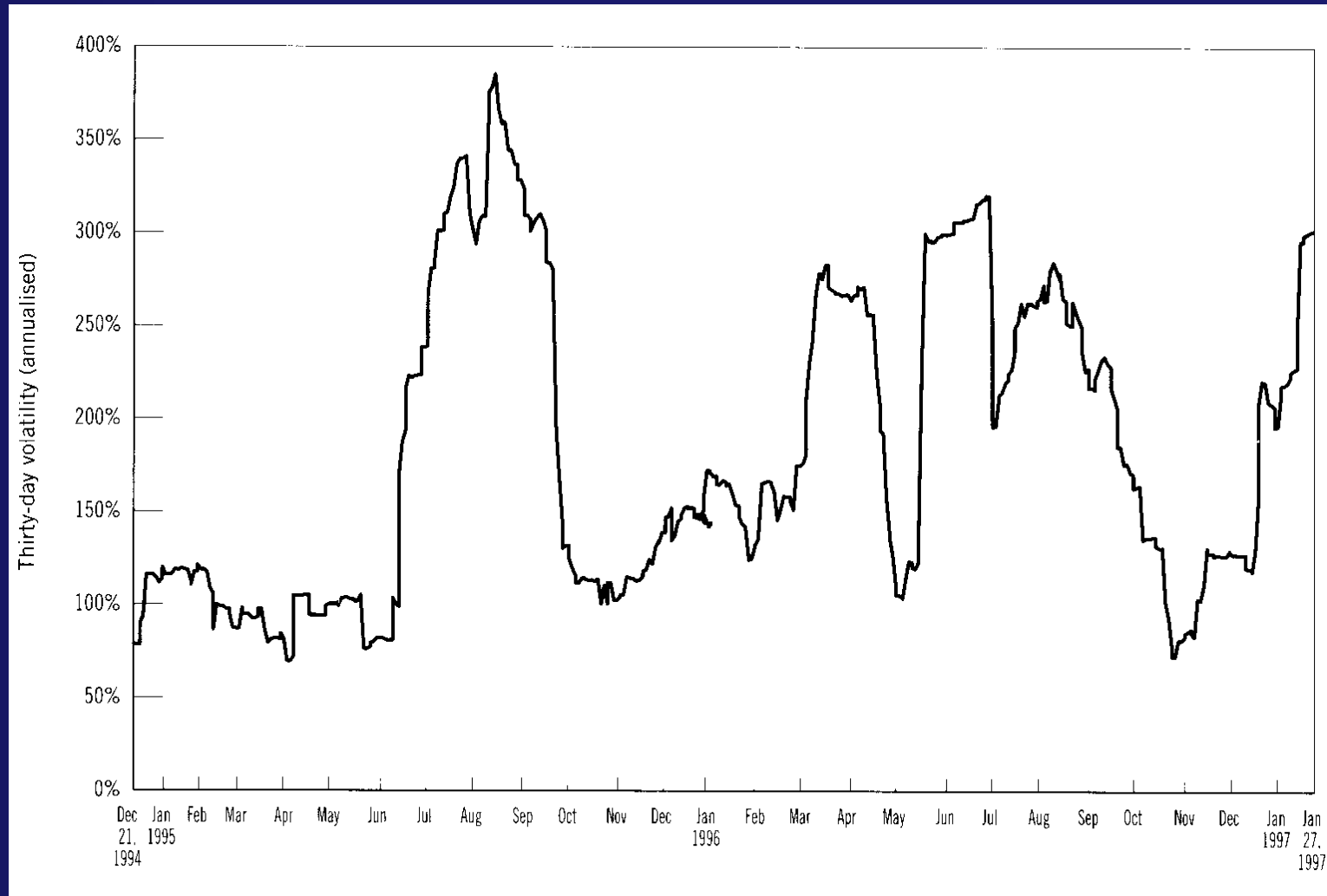
- Mercado *Spot* e Futuro são altamente voláteis;
- Mercado Norte Americano:
 - Futuro: ~100%;
 - *Spot*: ~300%;
- No caso brasileiro, a volatilidade pode atingir valores próximo ou acima de 1000%;

Gerenciamento de Riscos (Cont.)



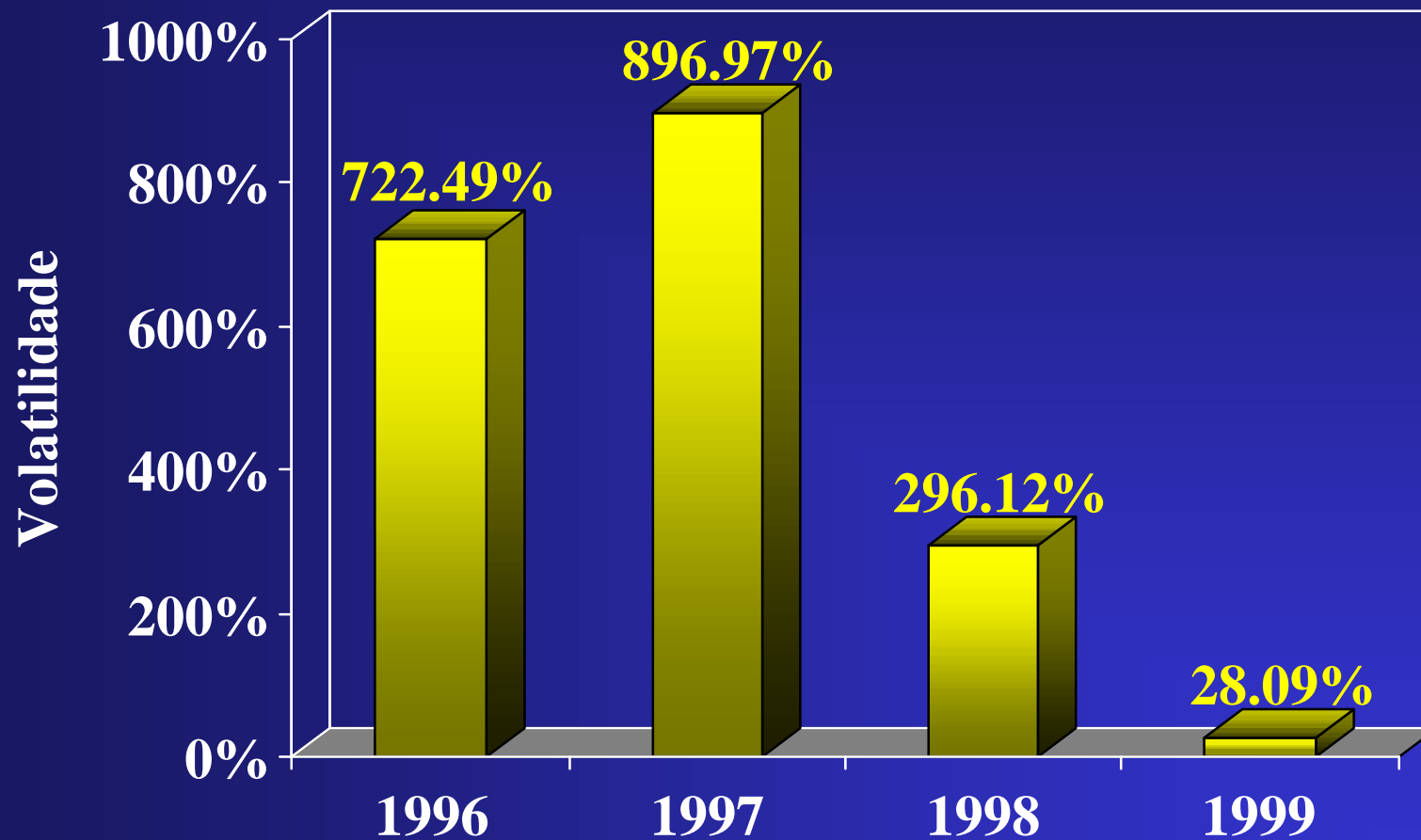
Fonte: US Power Market, Risk Publications

Gerenciamento de Riscos (Cont.)



