

ÉRICO MENDONÇA DE MELLO

**ANÁLISE DA DECISÃO NA COMERCIALIZAÇÃO
DE ENERGIA ELÉTRICA**

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do Diploma
de Engenheiro de Produção

São Paulo
2005

ÉRICO MENDONÇA DE MELLO

**ANÁLISE DA DECISÃO NA COMERCIALIZAÇÃO
DE ENERGIA ELÉTRICA**

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do Diploma
de Engenheiro de Produção

Orientador
Prof. Doutor Álvaro Euzébio
Hernandez

São Paulo
2005

À Ana, minha querida esposa

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Álvaro Euzébio Hernandez, pela confiança em mim depositada, e pela orientação e atenção a mim dedicada.

Ao meu pai (Marcos Gomes de Melo), pelo exemplo de caráter, determinação e amor, que me fizeram buscar sempre dar o melhor de mim;

À minha mãe (Rosaline Mendonça de Melo), pela compreensão, atenção e carinho a mim dispensado, ainda que em momentos difíceis;

Aos meus irmãos (Marcos e Mariana Mendonça de Mello), pelo companheirismo na vida em São Paulo, e pela força que sempre me deram;

A minha esposa (Ana Paula Passarelli de Mello) , pela compreensão nas noites em que ficava ao computador, e por nunca ter me deixado desistir;

Aos membros da família Passarelli, que também de alguns anos para cá passaram à minha convivência

Aos amigos da Enertrade, em especial ao Rodrigo Violaro, pela compreensão e companheirismo;

Aos amigos do Clube do Rato, pela cobrança insistente e pela amizade sincera

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo modelar o problema de análise da decisão na comercialização de energia, tendo em vista as incertezas sobre os preços futuros, e as particularidades do mercado.

O trabalho adota diferentes solução para a abordagem do problema, incluindo tratamento da incerteza através da adoção da curva de preferência e equivalentes determinísticos

ABSTRACT

This work seeks the fundamental process of making decisions under uncertainty, modeling problem of trading electricity contracts between market agents and tries to envision the main variables to the problem

The model uses a preference curve assessed through an interviewing process and simplifications over the curve shape

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS
LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I. INTRODUÇÃO **1**

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVO	2
1.2 A COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA SOB A ÓTICA DO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	3
1.3 O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO DE FORMATURA NA EMPRESA	10
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	12

CAPÍTULO II. AMBIENTAÇÃO DO PROBLEMA **14**

1. A EMPRESA	14
1.1 A ÁREA DE GERENCIAMENTO DE RISCO	15
2. O SETOR DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	18
2.1 O MERCADO DE ENERGIA ELÉTRICA	19
3. CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROBLEMA DE COMERCIALIZAÇÃO	21
3.1 REGRAS DE MERCADO.	21
3.2 CÁLCULO DO PREÇO SPOT.	21
3.3 FORMAS DE CONTRATAÇÃO DE ENERGIA.	22
3.4 PERSPECTIVAS DO MERCADO LIVRE.	22

CAPÍTULO III. REVISÃO DA LITERATURA **23**

1. MODELOS DE SOLUÇÃO PARA O PROBLEMA DA COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.	23
2. ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA DE DECISÃO	23
3. APLICAÇÃO DA TEORIA DA UTILIDADE NA ANÁLISE DA DECISÃO	26
4. A UTILIZAÇÃO DA CURVA DE PREFERÊNCIA EM PROBLEMAS DE DECISÃO	26
4.1 LEVANTAMENTO DA CURVA DE PREFERÊNCIA	26
4.2 A IMPLICAÇÃO DA ATITUDE FRENTE AO RISCO	26

CAPÍTULO IV. DESENVOLVIMENTO DO PROBLEMA **26**

1. MODELAGEM INICIAL DO PROBLEMA	26
2. UTILIZAÇÃO DAS SAÍDAS DO MODELO COMPUTACIONAL NEWAVE COMO MODELO DE PREVISÃO DO PREÇO SPOT.	35
3. O TRATAMENTO DA INCERTEZA NO MODELO DE DECISÃO	38
3.1 O TRATAMENTO DAS FLEXIBILIDADES CONTRATUAIS	46
3.2 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO TRATAMENTO PROBABILÍSTICO	50
4. O TRATAMENTO DA AVERSÃO AO RISCO	55
4.1 UTILIZAÇÃO DA CURVA DE PREFERÊNCIA NO MODELO DE DECISÃO.	58

5. MODELO PROPOSTO	61
<u>CAPÍTULO V. RESULTADOS E ANÁLISES</u>	65
1. AVALIAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO	66
2. DETERMINAÇÃO DO VALOR DA INFORMAÇÃO PERFEITA	73
<u>CAPÍTULO VI. CONCLUSÕES</u>	75
1. UTILIZAÇÃO DO MODELO COM OUTRAS FINALIDADES	76
2. ANÁLISE CRÍTICA DO MODELO	76
<u>CAPÍTULO VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	78
1. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

LISTA DE FIGURAS

Ilustração 1 - Service Blueprint da comercialização de energia (elaborado pelo autor) -	5
Ilustração 2 - Modelo de transformação de uma comercializadora (adptado de Slack) -	5
Ilustração 3 - Modelo de transformação de uma comercializadora (adptado de Slack) -	8
Ilustração 4 - Participação no Mercado de Comercialização de Energia Fonte: Relatório da CCEE – elaborado pelo autor-----	15
Ilustração 5 - Visão geral do arcabouço regulatório do Novo Modelo do Setor Elétrico. -----	18
Ilustração 6 - Capacidade Instalada de Geração de Energia Fonte: Balanço Energético Nacional - MME -----	19
Ilustração 7 - Participação no mercado de Geração Fonte: ABRAGE – Associação Brasileira dos Geradores de Energia Elétrica -----	19
Ilustração 8 - Mapa do sistema de transmissão de energia elétrica Fonte: Eletrobrás -	20
Ilustração 9 - Participação das empresas de transmissão (% de km) - Fonte: ABRATE - Associação Brasileira das Grandes Empresas de Transmissão de Energia Elétrica	20
Ilustração 10 – Diferença entre o preço do mercado livre e a tarifa do cativo Fonte: Análise do Autor, ANEEL -----	20
Ilustração 11 - Fluxo Físico de Energia elétrica – Elaborado pelo autor-----	20
Ilustração 12 - Fluxo Comercial de Energia Elétrica - Elaborado pelo Autor -----	20
Ilustração 13 - Comparativo entre a variação mensal (%) PLDxIBOVxCDI Fonte: Banco Central, CCEE – Elaborado pelo autor -----	21
Ilustração 14 - Avaliação da qualidade do Newave como previsor -----	22
Ilustração 15 - Submercados de Energia Elétrica -----	22
Ilustração 16 - Evolução da Tarifa de fornecimento em virtude do fim do fim do subsidio cruzado -----	22
Ilustração 17 - Perspectivas de Crescimento do Mercado Livre -----	22
Ilustração 18 - Problema genérico de decisão-----	26
Ilustração 19 - Modelo determinístico de solução do problema -----	30
Ilustração 20 - Solução do problema determinístico -----	31
Ilustração 21 - Diagrama de Tornado -----	34
Ilustração 22 - Comparação dos resultados em função da variação do PLD-----	35
Ilustração 23 - Histórico do PLD de abril/03 a mai/05 (R\$/MWh) -----	36
Ilustração 24 - Histograma de previsão de PLD médio para o ano de 2005 (R\$/MWh)	41
Ilustração 25 - Discretização do PLD em 5 estados possíveis (R%/MWh)-----	43
Ilustração 26 - Modelo discretizado em 5 estados -----	46
Ilustração 27 - Flexibilidades contratuais (Árvore de decisão do ponto de vista do cliente) -----	48
Ilustração 28 - Variação do resultado em função do Preço Spot-----	49
Ilustração 29 - Representação das flexibilidades-----	50
Ilustração 30 - Modelo de decisão com exploração exaustiva dos 2000 cenários de preços -----	52
Ilustração 31 – Cálculo do PaR -----	53
Ilustração 32 - Problema de decisão considerando o PaR-----	55
Ilustração 33 - Loteria hipotética para levantamento da curva de preferência -----	57

Ilustração 34 - entre a curva de preferência e a curva indiferente ao rico-----	58
Ilustração 35 - Problema de Comercialização considerando a curva de preferência ---	60
Ilustração 36 - Modelo Proposto - na forma extensa-----	62
Ilustração 37 - Modelo Proposto - forma de simplificada de de representação -----	63
Ilustração 38 - Solução do Caso 1-----	67
Ilustração 39 - Solução do Caso 2-----	68
Ilustração 40 - Solução do Caso 3-----	69
Ilustração 41 - Solução do Caso 4-----	71
Ilustração 42 - Solução do Caso 5-----	72
Ilustração 43 - Dados para o cálculo do Valor Esperado da Informação Perfeita -----	74
Ilustração 44 - Árvore de decisão para o cálculo da Valor Esperado da Informação Perfeita -----	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados para o problema determinístico-----	30
Tabela 2 - Valores possíveis das variáveis do problema -----	33
Tabela 3 - Dados para exemplo de funcionamento das flexibilidades contratuais -----	47
Tabela 4 - Dados para o problema considerado de forma exaustiva -----	51
Tabela 5 - Pontos definidos com a arguição do decisor-----	57
Tabela 6 - Parâmetros da curva de preferência-----	58
Tabela 7 - Casos exemplo para validação do modelo -----	66
Tabela 8 - Validação do modelo -----	73

Capítulo I.

Introdução

1. Introdução

Os mercados internacionais de energia passaram por forte desregulamentação nos anos 90. A situação anterior onde grandes monopólios, em sua maioria estatais, geriam os contratos de energia foi em grande parte alterada e substituída por mercados de energia onde os preços são livremente negociados e determinados pela oferta e demanda.

Ainda que apresente características muito particulares quando comparada às commodities tradicionais – tais como a impossibilidade de armazenamento, e a importância da energia na vida cotidiana, chegando a ser caracterizada como bem de primeira necessidade – a energia elétrica pode ser caracterizada como uma commodity. Isso porque não há diferenciação entre a energia produzida por este ou aquele produtor, ou comercializada por esta ou aquela empresa, pelo fato da energia ser produzida em grandes quantidades e por diversas usinas, pela facilidade de distribuição da energia (em virtude da grande malha de distribuição existente hoje no país) e especialmente pelas regras implementadas com a desregulamentação do mercado, possibilitando a livre comercialização da energia entre os diversos “agentes de mercado”.

Os participantes deste mercado normalmente são produtores, comercializadores, grandes consumidores e empresas de distribuição de energia elétrica. A nova realidade imprime que estes agentes tomem decisões específicas na presença de incertezas relativas aos preços futuros da energia elétrica, ressaltando a deficiência de muitas empresas que ainda não dispõem da expertise necessária para a negociação de contratos futuros e derivativos, mais conhecidos nos mercados financeiros e de commodities.

Não obstante, o mercado de energia segue um caminho natural de amadurecimento em termos de complexidade de tipos de contratos negociados, representado pelo crescimento do volume negociado no mercado livre nos últimos dois anos e pela facilidade hoje encontrada em negociar contratos mais complexos, envolvendo uma combinação de derivativos de energia e mercado “a termo”. Do ponto de vista de uma comercializadora de energia, ponto negativo do amadurecimento do mercado é a redução das

margens de negociação, em outras palavras, a redução do *spread* de compra e venda.

Neste contexto, é cada vez mais relevante, a apropriada análise da decisão de negociação de contratos de energia em virtude das incertezas inerentes aos preços da commodity energia, e o risco a que a empresa estará exposta no caso de contrair uma posição aberta de contratos, no caso em que os volumes de energia vendidos sejam diferentes dos comprados..

1.1. Objetivo

Este trabalho visa estipular um método de apoio à decisão de venda de contratos de energia “a termo”, avaliando os riscos e retornos envolvidos na decisão.

O desenvolvimento do método buscará na literatura existente uma abordagem adequada à solução de um problema de decisão sob incerteza.

1.2. Qualificação do trabalho como um problema de engenharia de produção

“O TF deve versar sobre temas de Engenharia de Produção ou sobre aqueles pelos quais os métodos e instrumentos ou técnicas típicas desta área da Engenharia sejam úteis para a análise e solução dos problemas em questão.” (Normas..., 2003)

1.2.1 A COMERCIALIZADORA DE ENERGIA COMO SISTEMA PRODUTIVO.

A comercializadora de energia elétrica atua como uma prestadora de serviços, vendendo e comprando contratos de energia de forma a suprir as necessidades dos clientes.

A definição e o entendimento do serviço prestado pela comercializadora de energia passa pela caracterização do pacote de serviços oferecidos pela empresa.

FITZSIMMONS & FITZSIMMONS (2000) define o pacote de serviços como “um conjunto de mercadorias e serviços que são fornecidos em um ambiente”.

Mais que isso, divide esse conjunto de fatores em quatro categorias (FITZSIMMONS & FITZSIMMONS, 2000):

- ❑ Instalações de apoio – representando os recursos físicos que devem estar disponíveis antes de se oferecer um serviço;
- ❑ Bens facilitadores – o material adquirido ou consumido pelo comprador, ou os itens fornecidos pelo cliente;
- ❑ Serviços explícitos – benefícios facilmente sentidos pelo cliente, ou características intrínsecas dos serviços;
- ❑ Serviços implícitos – Benefícios psicológicos que o cliente pode sentir apenas vagamente, ou características extrínsecas dos serviços.

As **instalações de apoio** de uma comercializadora de energia são constituídas da infra-estrutura para o atendimento do cliente, bem como de uma autorização concedida pelo CCEEⁱ (Câmara de comercialização de energia elétrica) para atuação no mercado de energia e o registro da empresa como agente de mercado⁵. Sem essa autorização, a empresa não pode vender energia. O item Capítulo II.2 deste capítulo explica melhor o funcionamento do mercado de energia.