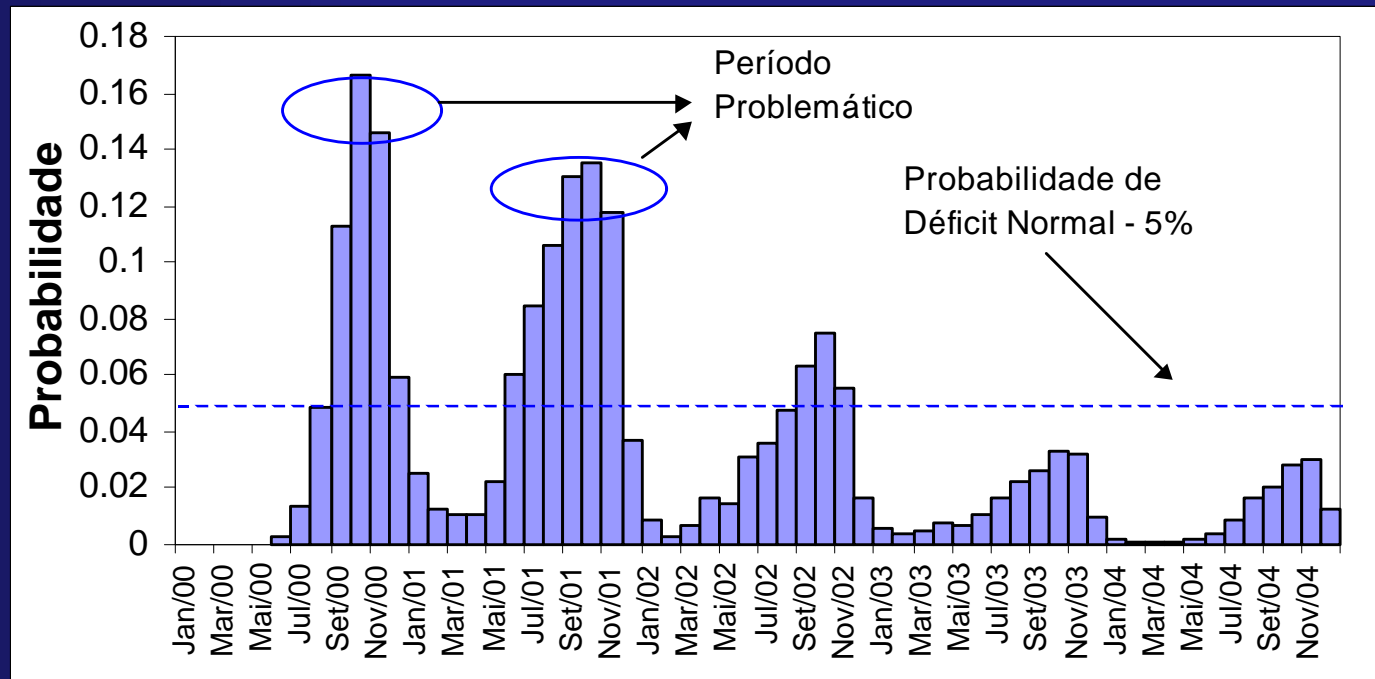
Fonte: US Power Market, Risk Publications

Gerenciamento de Risco (Cont.)



Volatilidade Anual relativa ao Histórico Mensal do CMCP no SEB

Gerenciamento de Risco (Cont.)



Probabilidade de Déficit do SEB, para o caso analisado

Gerenciamento de Riscos (Cont.)

- Ferramentas de *Hedging*:
 - Contratos por Diferença;
 - Contratos Derivativos
 - Contratos A Termo ou Futuro;
 - Contratos de Opções;
 - Contratos de Swaps;
 - Contratos Bilaterais de Compra e Venda de Energia;
- *Hedging* para Risco Hidrológicos:
 - MRE - Mecanismo de Realocação de Energia.

Gás Natural

- Principal componente do custo de uma termelétrica;
- A flexibilidade da operação da termelétrica depende da flexibilidade dos contratos de compra de gás natural;
- Estuda-se a possibilidade de flexibilizar contratos de compra de gás em até 30% do volume total;
- Preço do gás será mantido em média a US\$2,26/MMBTU, para contratos de 20 anos;

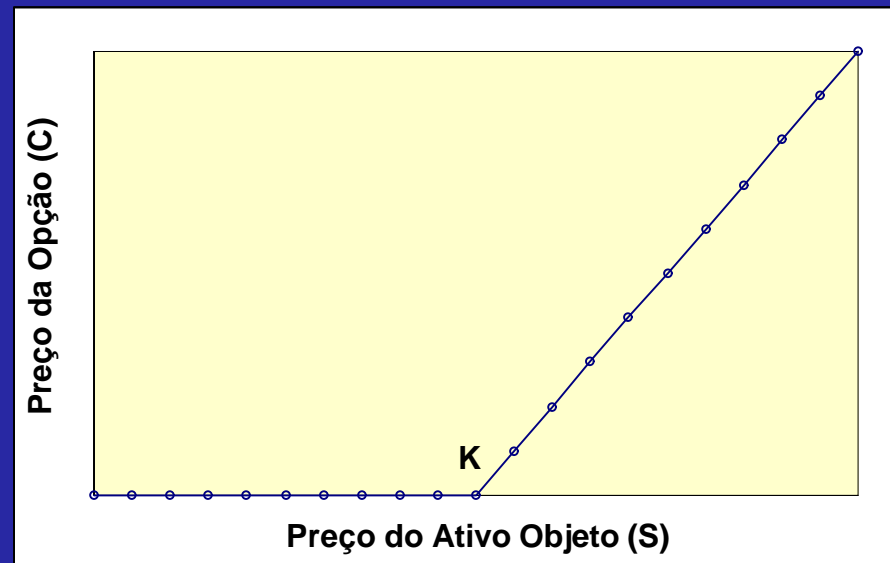


Teoria das
Opções Reais

Opções

- Opção de Compra (*Call*) - é um direito e não uma obrigação de comprar um ativo (S) por um preço de exercício (K), em uma data;
- Remuneração da *Call*:

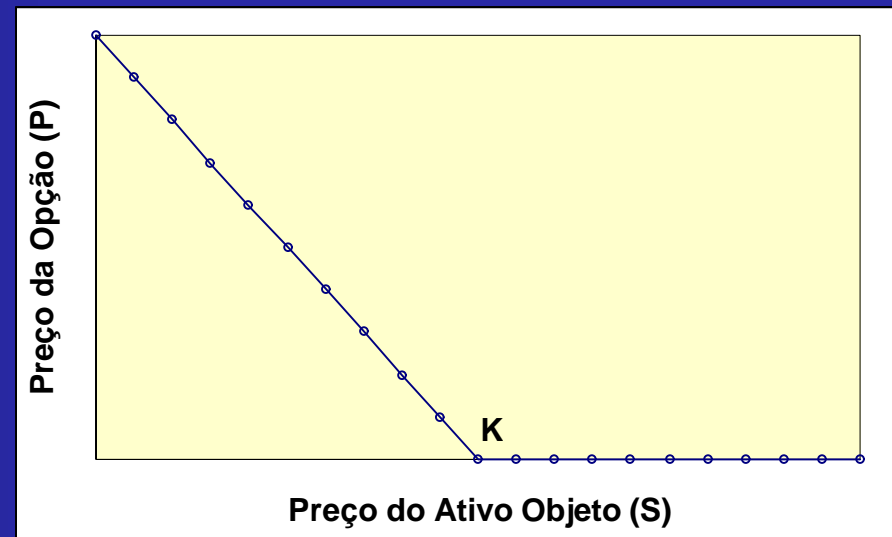
$$C_T = \max(S_T - K, 0)$$



Opções (Cont.)

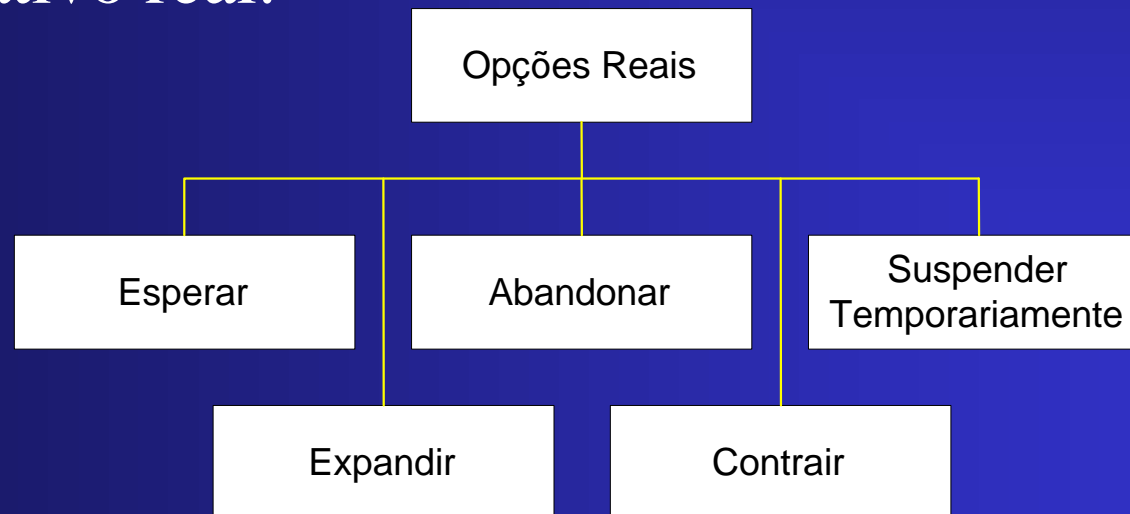
- Opção de Venda (*Put*): dá ao seu detentor o direito e não a obrigação de vender um ativo (*S*) por um preço de exercício (*K*), em uma data;
- Remuneração da *Put*:

$$P_T = \max(K - S_T, 0)$$



Opções Reais

- Teoria das Opções usada como ferramenta para avaliação de investimentos;
- As oportunidades de investimento de capital são consideradas como um conjunto de opções sobre um ativo real:



Condições Básicas

- Requisitos básicos:
 - Irreversibilidade;
 - Timing;
 - Incerteza;
- A incerteza nos fluxos de caixa futuro do projeto introduzem oportunidades que devem ser avaliadas;

Decisão de Investir - VPL

- Técnicas tradicionais como VPL não enxergam esses custos de oportunidades;
- Regra Geral do VPL:

VP > I	VP < I
INVESTIR	NÃO INVESTIR

- VP é o Valor Presente dos Fluxos de Caixa Futuro e I é o Custo do Investimento.

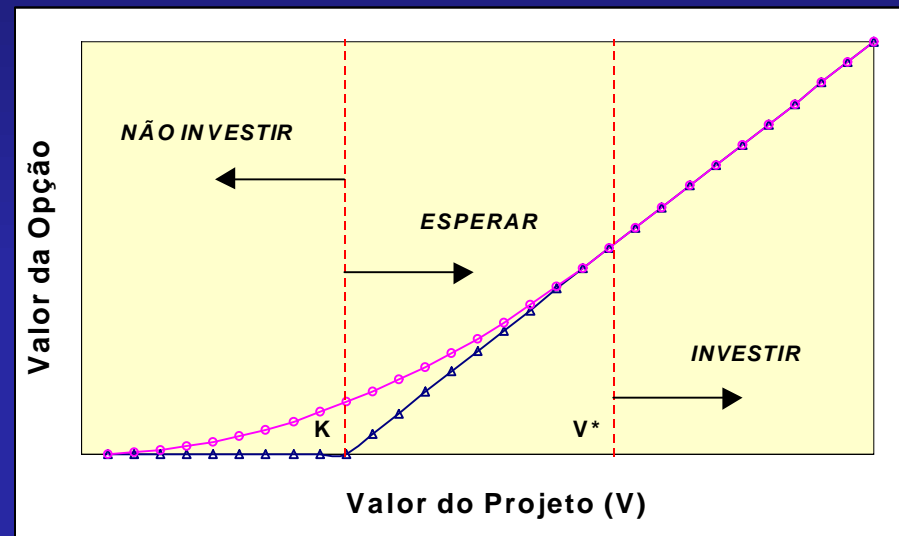
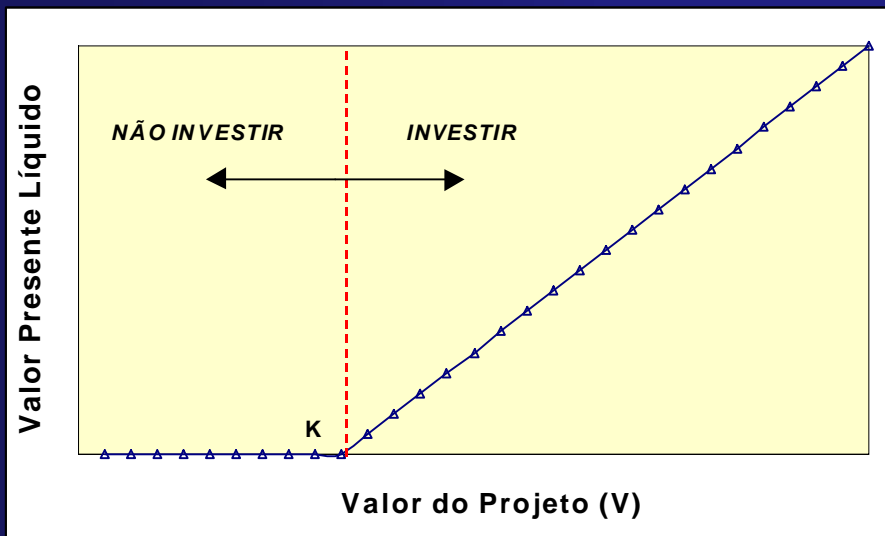
Decisão de Investir - TOR

- A TOR enxerga esses custos de oportunidade e avaliá-los;
- Regra Geral da Teoria das Opções Reais:

$VP > V^*$	$VP < V^*$
INVESTIR	ESPERAR

- V^* é um valor crítico, maior do que I ;
- Muitas vezes é duas o três vezes maior.

Decisão de Investir - TOR x VPL



Decisão de Operar

- Uma unidade de produção somente irá operar quando o preço da unidade produzida for maior do que o seu custo de produção;
- Análogo a uma opção de compra, onde o ativo objeto é a unidade produzida e o preço de exercício é o custo de operação;

Decisão de Operar (Cont.)




Decisão de Operar (Cont.)

- O valor do direito de operar o ativo sobre sua vida útil restante deve ser avaliado segunda a equação a seguir:

$$V = \int_0^T C(t) dt$$

- Onde $C(t)$ é o valor de uma opção Européia de compra, num período t .
- Se não existe opção de espera, então a decisão de investir é dado pelo VPL.



Avaliação de um Projeto
de Geração Termelétrica

Proposição

- Avaliar uma termelétrica com as seguintes características:

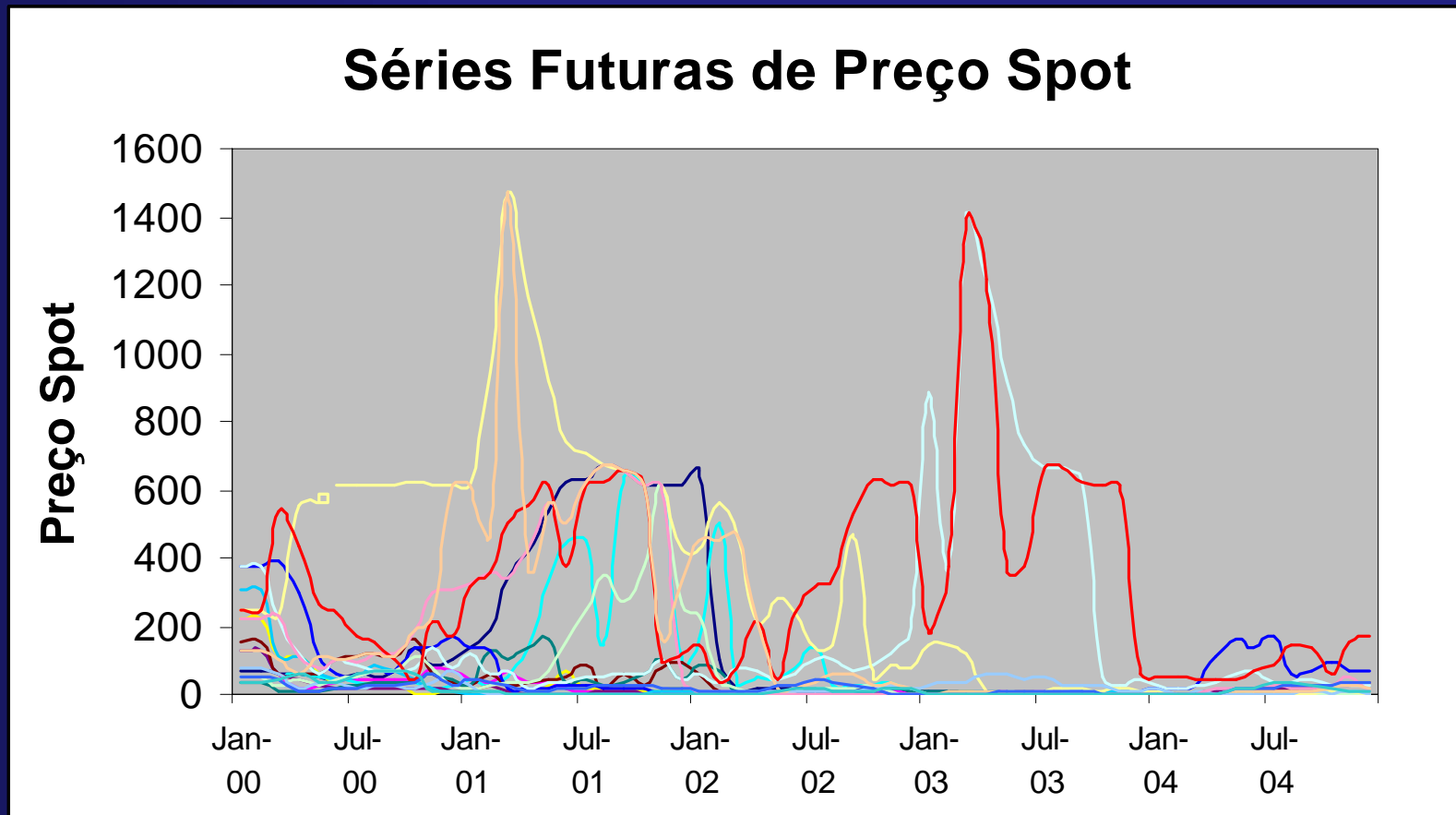
Subsistema	Sudeste
Potência	240MW%
Custo de Investimento	MMR\$300,00
Custo de Operação	R\$37,50
Combustível	Gás Natural
Vida Útil	20 Anos