⁵ Agente de mercado é a empresa que participa do MAE, entrando nas contas referentes aos fluxos comerciais.

Os **bens facilitadores** são bens fornecidos pela empresa, que visam “materializar” a prestação de serviços. No caso da comercialização de energia, não apenas o contrato físico pode ser entendido como um bem facilitador, alguns relatórios de mercado produzidos pela comercializadora também funcionam como um bem facilitador.

O **serviço explícito** podem ser duas coisas, dependendo da situação do cliente. Para um cliente que ainda compra na energia da distribuidora, portanto que ainda não migrou para o mercado livre, o serviço nada mais é do que a redução dos custos de energia dos clientes. Para um cliente mais amadurecido (do ponto de vista do mercado de energia) que já compra energia no mercado livre, o serviço explícito é o fechamento de posições abertas⁶ e o fim da exposição à volatilidade dos preços de curto prazo, ou seja uma proteção ao risco de mercado, um *hedge*.

O **serviço implícito** está ligado ao atendimento que a comercializadora dá ao cliente, proporcionando-lhe um entendimento do funcionamento do mercado livre, bem como transmitindo uma sensação de segurança quanto ao contrato negociado com a comercializadora.

1.2.2 A ESTRUTURAÇÃO DA EMPRESA DE SERVIÇOS

1.2.2.1

1.2.3 SANTOS (2000) APUD SANTOS (2000) APUD SANTOS (200) APUD A COMERCIALIZADORA DE ENERGIA E A FUNÇÃO PRODUÇÃO.

Uma vez caracterizada a atividade de comercialização de energia como prestadora de serviços, cabe agora estabelecer defini-la como um sistema produtivo.

De acordo com SLACK et al. (1996), “A função produção na organização representa a reunião de recursos destinados à produção de seus bens e serviços”.

⁶ Diz-se que uma empresa tem uma posição aberta quando esta não tem contratos de compra de energia suficientes para honrar os contratos de venda, ou para suprir a própria necessidade de consumo de energia.

SLACK et al. (1996) diz ainda:

“Qualquer operação produz bens ou serviços, ou um misto dos dois, e faz isso por um processo de transformação. Por transformação nos referimos ao uso de recursos para mudar o estado ou condição de algo para produzir *outputs*”.

A atividade de comercialização de energia pode ser entendida com uma transformação; com *inputs*, processo de transformação e *outputs*.

Por outro lado, os inputs podem ser classificados como recursos transformados e recursos transformadores (SLACK et al., 1996).

No caso da comercialização de energia, os **recursos transformados são os próprios clientes** e as informações de mercado.

A caracterização da comercializadora como prestadora de serviços estabeleceu que o **serviço explícito** prestado pela empresa é a redução dos custos de energia, ou a mitigação de riscos do cliente. De qualquer forma, a grande mudança ocorrida no processo de transformação se dá no estado do cliente.

Por outro lado, a comercializadora efetua também um outro processo de transformação, a **transformação de informação**.

A precificação dos produtos de energia, bem com o estabelecimento das condições de atendimento (flexibilidades contratuais, determinação de prazos, etc.), se dá através de estudos e análises que levam em consideração o risco envolvido em cada caso.

Dentre as quatro dimensões propostas por SLACK et al. (1996), para distinção de operações, a saber, volume de output, variedade de output, variação de demanda de output, grau de contato com o cliente. Duas tem maior relevância na comercialização de energia: a variedade, e o grau de contato com o consumidor.

A variedade de produtos e serviços oferecidos pode ser entendida como a diversidade de contratos de energia que podem ser negociados. Não existe um padrão de mercado, como seria no caso de ‘contratos futuros’, tampouco os

contratos de energia elétrica são negociados em bolsa. Cada empresa tem sua própria necessidade, no que diz respeito a prazos contratuais, flexibilidades de sazonalização mensal, opção (muitas empresas contam com um gerador térmico, e só compram contratos de energia se o custo desse for inferior ao custo de geração própria – criando um novo tipo de contrato denominado contrato gatilho).

Em relação ao contato com o cliente, pode-se dizer que a comercialização de energia possui micro-operações de alto e baixo contato dentro da mesma macro-operação. O processo de desenvolvimento de uma proposta de contrato de energia é composto de três etapas: entendimento das necessidades do cliente, precificação do produto adequado ao cliente, e efetuação do contrato. A primeira e a última etapa requerem um contato muito próximo ao cliente, enquanto que a etapa intermediária não requer nenhum.

O modelo de transformação da atividade de comercialização pode ser entendido na figura a seguir.

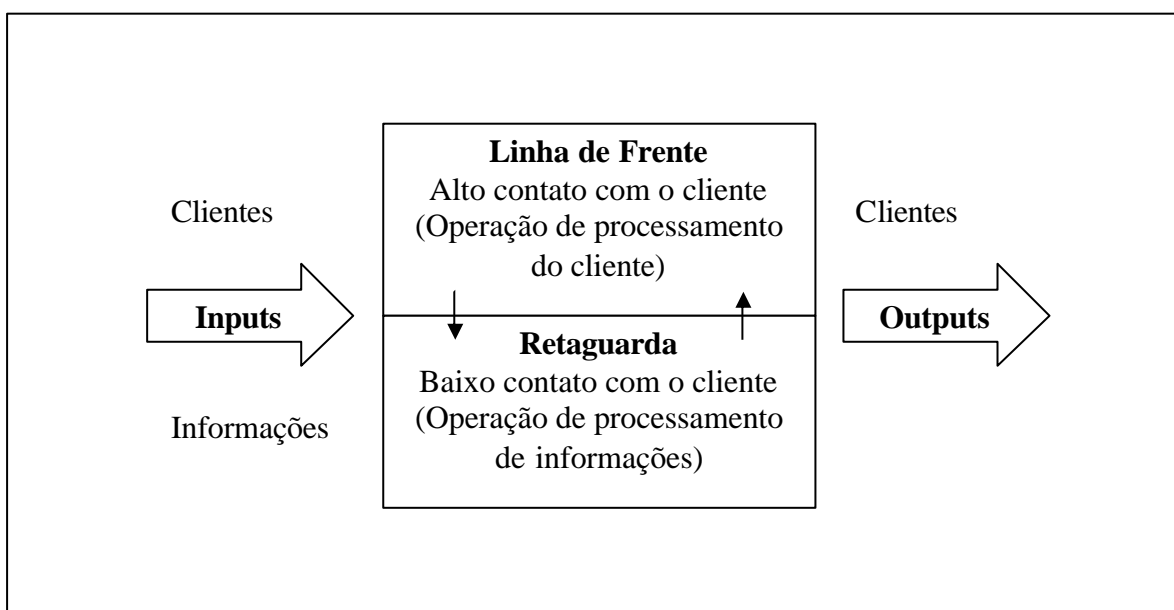


Figura 1 - Modelo de transformação de uma comercializadora (adaptado de Slack)

1.2.4 A DEFINIÇÃO DA MÉTRICA DE AVALIAÇÃO DE PROPOSTAS COMO UM PROBLEMA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Como visto anteriormente, a comercialização de energia pode ser entendida como um sistema de produção de serviços.

Neste aspecto, a avaliação de propostas se dá no âmbito da retaguarda, através do processamento de informações (cenários de preços futuros) a fim de se determinar a viabilidade ou não do negócio proposto.

De volta à figura 1, o gerenciamento de risco nada mais é do que o processo de transformação de informações na tentativa de produzir serviços que atendam às necessidades dos clientes da empresa.

SLACK et al. (1996) define as responsabilidades do administrador da produção:

- ☐ Entender os objetivos estratégicos da produção;
- ☐ Desenvolver uma estratégia de produção para a organização;
- ☐ Desenhar produtos, serviços e processos de produção;
- ☐ Planejar e controlar a produção;
- ☐ Melhorar o desempenho da produção.

Ainda assim, cabe definir melhor o que é um problema de engenharia de produção. LEME In: CONTADOR (1997) define o problema do engenheiro de produção como sendo a tarefa de responder as seguintes perguntas: O que produzir? Como produzir? Quando e quanto produzir? Com que produzir? Onde produzir?

LEME (1961:23-34) discorre ainda sobre a diferença entre o papel do engenheiro de produção e do economista. Segundo LEME¹, o economista lida mais com problemas ditos de grande escala, ou ainda questões de aspecto macro, enquanto que o engenheiro de produção lida mais com questões de pequena escala, ou questões de abrangência micro.

No caso da comercializadora de energia, as questões macro podem ser entendidas como planejamento do pacote de serviços, planejamento de volume de vendas de longo prazo, e decisões orçamentárias de longo prazo.

Já as decisões de curto prazo podem ser; o planejamento comercial de curto prazo, o desenvolvimento de um produto ou serviço e a elaboração e controle dos processos.

Por outro lado, a definição de uma métrica de avaliação de propostas pode ser entendida como o desenvolvimento de um indicador de controle do processo de avaliação e precificação de contratos. Já a precificação dos produtos pode ser vista como uma parte do desenho dos serviços.

Segundo as definições acima, e tendo em vista a consideração feita no parágrafo anterior, fica claro que o problema abordado neste trabalho diz respeito à administração da produção.

1.3. O desenvolvimento do trabalho de formatura na empresa

A idéia inicial da realização do trabalho de formatura se deu em 2001, quando o autor era estagiário da A.T. Kearney (uma firma de consultoria estratégica).

Inicialmente, o trabalho deveria tratar do posicionamento estratégico dos laboratórios farmacêuticos frente às mudanças no cenário competitivo do setor (liberação dos medicamentos genéricos, forte consolidação da rede de distribuição, etc.).

Um esqueleto do trabalho chegou a ser elaborado, e com isso a primeira etapa do trabalho estava concluída, com aprovação na matéria Trabalho de Formatura I.

Entretanto, o trabalho não pôde ser concluído. A dificuldade na obtenção dos dados dos laboratórios levaria o desenvolvimento do trabalho por um caminho demasiadamente teórico. Além disso, no final daquele ano, houve

uma mudança na carreira profissional do autor, indo trabalhar em uma empresa de venture capital voltada para oportunidades de Internet.

Ainda assim a expectativa da realização do trabalho de formatura fez com que o autor efetuasse matriculo na matéria Trabalho de Formatura II sempre que possível.

O ano de 2002 foi marcado por mudanças profissionais na vida do autor, o que impossibilitava qualquer concretização de um projeto com o escopo de um trabalho de formatura.

No final de 2002, o autor ocupava o cargo de estagiário da área de comercialização de energia na AES Eletropaulo. Após um período de familiarização com o setor elétrico, mais uma vez surgia a oportunidade de desenvolvimento de um trabalho de formatura, já em 2003.

Dessa vez, a idéia era desenvolver um modelo de otimização que possibilitasse a redução dos custos de aquisição de energia por parte da distribuidora de energia.

Uma disputa política interna dificultou bastante o desenvolvimento do trabalho, até que o projeto acabou perdendo relevância dentro da organização, chegando inclusive a ser proibido qualquer tipo de análise sobre a estratégia de contratação de energia.

Até que no início de 2004, o autor passou a trabalhar efetivamente, não mais como estagiário, na ENERTRADE. A oportunidade só surgiu pois a carga horária do autor contemplava somente duas aulas semanais, uma delas na segunda feira no primeiro horário.

O conhecimento adquirido na Eletropaulo fortaleceu o entendimento do autor sobre a necessidade de controles e procedimentos muito claros.

Por outro lado, a mudança de uma ditribuidora de energia para uma comercializadora, leva um tempo de maturação. Especialmente no que diz respeito a controle de risco.

Desde Janeiro deste ano, o autor trabalha como Analista de Riscos e Estudos.

As principais funções do Analista de Riscos e Estudos na empresa são:

- ❑ Avaliar a posição da empresa, quantificando o risco da posição aberta da empresa no próximos 12 meses;
- ❑ Avaliar os riscos das propostas apresentadas pela empresa e recomendar sua aprovação, ou rejeição pela diretoria;
- ❑ Precificar os produtos de energia utilizando as métricas disponíveis atualmente na empresa
- ❑ Desenvolver estudos específicos sobre o mercado de energia e de consultoria para clientes da empresa;

A empresa tem uma postura bastante receptiva em relação às metodologias de análises e ao aprimoramento das métricas de quantificação e precificação do risco. Tanto é assim que recentemente, a empresa adotou uma política de controle do risco de crédito das contrapartes baseada em um estudo desenvolvido pelo autor, pondo em prática grande parte da metodologia proposta.

1.4. Estrutura do trabalho

O trabalho está dividido em 6 partes, elencadas de forma a possibilitar uma melhor compreensão do problema, bem como estruturar o problema seguindo os conceitos de soluções de problemas e de elaboração de trabalhos científicos.

O *ICapítulo I* situa o leitor no universo em que se encontra o problema tratado neste trabalho. Descrevendo a empresa em que foi realizado o trabalho, o setor de energia elétrica, e aprofundando em questões específicas quanto ao tratamento da eletricidade como commodity.

O Capítulo IV apresenta os diversos modelos que podem ser utilizados na abordagem do problema.

Os Capítulos V e VI apresentam as conclusões sobre o trabalho

Capítulo I

.



Capítulo II. Ambientação do Problema

2. A empresa

A ENERTRADE faz parte do grupo português EDP (Energias de Portugal), um dos maiores grupos privados de energia existentes hoje no Brasil. O grupo, detentor de grande maioria dos ativos de geração e distribuição de energia em Portugal, e presente em diversos países.

No Brasil, o grupo está presente em toda cadeia comercial de energia elétrica.

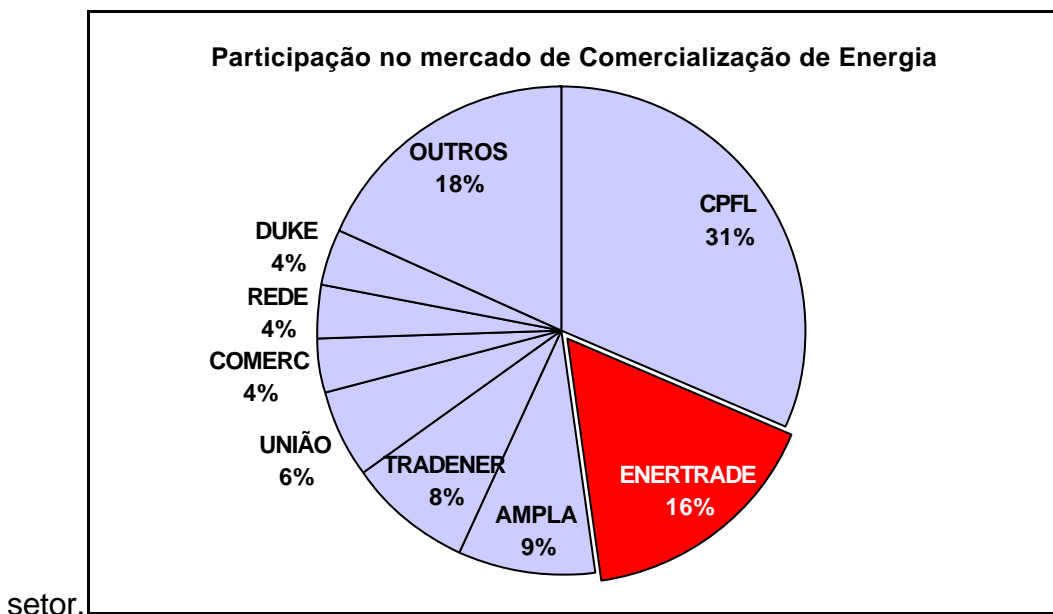
Na distribuição, o grupo conta com as seguintes empresas:

- ☐ Bandeirante, atuando no interior do Estado de São Paulo, mais especificamente na região do Vale do Paraíba;
- ☐ Enersul, distribuidora do Estado do Mato Grosso do Sul;
- ☐ Escelsa, distribuidora do Estado do Espírito Santo

Na atividade de geração, o grupo EDP é sócio majoritário em duas usinas, e está deverá contar com mais uma usina hidrelétrica, Peixe Angical, em meados de 2005:

- ☐ Usina Hidrelétrica de Lajeado;
- ☐ Unidade Térmica de Geração de FAFEN;
- ☐ Usina Hidrelétrica de Peixe Angical;

A Enertrade é uma das líderes no mercado de comercialização de energia, tendo cerca de 50% do mercado, e uma das pioneiras no



2.1. A área de gerenciamento de risco

A área de gerenciamento de risco da empresa tem um papel fundamental na atividade de comercialização.

A atuação da comercializadora só faz sentido quando se tem uma propensão a aceitar os riscos de mercado de uma posição aberta no futuro.

Isso se dá muito em função da tendência de preços dos contratos de energia no longo, médio e curto prazo.

Hoje em dia, em função do grande volume de energia armazenada no sistema elétrico, oriundo em grande parte dos altos índices pluviométricos recentes, existe uma sobra de energia no sistema.

Por outro lado, as incertezas quanto aos cenários futuros de preços, bem como a consideração de riscos regulatórios (o setor vem sido constantemente bombardeado com uma série de novos decretos alterando pontos cruciais do modelo de negócio de uma comercializadora – alteração do preço mínimo estipulado pela CCEE).

A gerência de risco é também a responsável pela elaboração e controle de processos relacionados a outros tipos de risco, como risco de crédito, e risco operacionais.

Uma outra questão tratada no âmbito da gerência de risco é o acompanhamento do sistema elétrico, com uma especial atenção à previsão de preços futuros e acompanhamento dos níveis dos reservatórios.

Esta última função está intimamente ligada ao controle da exposição da empresa, funcionando como inputs em todas as análises de risco efetuadas.

Voltando à questão de risco de mercado, cabe ressaltar que o gerenciamento deste risco se dá em dois momentos distintos. Quando se avalia uma proposta de contrato junto a um cliente da empresa, uma das dimensões é exatamente o risco deste contrato. Por outro lado, uma vez fechados os contratos, é efetuado um gerenciamento da posição, utilizando o Profit at Risk⁷ como métrica de controle.

A área é composta de um gerente de riscos e três analistas.

2.1.1 O RELACIONAMENTO COM OUTRAS ÁREAS

A divisão do trabalho em uma comercializadora de energia é melhor entendida quando a fazemos no âmbito dos setores da organização.

A comercializadora pode ser dividida em três áreas distintas.

O *front-office*, responsável por todo o processo comercial. Desde a prospecção de novos clientes, à negociação de novos contratos, bem como da negociação com os atuais clientes da empresa. Em outras palavras é o setor responsável pela efetuação da venda, ou compra de energia, e do pós venda, ou pós compra.

⁷ O Profit at Risk ou PaR é a diferença entre o valor esperado da posição (Mark to Market) e o pior valor da posição da empresa com uma confiabilidade de 95%

O *middle-office*, representado pela área de gerenciamento de riscos e estudo, que como descrito anteriormente, efetua todo o controle da posição da empresa.

E finalmente o *back-office*, que atua muito próximo ao *front*, responsável por todos os controles dos processos comerciais, ou ainda pela administração das vendas. Esta área também é responsável pelo controle da posição energética da empresa no sistema de trading.

O *middle-office* se relaciona intensivamente com as duas outras áreas da empresa.

Em especial, a atuação junto ao *front* merece especial atenção, uma vez que este relacionamento faz parte do processo de transformação de clientes, exemplificado anteriormente.

O processo de prestação de serviço inicia com o *front-office* identificando oportunidades de negócio junto a um potencial cliente da empresa. Em seguida, o próprio *front-office* busca compreender as necessidades do cliente e solicita uma cotação de energia junto ao *middle*, que avaliará a proposta de contrato e encaminhará para a aprovação ou reprovação da diretoria.

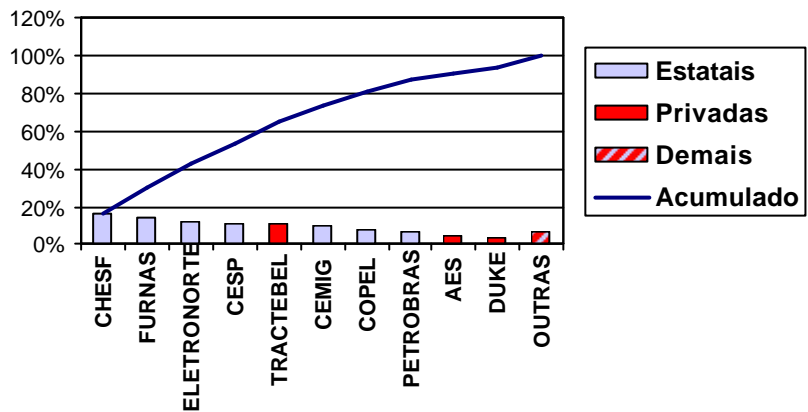
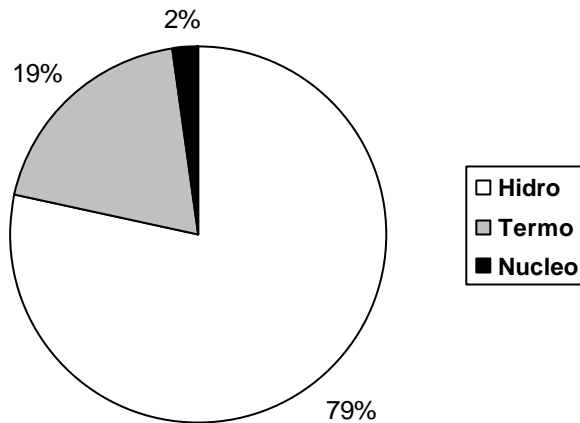
3. O setor de comercialização de energia elétrica no Brasil

3.1.Histórico

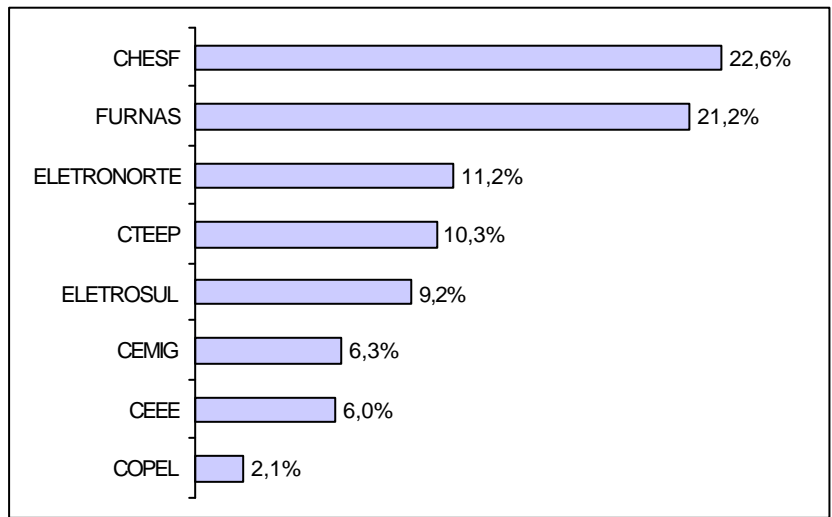
Ao longo dos últimos anos o setor elétrico brasileiro vem passando por uma profunda reestruturação cujos principais objetivos são introduzir a competição na geração, garantir a continuidade do suprimento de energia e atrair capital privado através da transferência de ativos de geração e distribuição para a iniciativa privada.

Por outro lado, o mercado competitivo deverá atrair novos investimentos, principalmente na construção de novas usinas, possibilitando o equilíbrio entre o crescimento da demanda de energia com a oferta.

3.2. O mercado de energia elétrica



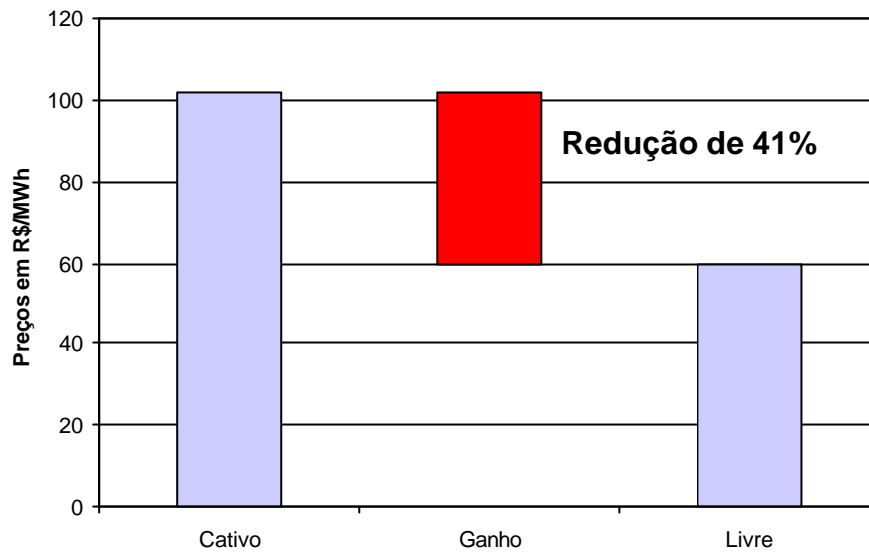
(ONS)



(Agência Nacional

de Energia Elétrica - - Pequenas Centrais Hidrelétricas

¹⁴ Modelo computacional responsável pela otimização do despacho do setor, apresentado no 2.4.1 do Capítulo II.



() - preço de
liquidação das diferenças ()Agentes do mercado

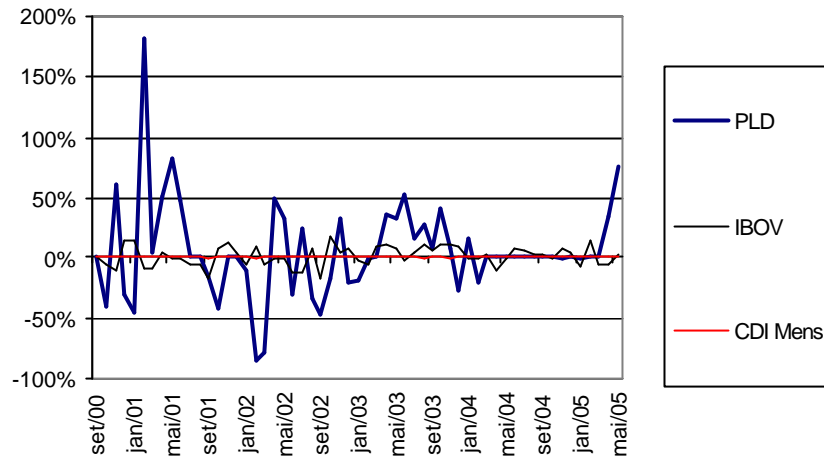
3.2.10S FLUXOS COMERCIAIS DENTRO DO SETOR.

3.3. Órgãos reguladores

- a) Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).
- b) equilíbrio (ONS).
- c) MAE.