Preço Spot

- A principal incerteza do problema;
- Características:
 - 2000 Séries Futuras Mensais;
 - Gerada 5 anos a frente;
 - O último ano é repetido até que a vida útil seja atingida;
 - Cada série representa um cenário hidrológico diferente.

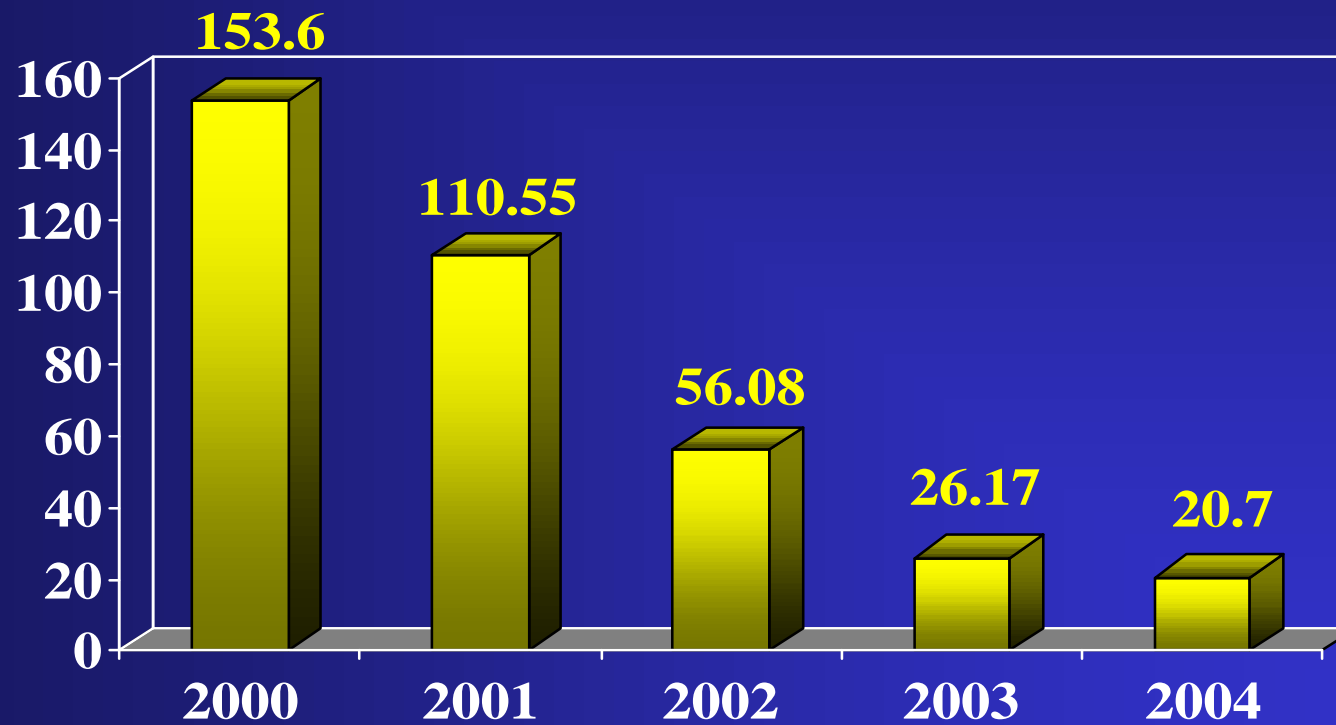
Preço Spot (Cont.)

- Amostra com 20 séries futuras dos preços spot



Preço Spot (Cont.)

Media Anual Preço Spot



Demais Variáveis

- Custo de Operação, Preço de Contratação, Custo de Investimento, Nível de Contratação e Taxa de Desconto:
 - constante ao longo da vida útil;
- Serão feitas sensibilidades em relação a estas variáveis;

Processo de Avaliação

- Remuneração de uma Termelétrica Flexível:

$$\pi_t = (P_c - P_{spot}) \times G_c + \underbrace{\max(P_{spot} - CO, 0)}_{\substack{\text{Parte Flexível} \\ \text{Despachada pelo ONS} \\ \text{Similar a uma Opção de Compra}}} \times G_t$$

- Será despachada pelo ONS quando
 - $P_{spot} > CO$ - (MERCADO SPOT + CONTRATOS)
- Não será despachada, quando:
 - $P_{spot} < CO$ - (CONTRATOS)

Processo de Avaliação (Cont.)

- O valor do projeto com flexibilidade operacional:

$$V_t = \pi_t + \frac{1}{1 + \rho} E(V_{t+1})$$

Equação de Bellman

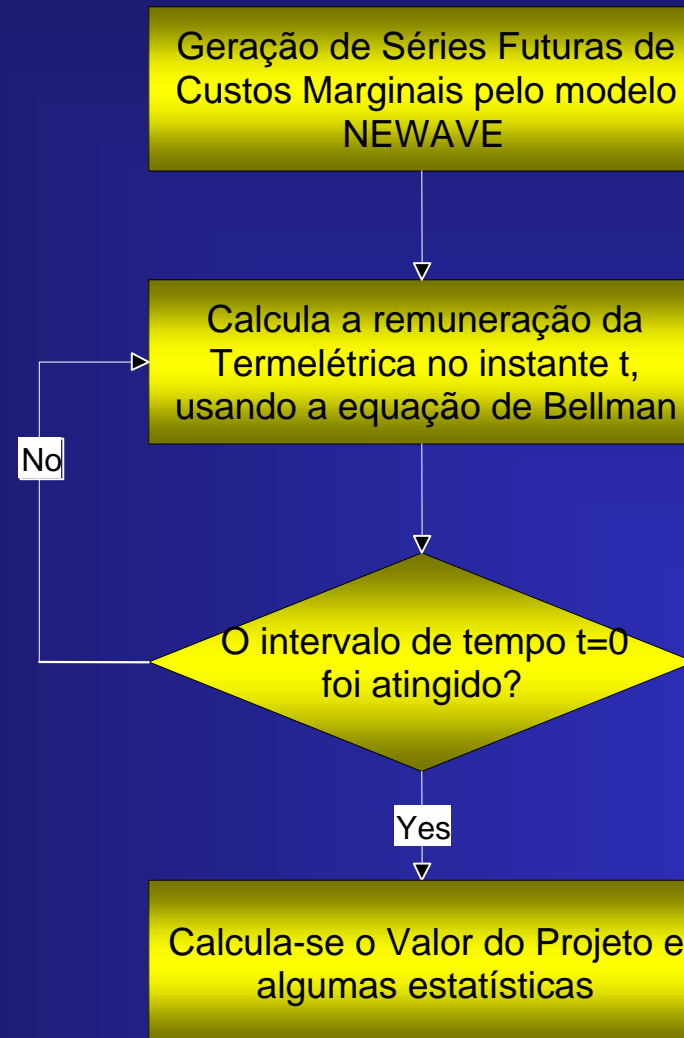
Onde ρ é uma taxa de desconto, exógena ao problema.