3.4. Considerações sobre o mercado

3.4.1 CÁLCULO DO PREÇO SPOT.



mensal

$$\text{Min Custo de Geração Presente} + \text{Custo Futuro} \quad (1)$$

$$s.t. \quad \text{Geração Presente} = \text{Demanda}$$

$$\text{Nível dos reservatórios} \geq 0$$

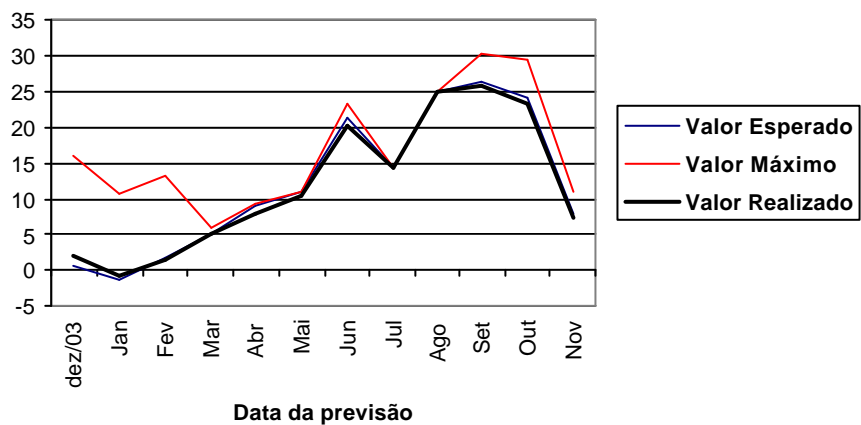
$$\text{Min } c^T x + f(y)$$

s.t.

$$\text{Volume atual} + \text{Afluência futura} - \text{Geração} = \text{Volume futuro}$$

$$Ax + F(y) \geq b$$

$$x \geq 0, \quad y \in Y$$



a)

a) Os submercados de Energia

3.4.2 FORMAS DE CONTRATAÇÃO DE ENERGIA.

3.4.3GRANDEREGRAS DE MERCADO.

3.4.4 O CLIENTE LIVRE.

Perspectivas de mercado – o realinhamento tarifário e a nova regulamentação como drivers de crescimento de mercad

Capítulo II.

Revisão da literatura

1. Carcaterização de um problema de análise da decisão

2. ,eefereeferiddd&rabhu&RouglaseiveEstruturação do problema de decisão

ammondammond

ammond

aiffa
SHIMIZU2001Clemens
Shimizu

3. A utilidade como métrica de decisão

Capítulo III. $[x_1 > x_2] \Leftrightarrow [u(x_1) > u(x_2)]$ (1)

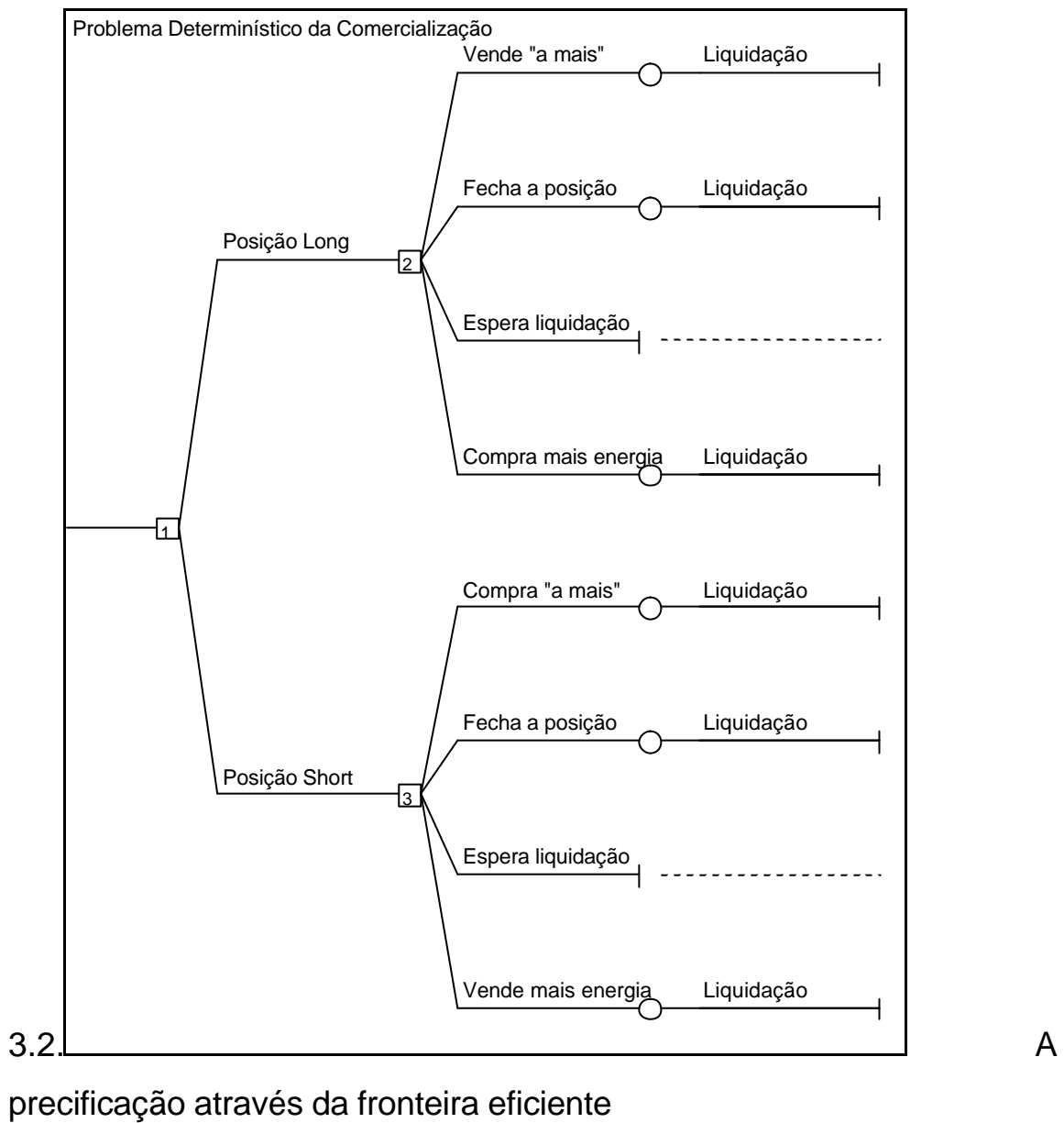
$$r(x) \equiv \frac{u''(x)}{u'(x)} \quad (3)$$

Capítulo III.

Capítulo III. se deve-se ou não esperar o final do mês, quando o PLD já é conhecido decisão““

A modelagem da posição inicial da carteira, com um elo de decisão e não como um ponto de partida, permite que se compare a estratégia adotada no passado, que levou a posição da carteira à situação encontrada hoje, com a melhor alternativa possível.

Por outro lado, a posição inicial da carteira só tem significado físico para o caso real, ou a posição atual, e não para uma posição hipotética. Faz-se necessário adotar uma premissa que a liquidez do mercado permitiria que todos os contratos fechados no passado pudessem ser replicados de forma inversa, ou seja todos os contratos de compra passariam a se contratos de venda e vice-versa, sem que com isso houvesse alteração nos preços negociados. Assim a posição inicial da carteira para a situação hipotética inversa à situação real será associada a uma posição financeira também hipotética e inversa a posição real.



4. Derivativos

Futures, Options & Swaps – Robert W. Kolb
 Introdução aos mercados futuros e de Opções – John Hull

4.1.SWAPS

4.2.Opções

4.3.Collars

5.Precificação de Produtos de Energia

Capítulo III.

Formulação do Problema

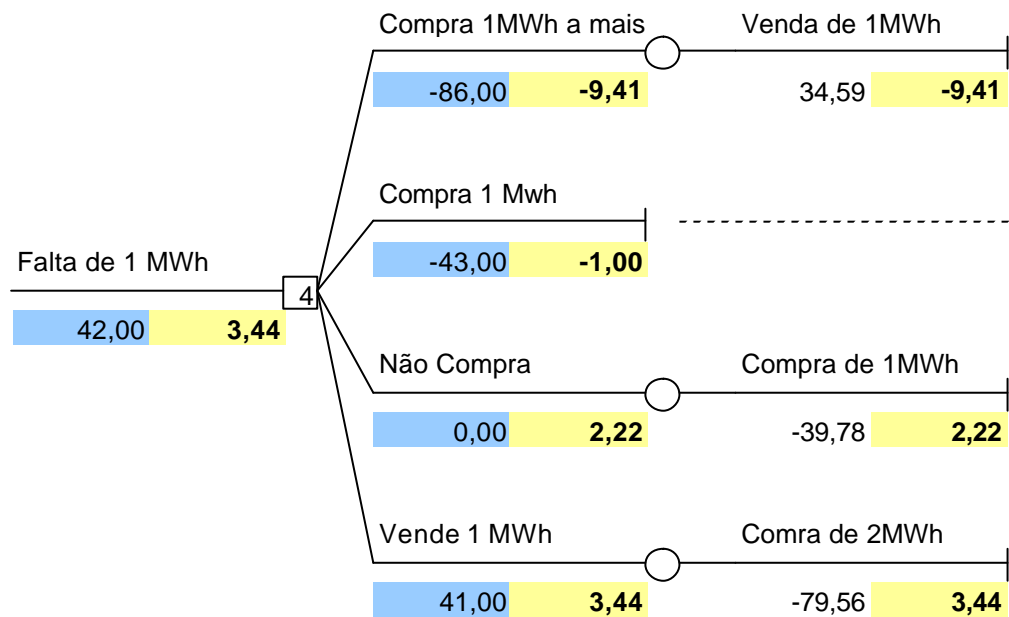
- taumentar a exposição atual – comprando mais energia no caso de uma carteira inicial long e vendendo caso contrário;

, elaborada com preços reais

Condições do Mercado		
Preço dos contratos	R\$/MWh	42,00
Spread	R/MWh	1,00
PLD	R\$/MWh	34,59
Ágio	%	115%
PSPOT	R\$/MWh	39,78

Onde o preço dos contratos corresponde ao valor médio entre os preços de compra e venda negociados, e o *spread* sua diferença.

tem-se



A representação do último evento, constituído de apenas um ramo, poderia ser suprimida e o impacto da liquidação calculado diretamente no valor dos ramos de cada uma das alternativas. Entretanto, a representação do evento facilita o entendimento do problema por retratar o encadeamento dos acontecimentos e ressaltar o fechamento final da carteira no âmbito da CCEE, ou através de contratos negociados ao Preços SPOT (PLD x Ágio).

A primeira alternativa, de cima para baixo, da 19 corresponde à inversão da posição em carteira. Neste caso, a empresa fecharia uma aquisição de 2 MWh ao preço de R\$ 41,00, e ao final do mês venderia um sobra de 1 MWh ao preço de R\$ 34,59.

de atuação seria o aumento por uma venda de 1 MWh a R\$/MWh 41,00, e obtendo um resultado de R\$ 3,44.

Para avaliar o comportamento do problema frente à incerteza das variáveis, deve-se realizar uma análise de sensibilidade.

A Tabela 2 mostra os possíveis valores para as variáveis incertas.

Variáveis		Base	Menor	Maior
Preço dos contratos	R\$/MWh	42,00	32	48
Spread	R/MWh	1,00	0,5	1,5
PLD	R\$/MWh	34,59	18,59	84,23
Ágio	%	115%	114%	125%

Tabela 2 - Valores possíveis das variáveis do problema

Fonte: Elaborado pelo autor

Pode-se então realizar uma simulação no problema variando cada uma das variáveis descritas na Tabela 2 e calcular o valor máximo e mínimo que o problema assume, determinando assim o impacto de cada variável no valor esperado da decisão.

O diagrama de tornado pode ser utilizado para comparar o impacto da variação de cada variável no problema. O impacto é medido como a variação máxima dos resultados em relação ao resultado obtido no caso base.

A Ilustração 21 mostra o diagrama de tornado para o problema determinístico.

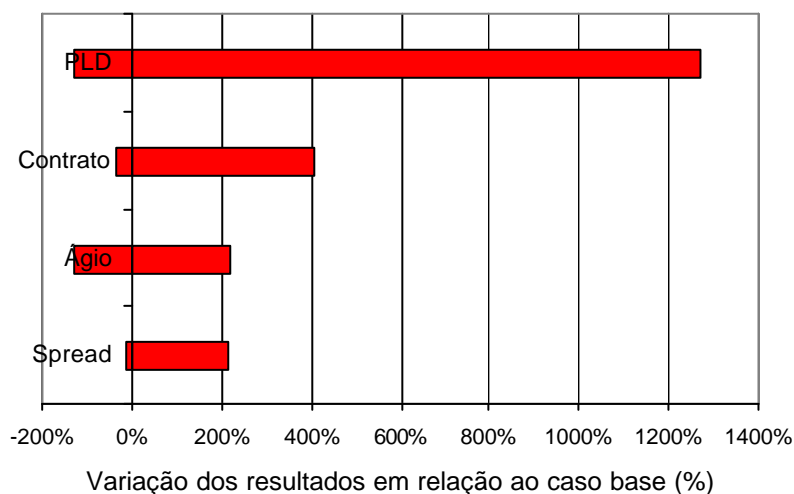


Ilustração 21 - Diagrama de Tornado

Nota-se que o PLD é a variável com maior impacto sobre o problema, alterando o valor esperado da estratégia em até 1200%.

A Ilustração 22 mostra como a variação do PLD altera a decisão e o resultado esperado para a estratégia ótima.

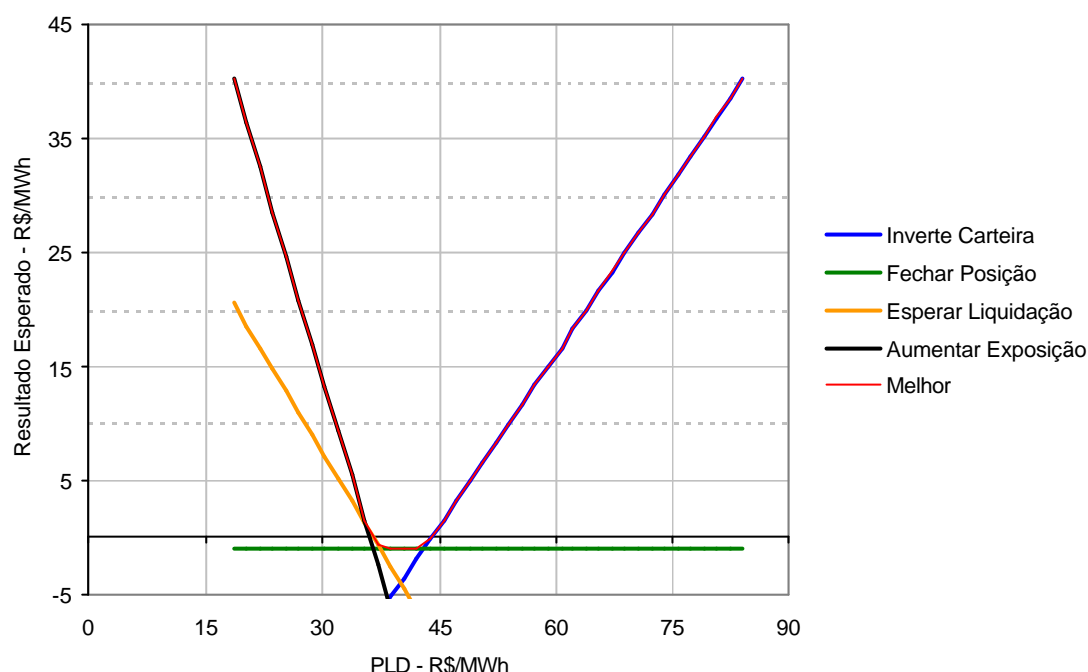


Ilustração 22 - Comparação dos resultados em função da variação do PLD

4. Fonte: Elaborado pelo autor Utilização das saídas do modelo computacional Newave como modelo de previsão do preço SPOT.

Para que a modelagem da incerteza do preço SPOT esteja adequada, e até para garantir a robustez e confiabilidade do modelo de decisão, a previsão do preço SPOT deve ser tratada com especial atenção.

Como explicado no 2.4.1 do Capítulo II a formação de preços do mercado de energia difere dos demais na medida em que o preço de referência para os contratos de curto prazo são referenciados ao preços de liquidação das diferenças (PLD) determinado a partir do programa computacional Newave, utilizado na determinação do despacho ótimo de geração.

Lembrando que os agentes do setor tem acesso ao programa computacional, bem como ao conjunto de dados utilizados pela CCEE para a

determinação dos preços, nada mais natural que utilizar o próprio Newave para a previsão de preços futuros, uma vez que este conta com um previsor de vazões, e gera 2.000 séries possíveis e equiprováveis de afluência e simula a solução encontrada na otimização considerando essas 2.000 séries, gerando assim outras 2.000 séries equiprováveis de preços futuros.

Mais que isso, os testes realizados pela Enertrade vêm demonstrando que o modelo tem uma confiabilidade no que diz respeito à previsão de preços para um horizonte não superior a 18 meses. A 14 da página 22 mostra o *back-test* da previsão de preços para o ano de 2004, considerando as previsões realizadas entre dezembro de 2003 e novembro de 2004, neste último apenas a previsão para os meses de novembro e dezembro de 2004 são avaliadas.

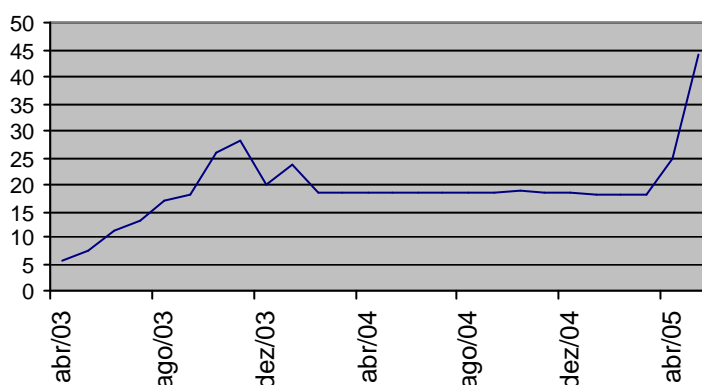


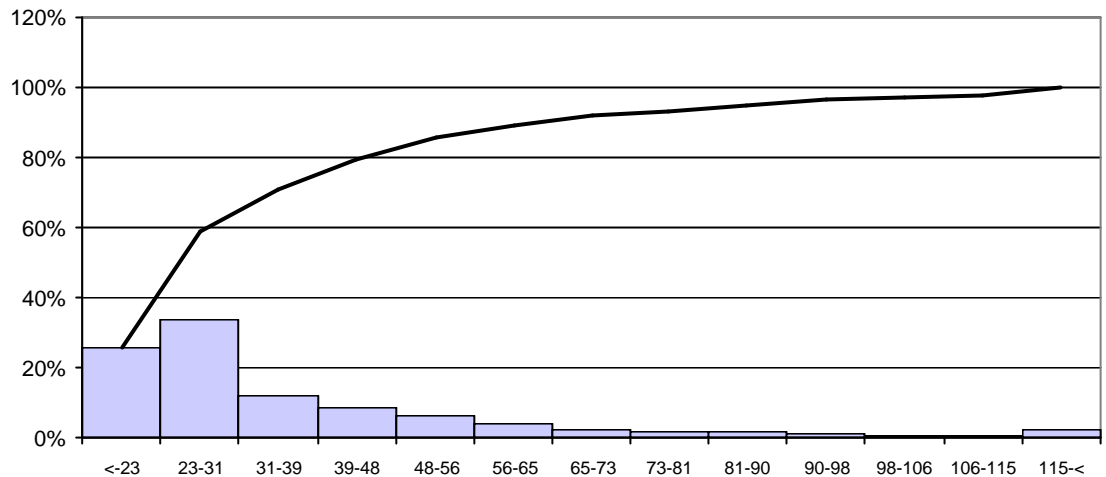
Ilustração 23 - Histórico do PLD de abril/03 a mai/05 (R\$/MWh)

Fonte: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE)

Algumas técnicas alternativas têm sido estudadas para melhorar a qualidade da previsão, entre elas a utilização de modelos com *Jump-difusion* que insere “turbulências” na evolução dos preços segundo uma distribuição de Poisson. Apesar disso, o comportamento histórico dos preços de energia elétrica do mercado brasileiro não indicam que esse método deva ser o mais adequado. A Ilustração 23 mostra o histórico do PLD para o período.

Capítulo V. Como descrito anteriormente, o problema de comercialização de energia é fortemente afetado pela incerteza dos preços futuros, tem uma grande sensibilidade à variação do PLD, fazendo-se necessário o tratamento adequado desta variável.

O gráfico abaixo mostra o histograma da previsão, realizada em outubro de 2004 para o PLD referente ao ano de 2005.



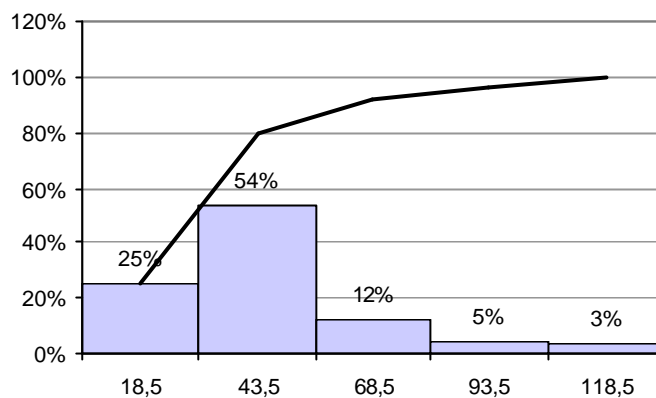
Capítulo III. Ilustração 24 -

Histograma de previsão de PLD médio para o ano de 2005 (R\$/MWh)

Capítulo III. Neste exemplo, o valor esperado para o PLD é de R\$/MWh 34,59, o máximo, considerando uma confiabilidade de 95% é de R\$/MWh 84,23, e o mínimo com confiabilidade de 5% de R\$/MWh 18,59.

Uma forma de se tratar a incerteza na decisão é utilizar o valor esperado da série como previsão de preço. Com isso, volta-se à modelagem determinística e resolve-se o problema.

Pode-se também efetuar uma discretização conforme o gráfico a seguir e utilizar os valores como parâmetros do modelo de



decisão.

Ilustração 25 - Discretização do PLD em 5 estados possíveis (R%/MWh)

Fonte: Elaborado pelo autor

Partindo para a modelagem de um problema real, e considerando que a previsão mostrada anteriormente havia sido realizada em outubro de 2004, quando os preços dos contratos para fornecimento de energia no ano de 2005 estavam em R\$/MW 42,00, e que a Enertrade tinha uma posição *short* à época. O problema de decisão pode ser representado da seguinte forma da Ilustração 26. Nota-se que a solução do problema é a inversão da posição inicial, indicando que a Enertrade deveria mudar a estratégia comercial, e passar a buscar posições *long* no mercado.

As diferenças entre os resultados obtidos com a modelagem determinística e a modelagem discretizada podem se explicadas pela imprecisão da discretização, ou pela aproximação dos valores no que diz respeito ao arredondamento dos preços discretizados.

O modelo discretizado deixa claro também que, mesmo em problemas mais simples, a introdução de incertezas dificulta bastante a representação gráfica do problema através da árvore de decisão.

Outras formas de tratamento da incerteza serão apresentadas posteriormente.

Modelo Discretizado e Solucionado Pelo Valor Esperado

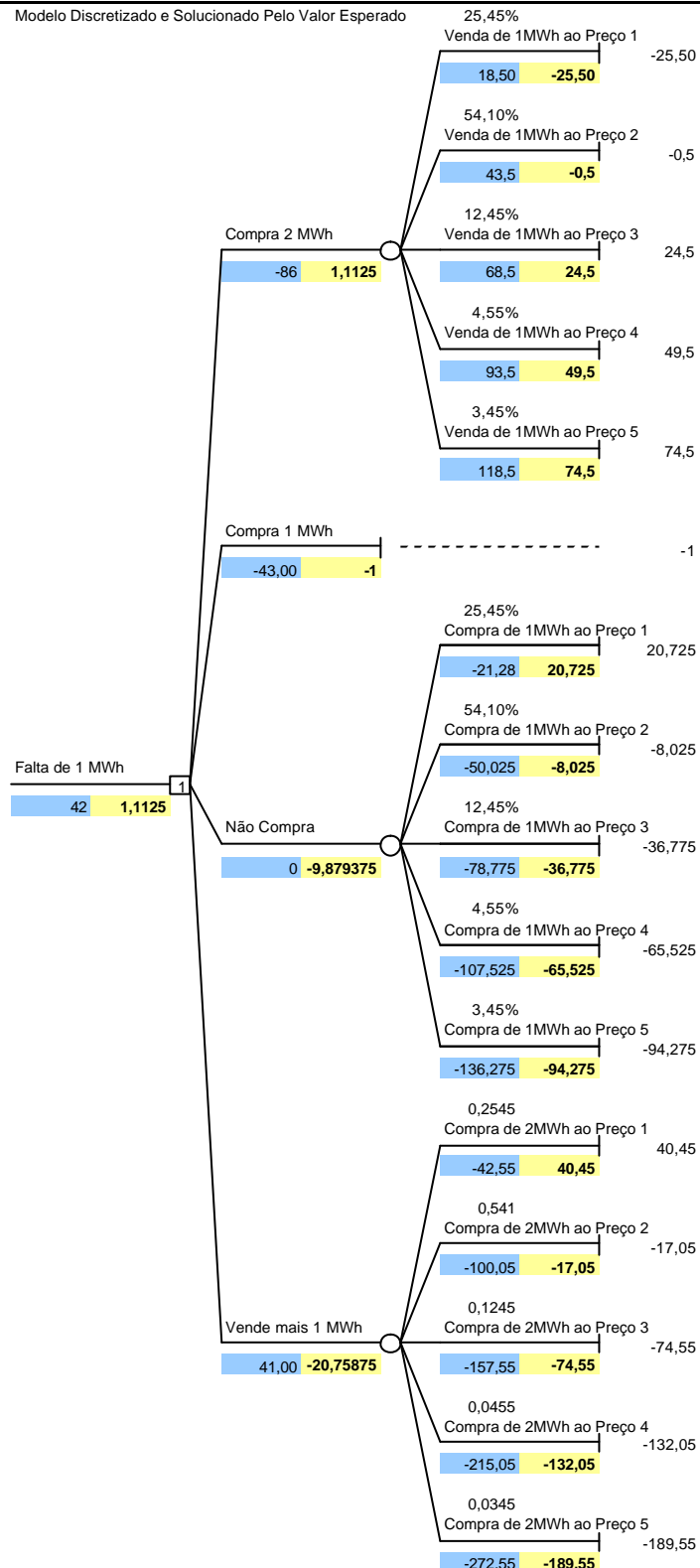


Ilustração 26 - Modelo discretizado em 5 estados

Fonte: Elaborado pelo autor

1.1 O tratamento das flexibilidades contratuais

Muitas vezes, os contratos negociados no mercado de energia prevêm uma flexibilidade no volume contratado. Isso porque os contratos de energia têm uma característica de *take-or-pay* que impõe que o valor a ser pago pelo contrato independe do volume consumido por um cliente, para o caso de um cliente livre. Isso se dá pois, como descrito anteriormente no item 0 do Capítulo II, existe uma separação entre o fluxo físico e o comercial no mercado de energia.

Com isso, e diante da dificuldade em se prever com precisão o consumo de energia para um período no futuro, os clientes livres buscam comprar contratos de energia que lhes permitam variar o volume, para mais ou para menos, visando atender o volume que de fato foi consumido, evitando uma exposição à liquidação de diferenças na CCEE e eventual pagamento de penalidade por falta de lastro, o item 1.1.1 do Capítulo II explica melhor a questão da penalidade por falta de lasto.

Por outro lado, a negociação de flexibilidades abre espaço para que o cliente possa eventualmente capitalizar parte do benefício de preços mais baixos no mercado à vista no período de consumo, preços SPOT. Além disso, uma vez que existe uma oportunidade de arbitragem entre o preço estabelecido no contrato e o preço no mercado à vista, a maximização da capitalização do benefício da arbitragem se dará quando os volumes dos contratos estiverem no mínimo, quando o preço do contrato for maior que o preço à vista, ou no máximo caso contrário. Diz-se que o cliente “puxa o máximo” quando decide pelo volume máximo do contrato e “puxa o mínimo” quando decide pelo volume mínimo. Cabe ressaltar que a decisão do volume contratado, no caso da negociação de flexibilidades, se dá após a definição dos preços à vista.