- Aplica-se a condição de contorno

$$V_T = \pi_T$$

- Valor do Projeto: V_0

Algoritmo



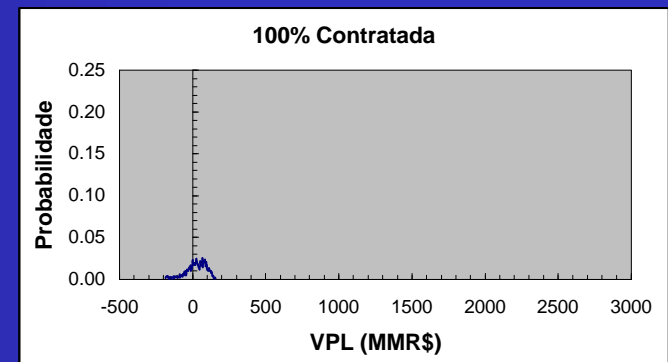
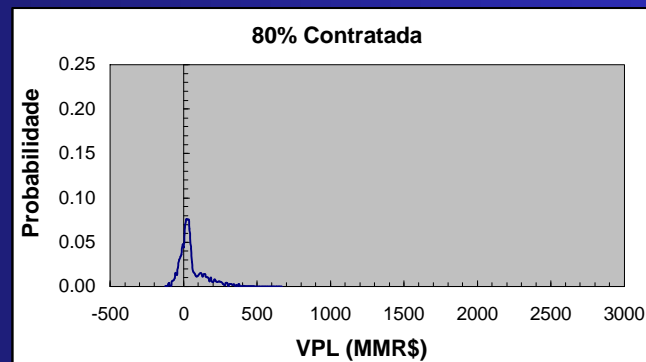
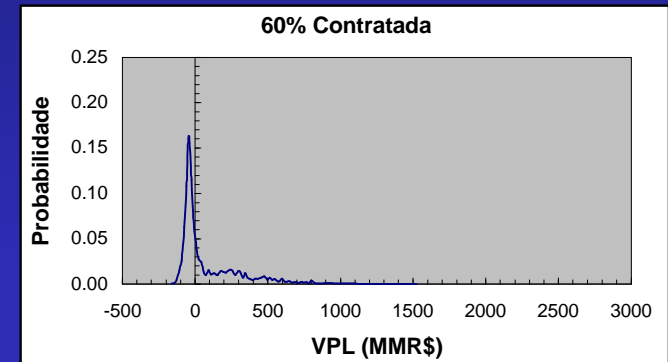
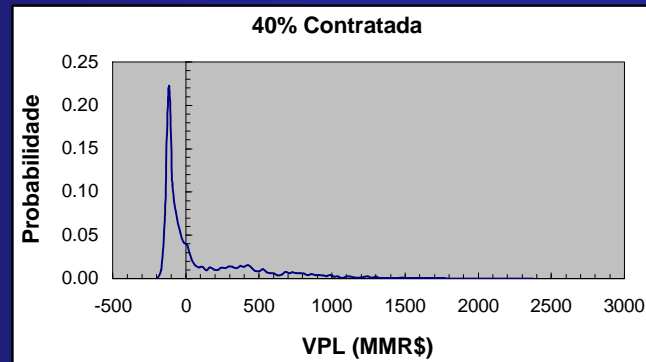
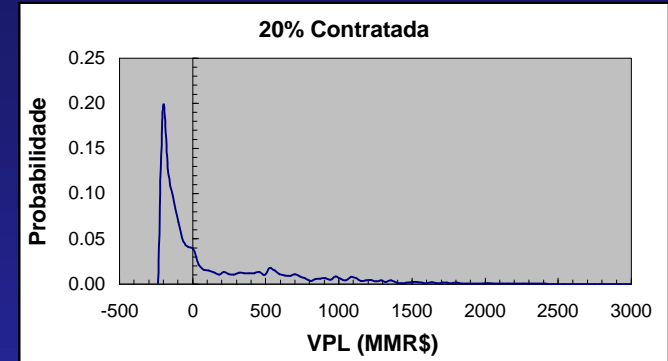
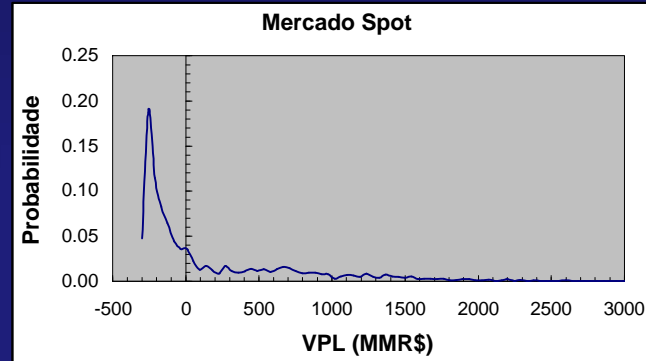
Caso Base

- O $E[VPL]$, $SD[VPL]$ e Risco do Projeto serão calculados em relação ao caso base:

Parâmetros	Valores
Potência Instalada	240 MW
Custo de Investimento	R\$ 300 Milhões
Custo de Operação	R\$ 37,50/MWh
Preço do Contrato de Venda	R\$ 50,00/MWh
Taxa de Desconto	25% a.a.
Vida Útil da Usina	20 anos

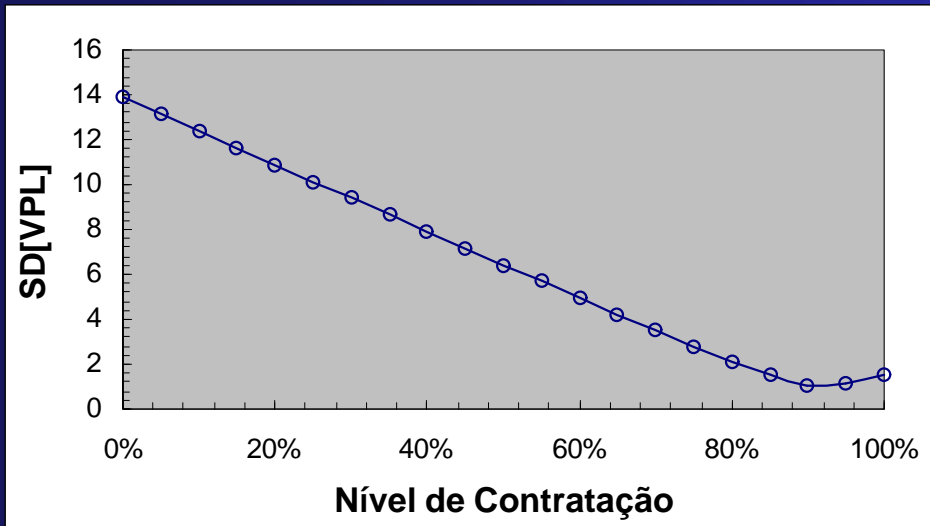
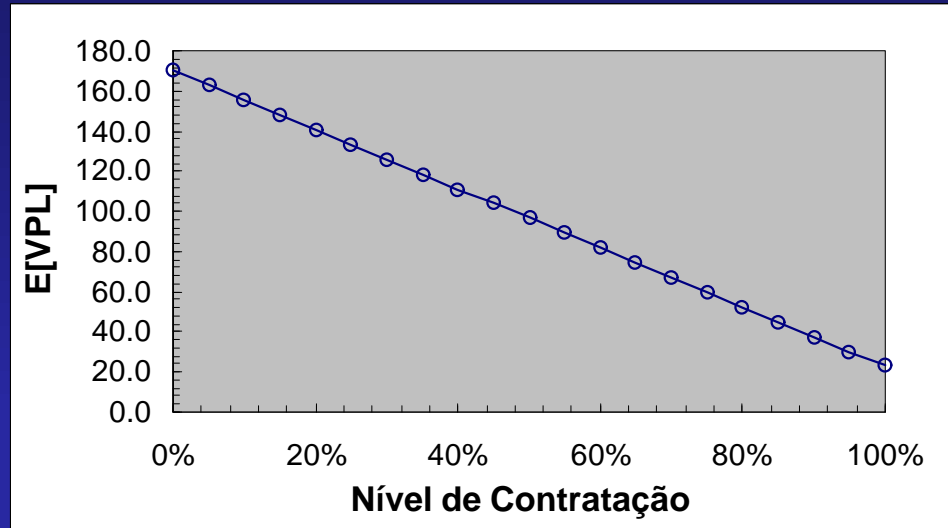
Resultados

Distribuição de Probabilidades do VPL, para cada Nível de Remuneração



Resultados (Cont.)