Para ilustração do funcionamento da flexibilidade contratual, pode-se utilizar o seguinte exemplo:

Variáveis		Valor
Preço dos contratos	R\$/MWh	42,00
Volume nominal	MWh	1,00
Flexibilidade	%	10%
PSPOT Max	R\$/MWh	18,33
PSPOT Min	R\$/MWh	50,00

Tabela 3 - Dados para exemplo de funcionamento das flexibilidades contratuais

Fonte: Elaborado pelo autor

Considerando ainda que a probabilidade de ocorrência da do preço máximo (R\$/MWh 50,00) e do preço mínimo (R\$/MWh 18,33) sejam iguais a 50%, a árvore de decisão do ponto de vista do pode ser desenvolvida da seguinte forma:

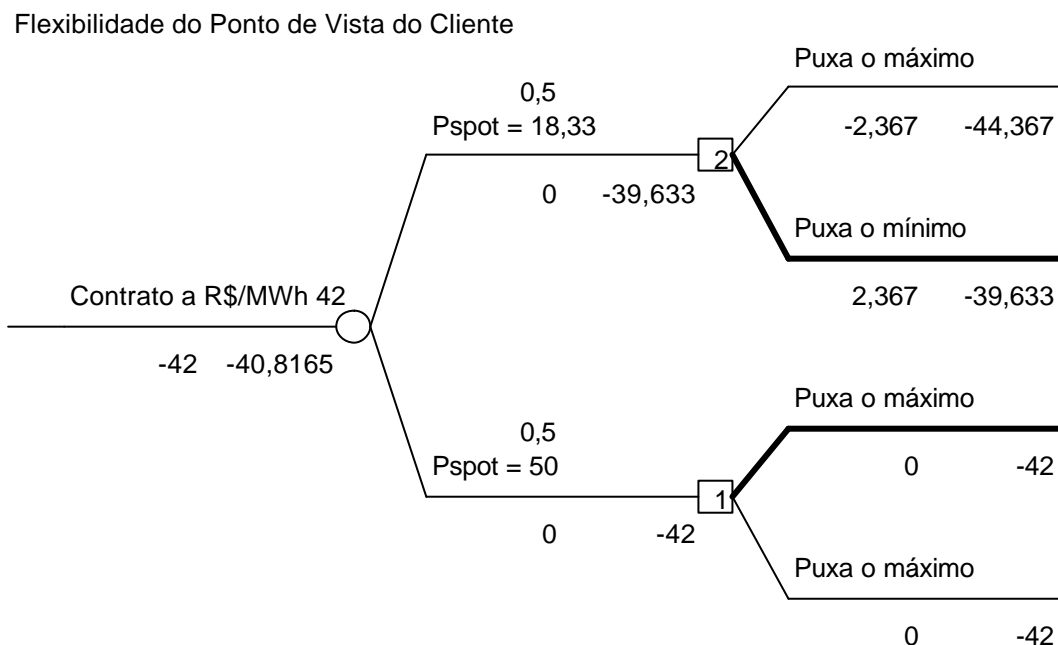


Ilustração 27 - Flexibilidades contratuais (Árvore de decisão do ponto de vista do cliente)

Fonte: Elaborado pelo autor

No problema exposto acima, fica evidente a predisposição do cliente em exercer a opção que tem direito sobre a variação no volume contratual, e sua dependência em relação ao Preço SPOT.

Avaliando o resultado da alternativa de venda de um contrato de 1 MWh ao preço de R\$/MWh 42,00 para fornecimento em 2005, com base na previsão de preços para o mesmo período, realizada em outubro de 2004, tem-se a seguinte distribuição de resultados.

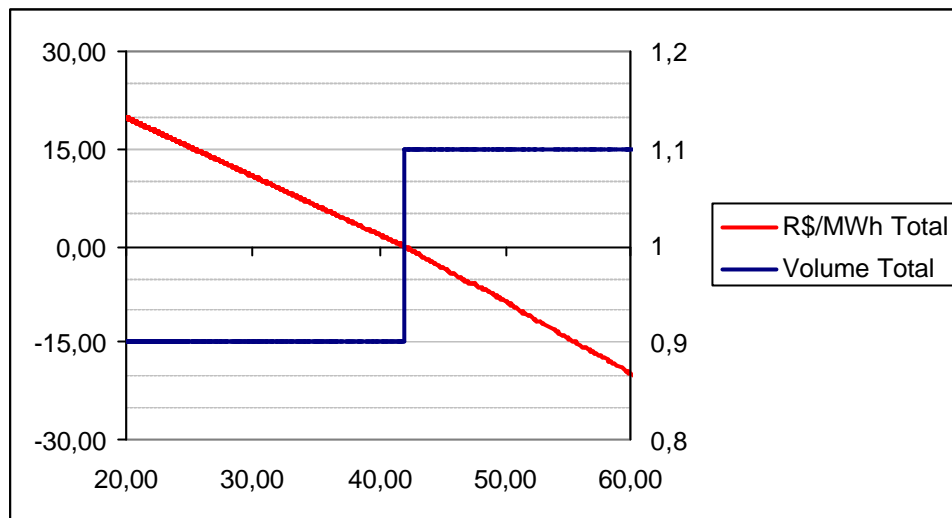


Ilustração 28 - Variação do resultado em função do Preço Spot

Fonte: Elaborado pelo autor

Por outro lado, a comercialização de flexibilidades pode ser modelada como a negociação de duas opções, uma de compra (*call*) e outra de venda (*put*). Indo mais adiante, pode-se considerar todo o volume flexível como uma única opção de compra, *call*. A Ilustração 29 mostra a decomposição da parcela flexível dos resultados obtidos na comercialização de contratos com flexibilidades.

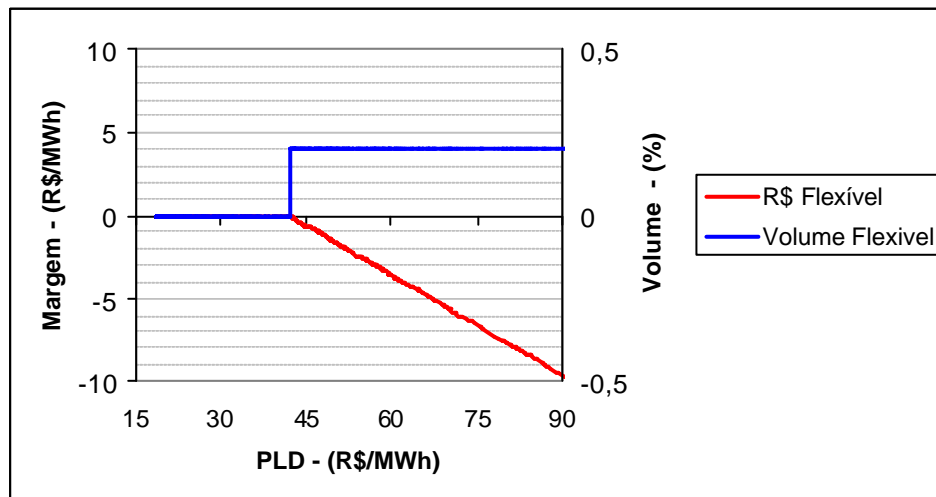


Ilustração 29 - Representação das flexibilidades

Fonte: Elaborado pelo autor

1.2 Análise de sensibilidade do tratamento probabilístico

Tendo em vista o impacto da variação do PLD sobre o problema da comercialização de energia faz-se necessário adotar um tratamento adequado à representação dessa variável.

A discretização da variável, proposta anteriormente, pode não ser adequada por não representar a totalidade da distribuição, e pela dificuldade em se avaliar a qualidade da discretização proposta.

Com isso, pode-se tentar representar toda a distribuição de PLD através dos 2.000 cenários de preços obtidos na simulação do NEWAVE¹⁴, cuja qualidade de previsão foi avaliada no item Capítulo IV.4 deste Capítulo.

Para facilitar a representação gráfica do problema, a distribuição do PLD será representada como uma variável contínua nas árvores de decisão apresentadas a seguir, contudo, a álgebra da solução considerará os 2.000 cenários possíveis. Alternativamente, poder-se-ia considerar o PLD como uma variável contínua a ajustar uma distribuição de probabilidade (Gama ou Log-normal, por exemplo). Entretanto, uma vez que os 2.000 valores já são conhecidos não há necessidade para essa operação (essa alternativa seria interessante no caso de excessiva complexidade computacional no tratamento das 2.000 séries de forma discreta).

Considerando o problema proposto no início deste Capítulo:

Posição Inicial		
Saldo Energético	MWh	-1
Saldo Financeiro	R\$	42,00
Variáveis		Base
Preço dos contratos	R\$/MWh	42,00
Spread	R/MWh	1,00
Ágio	%	115%

Tabela 4 - Dados para o problema considerado de forma exaustiva

Fonte: Elaborado pelo autor

E considerando os 2.000 cenários de preços previstos para o ano de 2005 em outubro de 2004, mostrados na Ilustração 24, tem-se o seguinte problema:

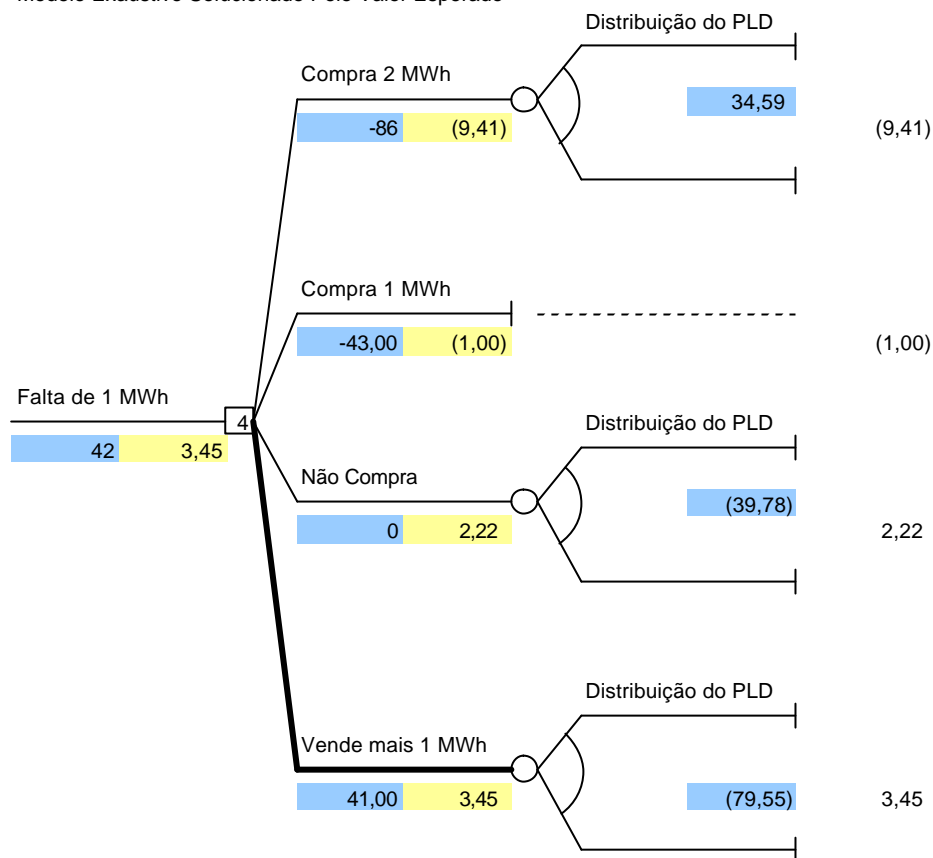


Ilustração 30 - Modelo de decisão com exploração exaustiva dos 2000 cenários de preços

Fonte: Elaborado pelo autor

Neste caso, pode-se observar a equivalência entre o modelo exaustivo solucionado pelo valor médio, e o modelo determinístico considerando o valor esperado do PLD. A melhor alternativa é o aumento da exposição, obtendo-se um resultado de R\$ 3,45.

Por outro lado, o modelo permite a avaliação através de outros atributos, como por exemplo o risco associado à cada uma das alternativas.

A avaliação do risco pode ser efetuada de diversas maneiras, a aqui proposta utiliza o conceito proposto por Guth&Sepetys (2001) de *Profit-at-Risk* (PaR) calculado como a diferença ente o pior cenário com uma confiabilidade de 5% e o valor esperado da decisão. O conceito de *Profit-at-Risk* deriva do *Value-at-Risk* (VaR) proposto por Jorion (1997).

A Ilustração 31 mostra a forma de cálculo do PaR para a alternativa de aumento da exposição proposta no problema anterior.

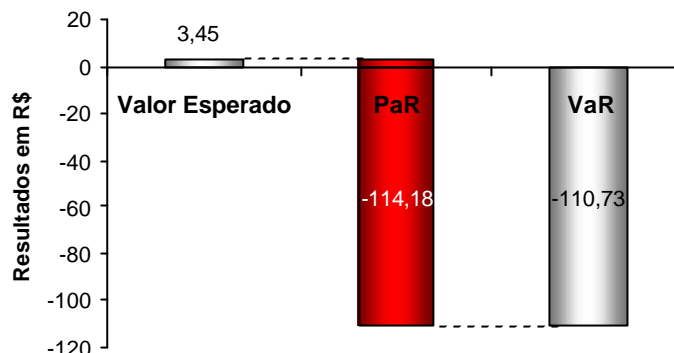


Ilustração 31 – Cálculo do PaR

Fonte: Elaborado pelo autor

A dimensão do risco envolvido na solução, e a não contemplação da questão do risco na avaliação considerando apenas o valor médio, torna evidente a pobreza desta forma de análise.

Uma alternativa seria a consideração do PaR na avaliação e adoção de um modelo multi-critério para definição da melhor alternativa. Keeney (1976), define alguns modelos de abordagem do problema de decisão multi-critério.

Considerando que o objetivo principal o retorno financeiro, pode-se modelar o problema de decisão com da seguinte forma.

$$\begin{aligned} \text{Min PaR} & \quad (1) \\ \text{s.t. Retorno Esperado} & \geq 0 \end{aligned}$$

Contudo, essa forma não está coerente com o modelo de gestão de risco adotado pela empresa, que define limites de exposição para a carteira, e também para cada operação efetuada pela empresa.

A política de risco da empresa estabelece um limite para o valor percentual para o PaR em função do resultado esperado. Com isso, a empresa garante não estar comprometendo uma parte do resultado do período.

Por questões sigilosas, o valor percentual para o limite operacional será alterado para efeitos deste trabalho.

Considerando a questão de adequação ao limite como restrição ao problema de decisão, tem-se a seguinte fórmula:

$$\begin{aligned} & \text{Max Retorno Esperado} \\ & \text{s.t. } \frac{\text{PaR}}{\text{Retorno Esperado}} \geq \text{Limite} \end{aligned} \quad (2)$$

Tomando-se essa formulação na avaliação do problema anterior, e considerando um limite de 500% para o PaR obtém-se a seguinte solução para o problema, os índices “RE” indicam o valor esperado de cada alternativa, ao passo que o PaR representa o valor percentual do PaR sobre o resultado esperado:

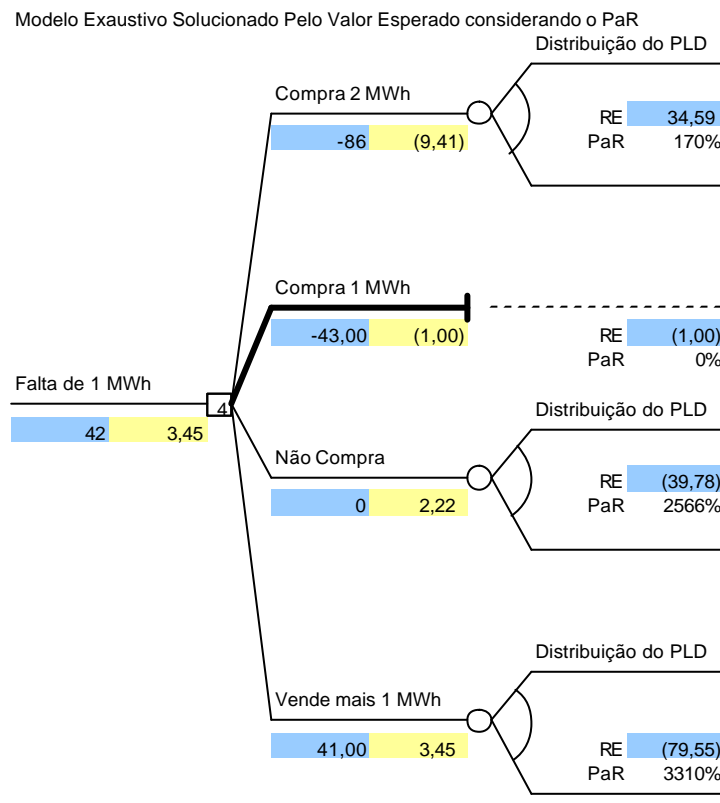


Ilustração 32 - Problema de decisão considerando o PaR

Fonte: Elaborado pelo autor

Nota-se que a melhor decisão passa ser o fechamento da posição através da compra de 1 MWh a R\$/MWh 43,00.

2. O tratamento da aversão ao risco

Com vistas a representar adequadamente à exposição ao risco pode-se utilizar como critério de decisão o equivalente determinístico de cada alternativa, determinado através da curva de preferência do decisor.

Para o levantamento da curva de preferência foram adotadas as seguintes premissas.

- ☐ O domínio da função deve estar entre 0 e 1 – essa premissa não influi no processo de tomada de decisão, uma vez que a despeito dos valores obtidos na avaliação do equivalente determinístico, o mais importante é a forma da curva, para a tomada de decisão
- ☐ O decisor tem um perfil de aversão ao risco decrescente;
- ☐ A curva de aversão é crescente;
- ☐ A curva de preferência é côncava – o que representa a aversão ao risco por parte do decisor;

Seguindo o método dos cinco pontos proposto por Keeney (1976) para determinação da curva de preferência.

Estipula-se o valor mínimo máximo da curva de preferência:

$$u(x_{\min}) = 0 \text{ e } u(x_{\max}) = 1 \quad (1)$$

A Ilustração 33 mostra uma loteria hipotética utilizada na arguição do decisor para levantamento da curva de preferência. No caso, foram utilizados os resultados do problema determinístico mostrado anteriormente para determinação dos valores de x_{\min} e x_{\max} iniciais, para determinação do equivalente determinístico $x_{0.5}$. Em seguida, foi-se determinando os valores de $x_{0.75}$ e $x_{0.25}$ através de um processo iterativo, substituindo os valores de x_{\min} e x_{\max} à medida que os novos limites eram estabelecidos.

Loteria hipotética para levantamento da Curva de Preferência

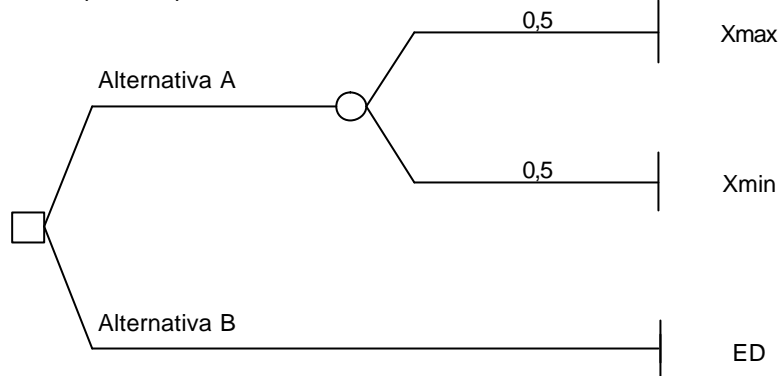


Ilustração 33 - Loteria hipotética para levantamento da curva de preferência

A Tabela 5 exibe os resultados obtidos no levantamento dos 5 pontos da curva.

Iteração	Xmax	Xmin	ED	u(ED)
1		-42,23	-42,23	0
2	23,67		23,67	1
3	23,67	-42,23	0	0,5
4	23,67	0	15	0,75
5	-42,23	0	-15	0,25

Tabela 5 - Pontos definidos com a arguição do decisor

Fonte: Elaborado pelo autor

Considerando que a curva é côncava, crescente e com aversão ao risco decrescente, uma aproximação possível para a curva de preferência dar-se-á através da equação (2).

$$u(x) = h + k(-e^{-ax} - be^{-cx}) \quad (2)$$

A solução do sistema de equações revela os seguintes valores para os parâmetros h, k, a, b e c;

k	h	b	c	a
1,38	13,88	8,72	1,E-03	1,E-03

Tabela 6 - Parâmetros da curva de preferência

Fonte: Elaborado pelo autor

A Ilustração 34 mostra um comparativo entre a curva de preferência ajustada aos pontos da Tabela 5 e uma curva de um decisor indiferente ao risco.

Osvalore

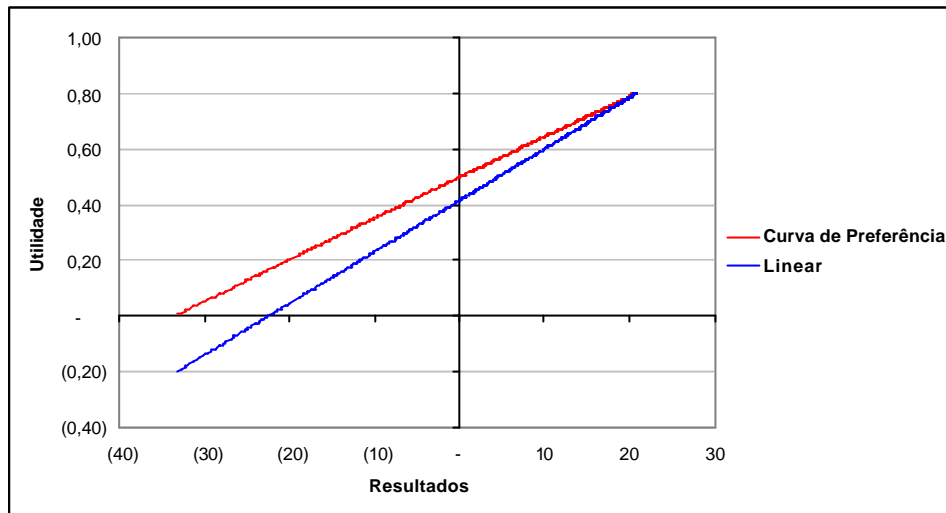


Ilustração 34 - entre a curva de preferência e a curva indiferente ao risco

Fonte: Elaborado pelo autor

2.1 Utilização da curva de preferência no modelo de decisão.

A utilização da curva de preferência no modelo de decisão se dá através da utilização do equivalente determinístico como parâmetro de comparação entre as alternativas.

A definição do equivalente determinístico, com base na curva de preferência, utiliza o processo descrito no item 0 do Capítulo III.

1. Para um cada dos 2.000 resultados possíveis de cada elo de incerteza é atribuída uma utilidade, calculado segundo a fórmula (2);
2. Em seguida determina-se o valor médio da utilidade de cada decisão;
3. Volta-se então à curva de preferência e calcula-se o equivalente determinístico (ED) da decisão;
4. Comparam-se os diversos valores de ED para as alternativas e escolhe a melhor.

A Ilustração 35 mostra a árvore de decisão para o problema proposto no item 1.2 deste Capítulo.

Modelo Exaustivo utilizando a curva de preferência

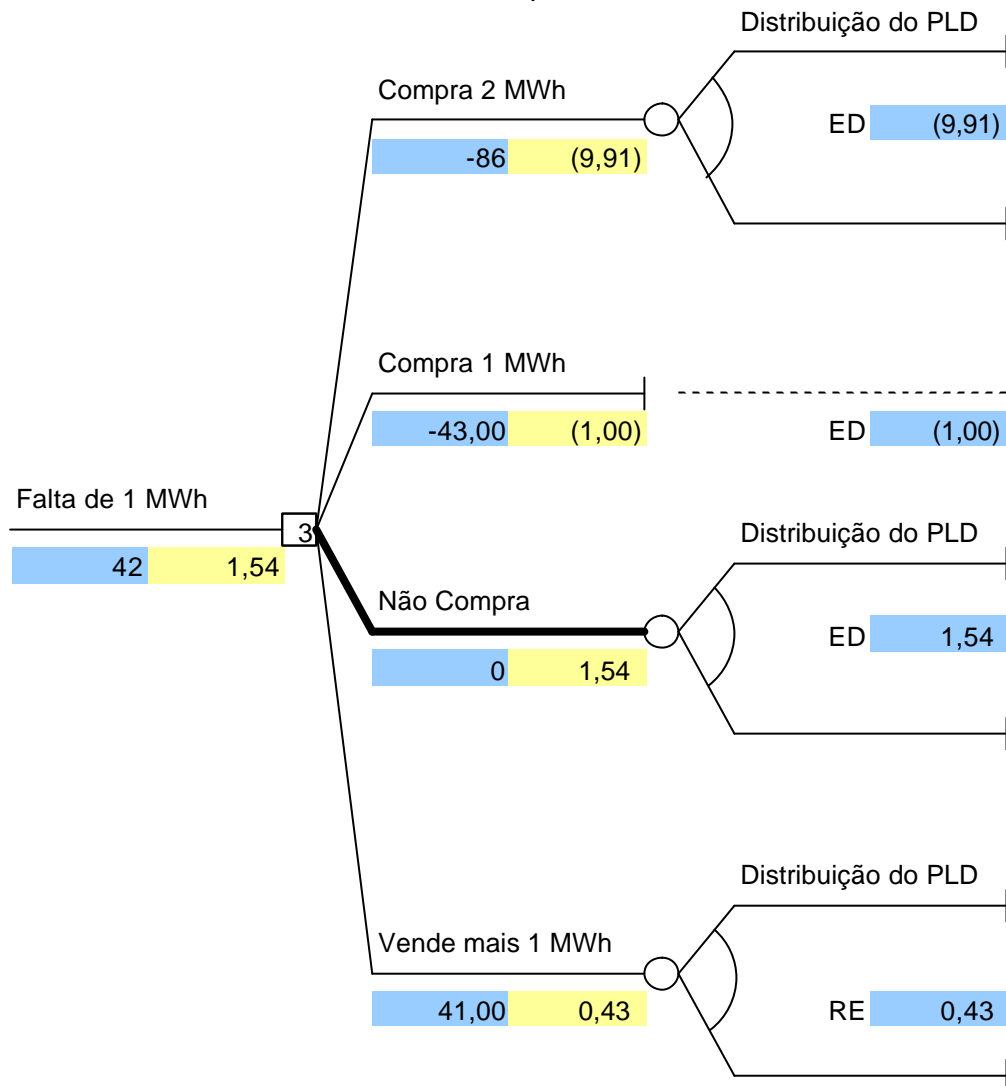


Ilustração 35 - Problema de Comercialização considerando a curva de preferência

Fonte: Elaborado pelo autor

O efeito da não linearidade da curva de preferência pode ser observado na decisão proposta com esta abordagem. Apesar da melhor alternativa corresponder à exposição da posição, o modelo não indica que a exposição atual deva ser expandida, ao contrário do que se poderia pensar de forma intuitiva, evidenciando o impacto do risco sobre a decisão

3. Modelo proposto

A fim de selecionar, dentre os modelos apresentados até aqui, o que mais fielmente representa a realidade, sem contudo implicar em excessivo trabalho operacional requer a definição de alguns parâmetros de comparação.