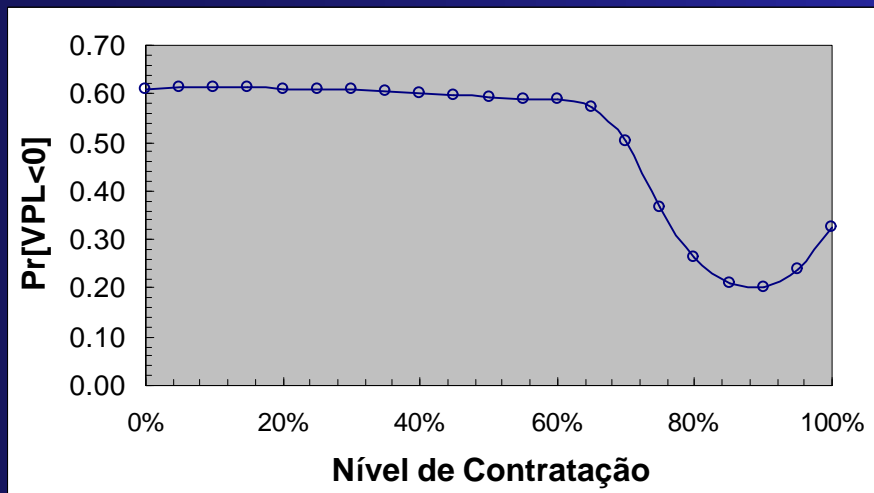
E[VPL] x Nível de Contratação



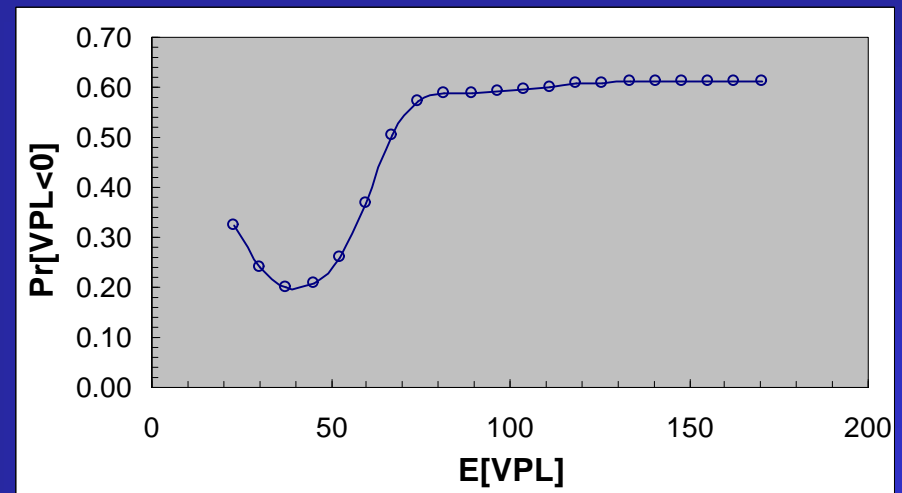
SD[VPL] x Nível de Contratação

Resultados (Cont.)

- Risco: Probabilidade do VPL ser negativo;
- (a) Risco x Nível de Contratação
- (b) Risco x $E[VPL]$



(a)



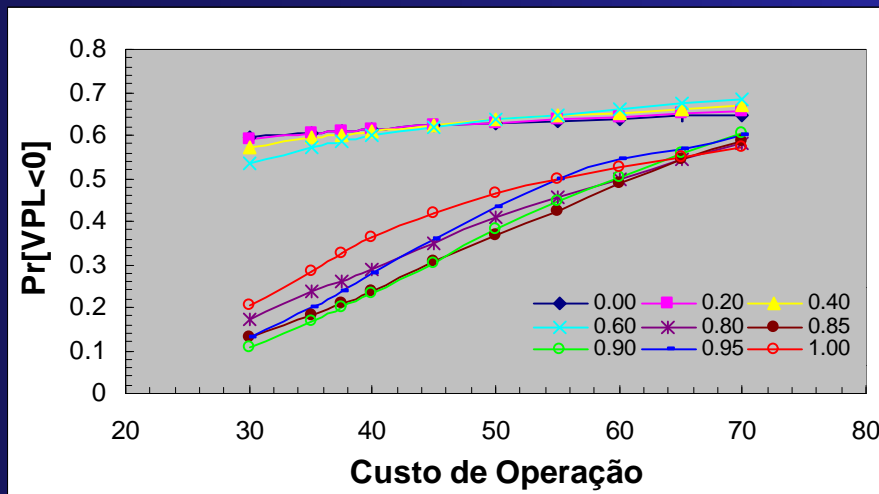
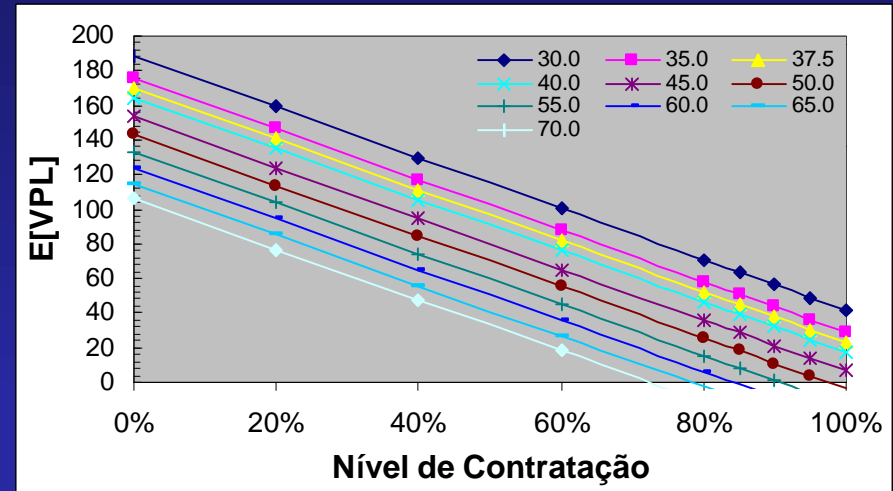
(b)



Sensibilidades

Sobre o Custo de Operação

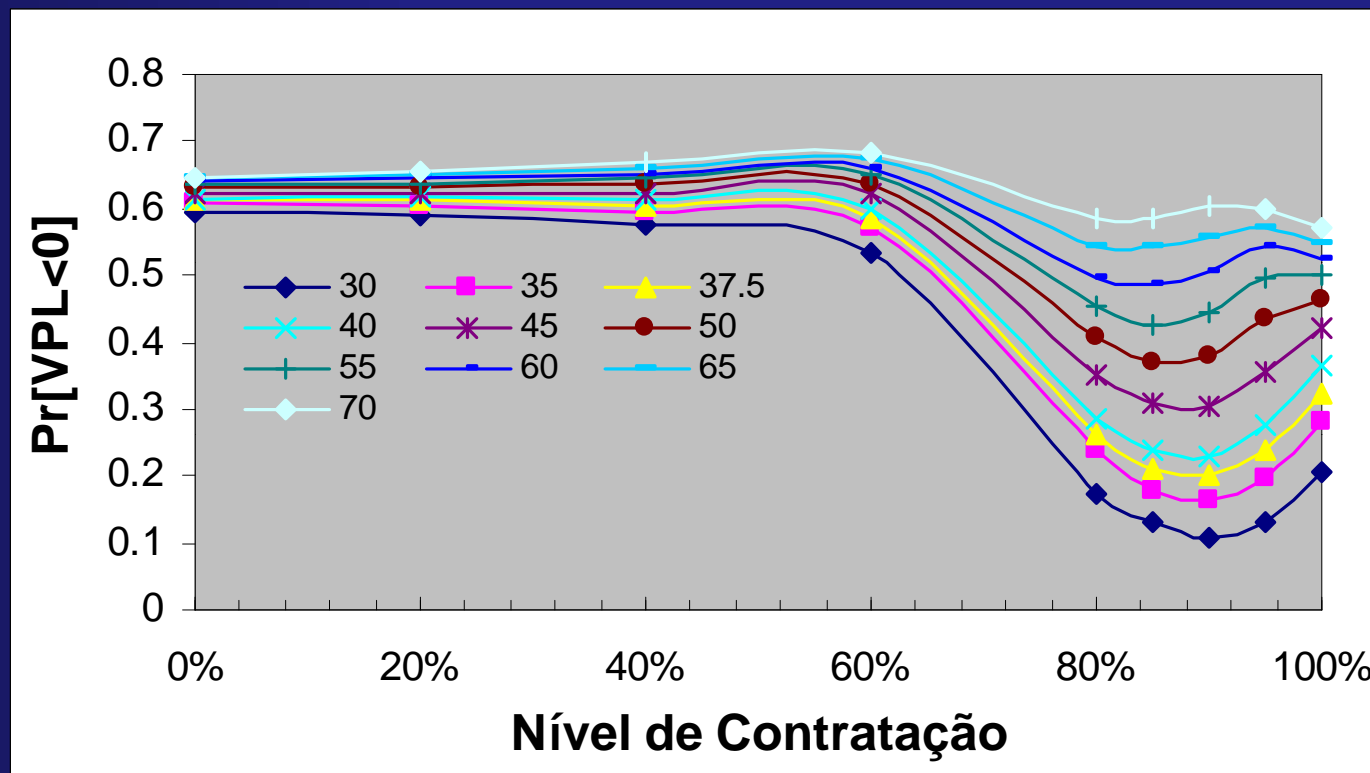
$E[VPL]$ x Custo de Operação



Risco x Custo de Operação

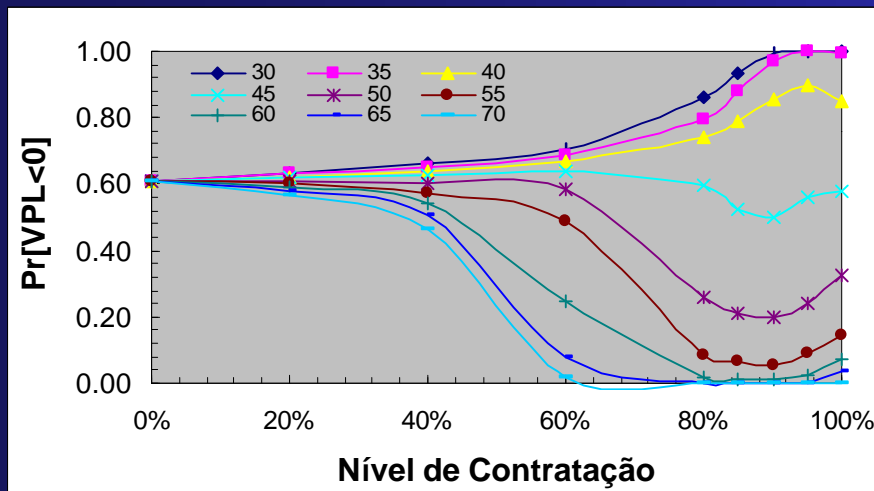
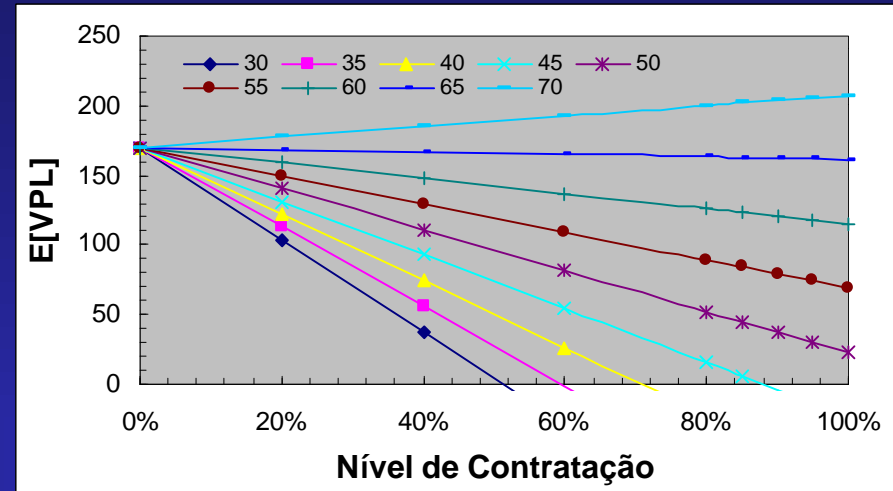
Sobre o Custo de Operação (Cont.)

- Risco x Nível de Contratação



Sobre Preço de Contratação

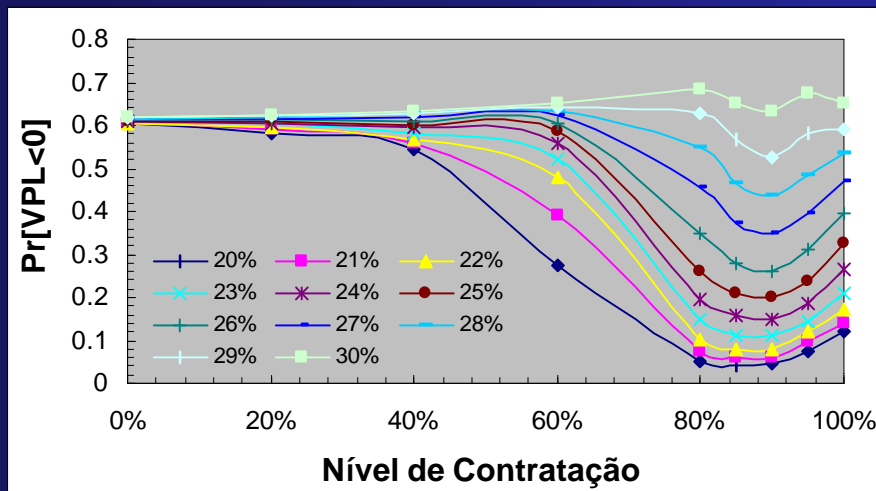
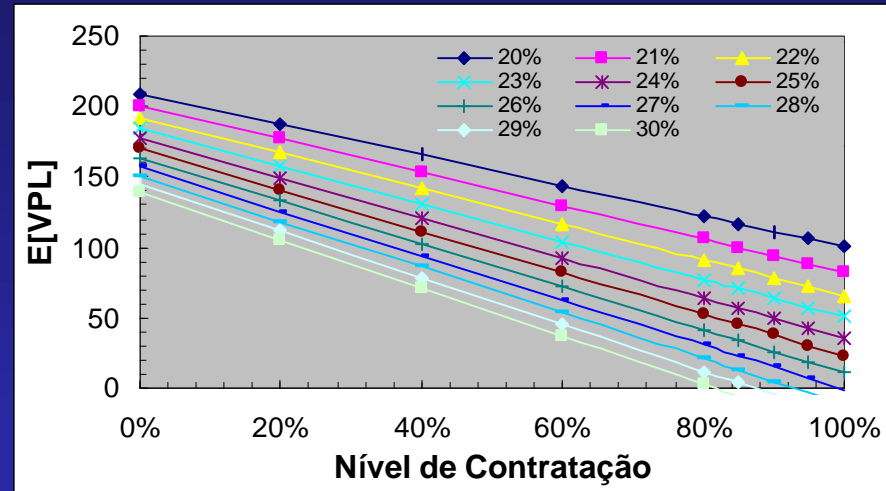
**E[VPL] x Nível de Contratação,
parametrizado pelo
Preço de Contratação**



**Risco x Nível de Contratação,
parametrizado pelo
Preço de Contratação**

Sobre a Taxa de Desconto

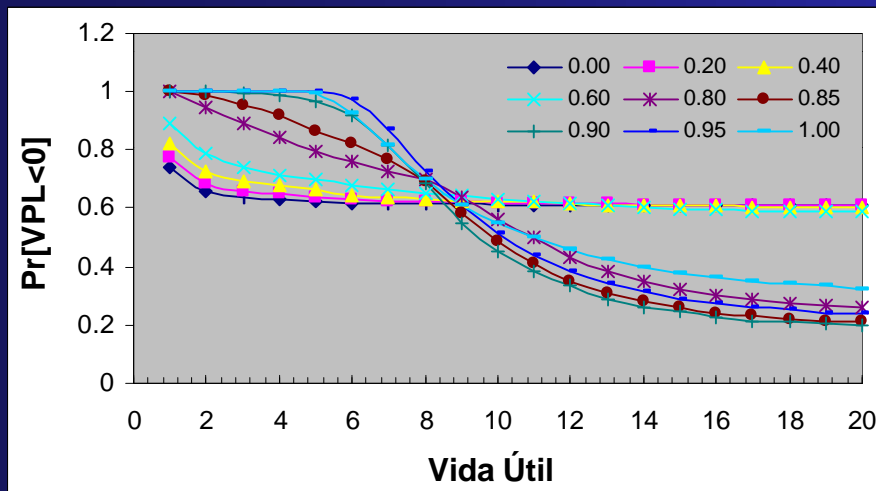
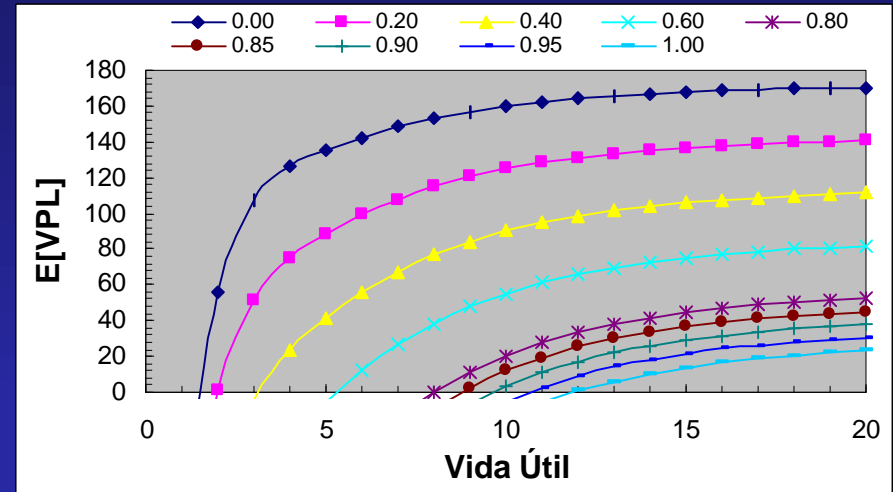
E[VPL] x Nível de Contratação, parametrizado pela Taxa de Desconto



Risco x Nível de Contratação, parametrizado pela Taxa de Desconto

Sobre a Vida Útil do Projeto

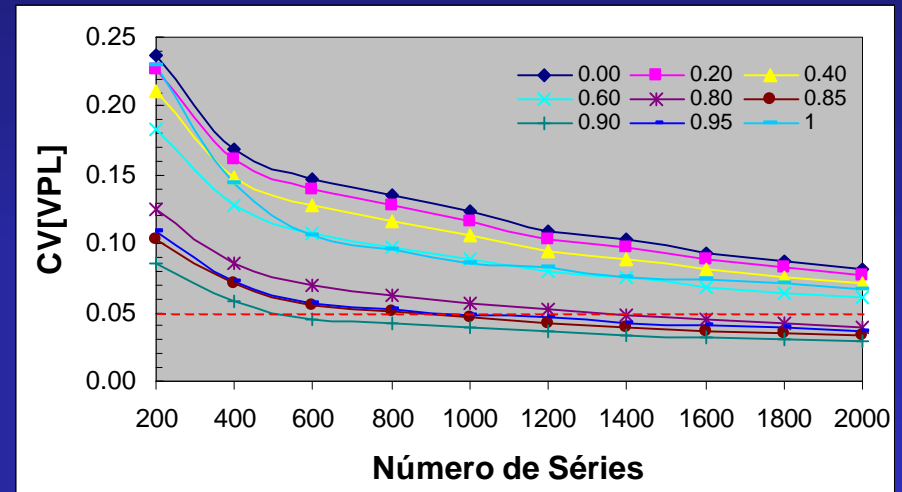
$E[VPL]$ x Vida Útil do Projeto



Risco x Vida Útil do Projeto

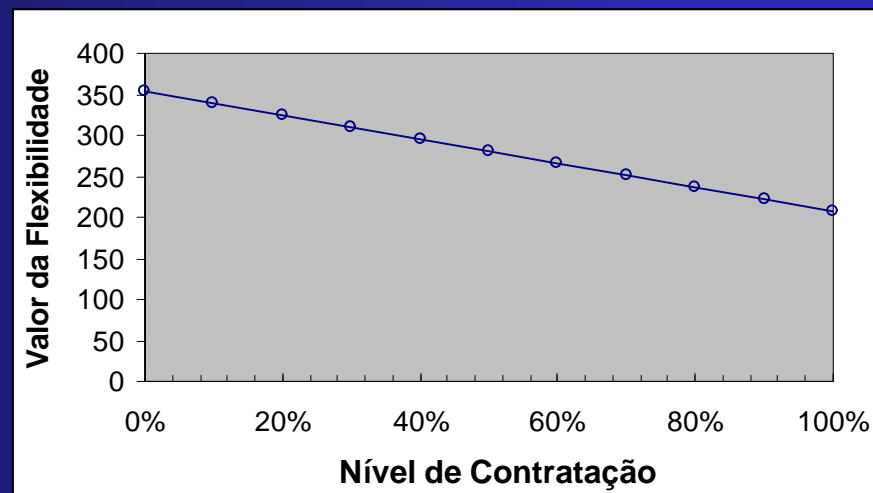
Sobre o Número de Séries

- Convergência das Estimativas;
- $\text{Beta} < 5\%$ - Boa Estimativa;
- $\text{Beta} > 5\%$ - Estimativa Ruim (Aumentar o tamanho da Amostra)



Valor da Flexibilidade

- Calcula o VPL:
 - com Flexibilidade Operacional (V_0);
 - sem a Flexibilidade (V_I);
- O Valor da Flexibilidade Operacional é dado por:
 - $V_0 - V_I$



Conclusão

- ✓ A contratação é uma forma eficaz de reduzir a exposição à volatilidade do mercado spot de eletricidade;
- ✓ A probabilidade de se ter o VPL menor do que zero é uma medida do risco do projeto, quando a distribuição de probabilidades do VPL é assimétrica;
- ✓ No caso base, se um investidor é suposto avesso ao risco, o nível de contratação de 95% conduz à menor exposição à volatilidade do mercado spot;
- ✓ O custo de operação têm impacto sobre a remuneração do investimento;
- ✓ Sobre o risco do projeto, o custo de operação impacta os maiores níveis de contratação (80 a 100%);

Conclusão (Cont.)

- ✓ O preço de contratação influencia fortemente a remuneração e o risco do projeto de investimento;
- ✓ A taxa de desconto influencia o valor da remuneração, mas possui pouca influencia sobre o risco do projeto, quando o nível de contratação está entre 0 e 40%.
- ✓ A remuneração e o Risco do Projeto, no caso analisado, são altamente sensíveis aos cinco primeiros anos de vida do projeto, principalmente em baixos níveis de contratação;

Conclusão (Cont.)

- ✓ As estimativas do VPL são convergentes. A medida que aumenta-se o tamanho da amostra, aumenta-se a precisão das estimativas;
- ✓ Beta é uma medida da precisão das estimativas. Valores de beta abaixo de 5% são considerados boas estimativas e acima, ruins. Com 2000 séries de preços spot, as estimativas para níveis de contratação acima de 80% são consideradas precisas, abaixo de 80%, não;
- ✓ Quanto maior o nível de contratação menor será o valor da opção de se declarar flexível, pois maiores níveis de contratação significam menores exposições às incertezas do mercado de curto prazo.

Trabalhos Futuros

- ✓ propor um **processo estocástico para o preço da eletricidade no mercado *spot***. Isso poderia conduzir a modelos mais consistentes, possibilitando outros tipos de sensibilidades com as variáveis do problema;
- ✓ considerar **outras fontes de incerteza**: neste trabalho o preço da eletricidade no mercado *spot* foi a única fonte de incerteza utilizada. O custo de operação e o preço de contratação são duas variáveis que poderão ser consideradas estocásticas;
- ✓ relaxar algumas **restrições sobre a operação da usina termelétrica**. Quando os preços estão desfavoráveis, as usinas não conseguem prontamente suspender a operação sem que custos adicionais sejam incorridos. Do mesmo modo, a operação não pode ser restabelecida instantaneamente, sem custo adicionais;

Trabalhos Futuros (Cont.)

- ✓ introduzir um **modelo de avaliação** que leva em consideração as **preferências do investidor** frente aos **riscos do mercado**. Isto pode ser feito introduzindo uma **função de utilidade**;
- ✓ utilizar **modelos de avaliação de opções em mercados incompletos**. Dentre as diversas metodologias de avaliação de opções em mercados incompletos, deve-se utilizar aquela que melhor se adapte a modelos de avaliação de investimentos com opções reais;
- ✓ desenvolver um modelo que leve em conta a **competição no mercado de contratos bilaterais**. Além das incertezas inerentes ao processo de avaliação, deve-se levar em conta as interações competitivas entre os outros geradores participantes do mercado;

Trabalhos Futuros (Cont.)

- ✓ utilizar **modelos de opções reais mais realísticos** do que aquele apresentado neste trabalho. Normalmente o investimento em projeto não é comissionado uma única vez e sim dividido em vários estágios;
- ✓ utilizar outros **arranjos de mitigação dos riscos**. Utilizar contratos futuros, contratos de opções e outros tipos de derivativos para se proteger da volatilidade do mercado *spot* de eletricidade.

1

Avaliação de Investimento de Capital em Projetos de Geração Termoelétrica no Setor Elétrico Brasileiro Usando Teoria das Opções Reais

Alessandro de Lima Castro

Orientadores:

José Paulo Teixeira

Albert Cordeiro Geber de Melo