Conforme apresentado no início deste Capítulo, o modelo deve representar corretamente a incerteza do PLD. Além disso, devem-se tratar adequadamente as flexibilidades contratuais, considerando-as como negociações de opções (*calls*). Por outro lado, o critério de decisão deve contemplar o risco envolvido em cada uma das alternativas.

Dentre os modelos apresentados, os modelos que tratam a variação do PLD através da pesquisa exaustiva dos 2.000 cenários possíveis se mostraram mais adequados, e dentre estes, o que utiliza a curva de preferência, e o equivalente determinístico como critério de decisão, foi o que melhor capturou a aversão ao risco por parte da empresa. O modelo com o critério do valor esperado se muito agressivo, ao passo que o que considera o PaR como um segundo critério de decisão se mostrou excessivamente conservador.

A Ilustração 36 mostra o modelo proposto para a análise da decisão, evidenciando o tratamento da flexibilidades contratuais.

A inexistência de ramos para cada um dos elos seguintes à definição do PLD indica que a representação gráfica do modelo pode ser simplificada, sem que se perdas de modelagem.

Com isto, chega-se ao modelo proposto na Ilustração 37.

Aqui foi representada apenas a parte inferior da árvore de decisão original, que também contempla uma situação inicial em carteira oposta, e decisões análogas,

Ramos finais considerando as flexibilidades contratuais

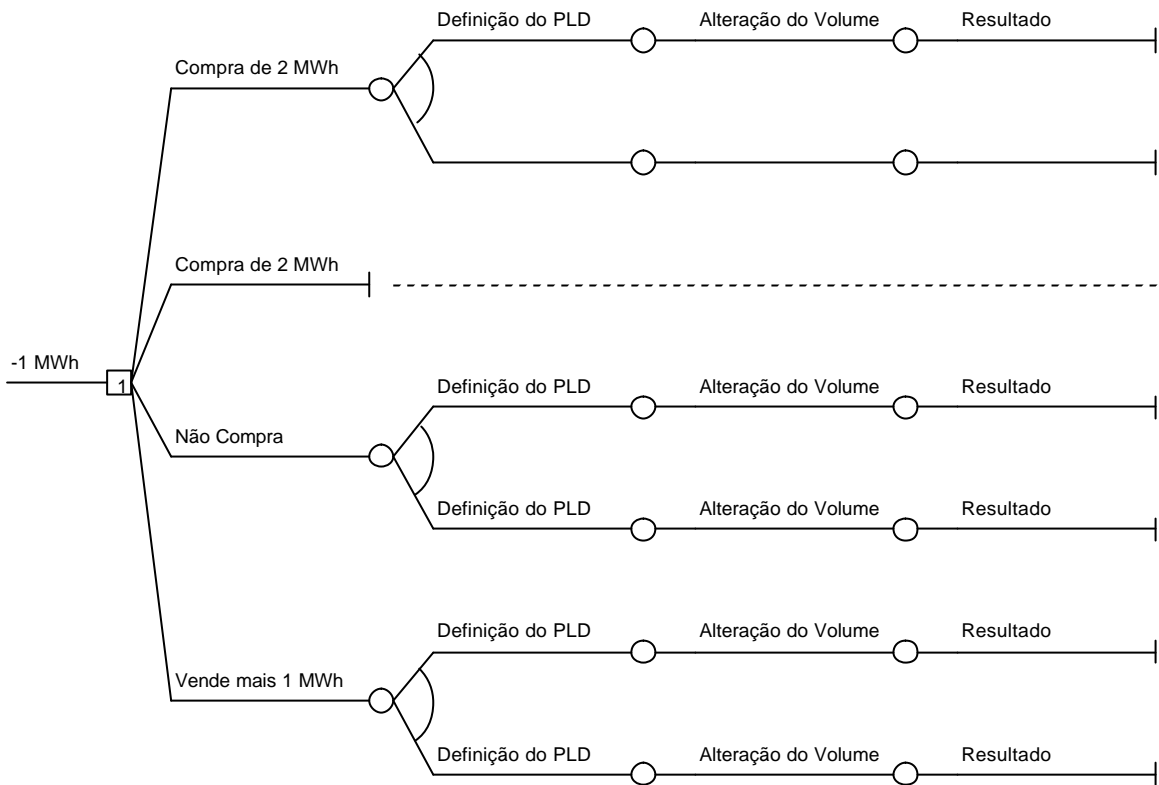


Ilustração 36 - Modelo Proposto - na forma extensa

Fonte: Elaborado pelo autor

Modelo simplificado

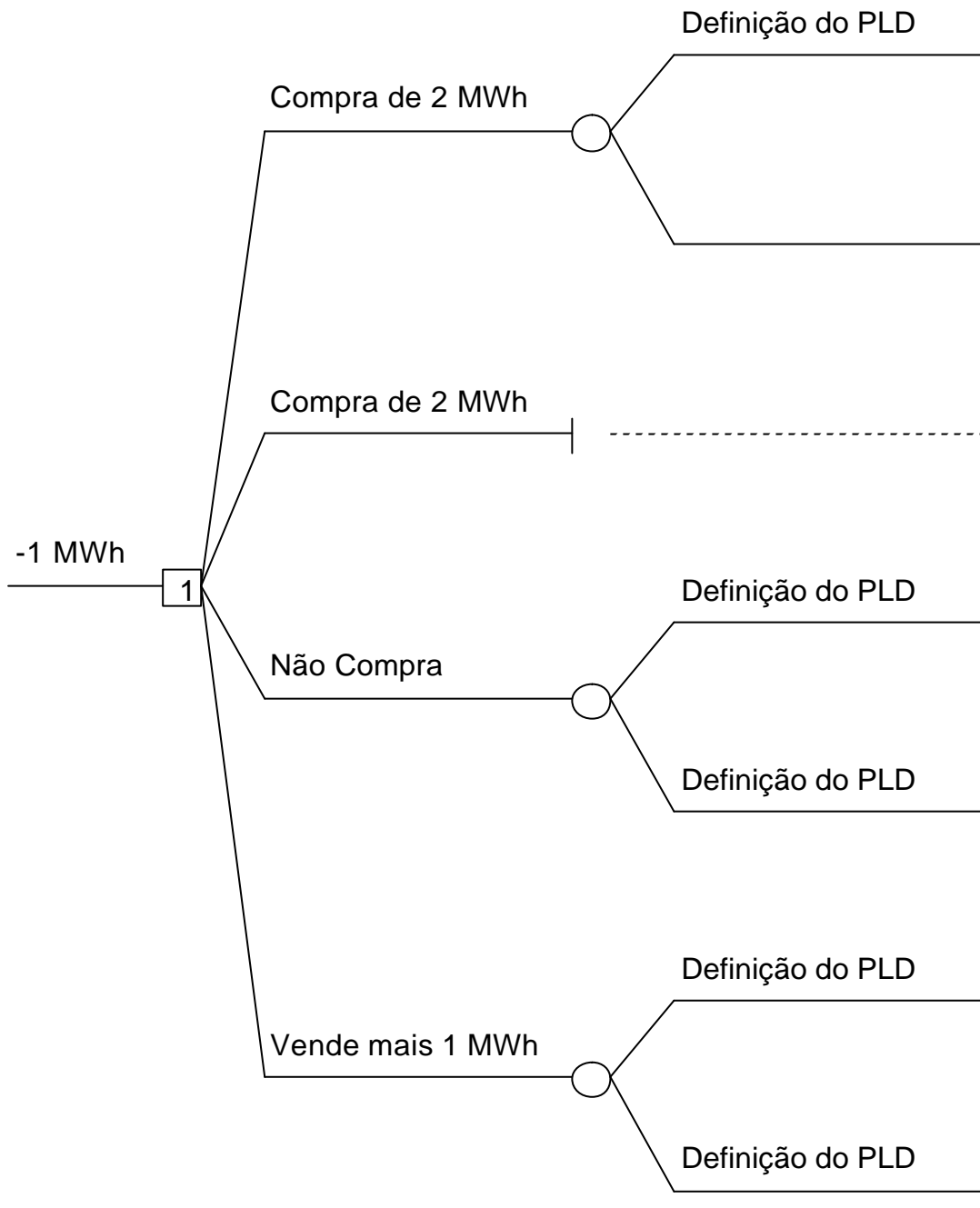


Ilustração 37 - Modelo Proposto - forma de simplificada de de representação

Fonte: Elaborado pelo autor

Capítulo VII.

Resultados e Análises

1. Avaliação do método proposto

O modelo proposto neste trabalho buscou englobar os diversos aspectos que norteiam a decisão de comercialização de energia. Para isso, adotou-se um caso base, desenvolvido a partir de um cenário real de preços, porém com uma carteira hipotética (no caso uma posição vendida em 1 MWh a R\$/MWh 42,00).

A fim de avaliar o modelo, levantou-se o histórico de outras previsões de preços, bem como de propostas apresentadas à empresa durante o ano de 2004.

A Tabela 7 mostra os casos aos quais o modelo será testado. Cada um dos casos têm associada uma previsão de PLD feita à época da apresentação da proposta.

	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Posição Inicial	Vendida	Vendida	Vendida	Vendida	Vendida
Proposta					
Mês apresentada	jan/04	jan/04	mar/04	jun/04	nov/04
Fornecimento	2004	2004	abr/04 a set/04	jan05 a jun/05	jan/05 a jun/05
Volume MWh	1	1	1	1	1
Flexibilidade %	15%	0%	10%	20%	0%
Preço R\$/MWh	27	30,5	27	41,5	42
Condições de mercado					
Preço dos contratos R\$/MWh	30,5	30,5	28	42,00	40,00
Spread R/MWh	1	1	0,5	6	2
Ágio %	115%	115%	115%	115%	125%
PLD histórico médio do período	19,03	19,03	18,59	25,13	25,13

Tabela 7 - Casos exemplo para validação do modelo

Fonte: Elaborado pelo autor

A fim de se aumentar a familiaridade com o modelo, para efeito de validação, foram consideradas todas as decisões possíveis, tal qual no capítulo anterior, e não apenas a decisão de concretização ou não do negócio apresentado no Caso.

As páginas seguintes mostram as soluções de cada um dos casos.

Caso 1

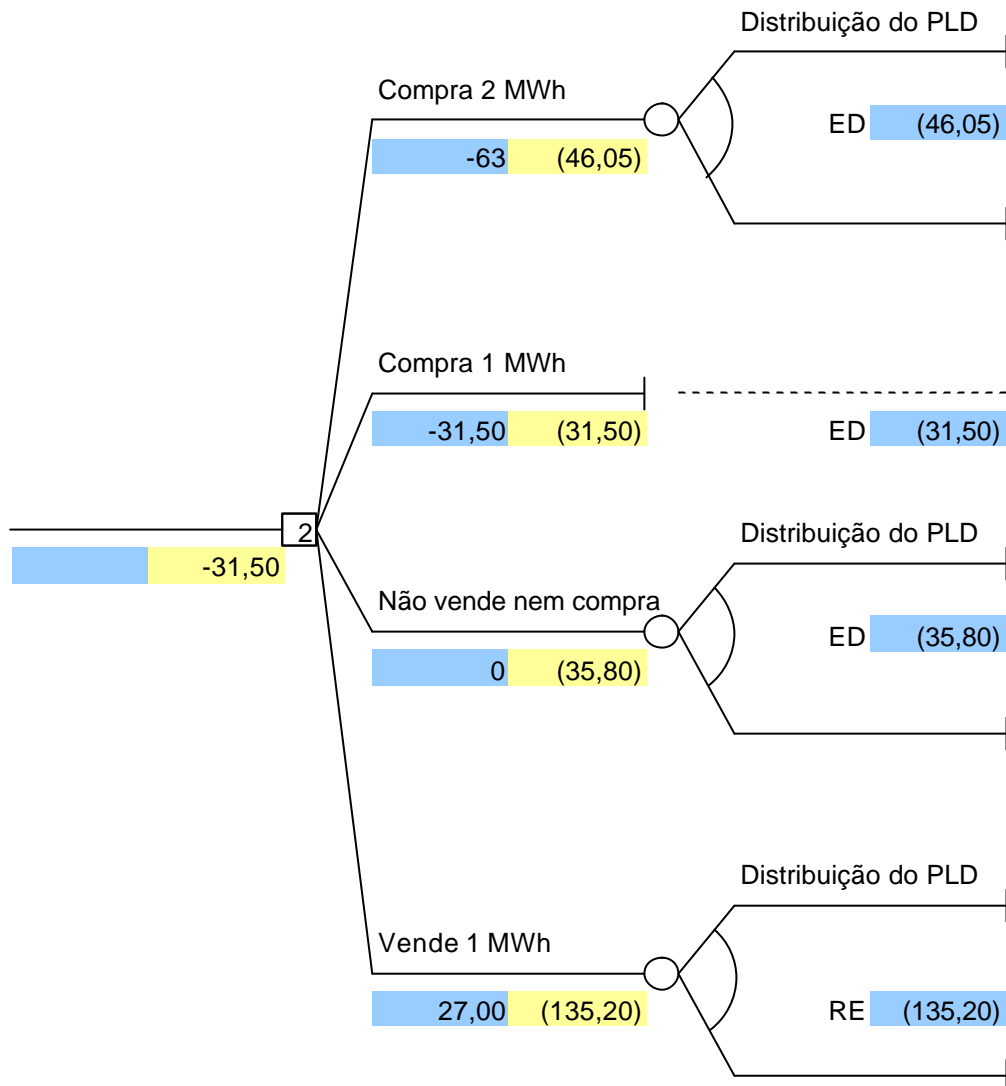


Ilustração 38 - Solução do Caso 1

Fonte: Elaborado pelo autor

Neste caso, a melhor decisão indicada pelo modelo foi o fechamento da posição, e dentre todas as alternativas, a proposta apresentada foi a que obteve o pior resultado.

Caso 2

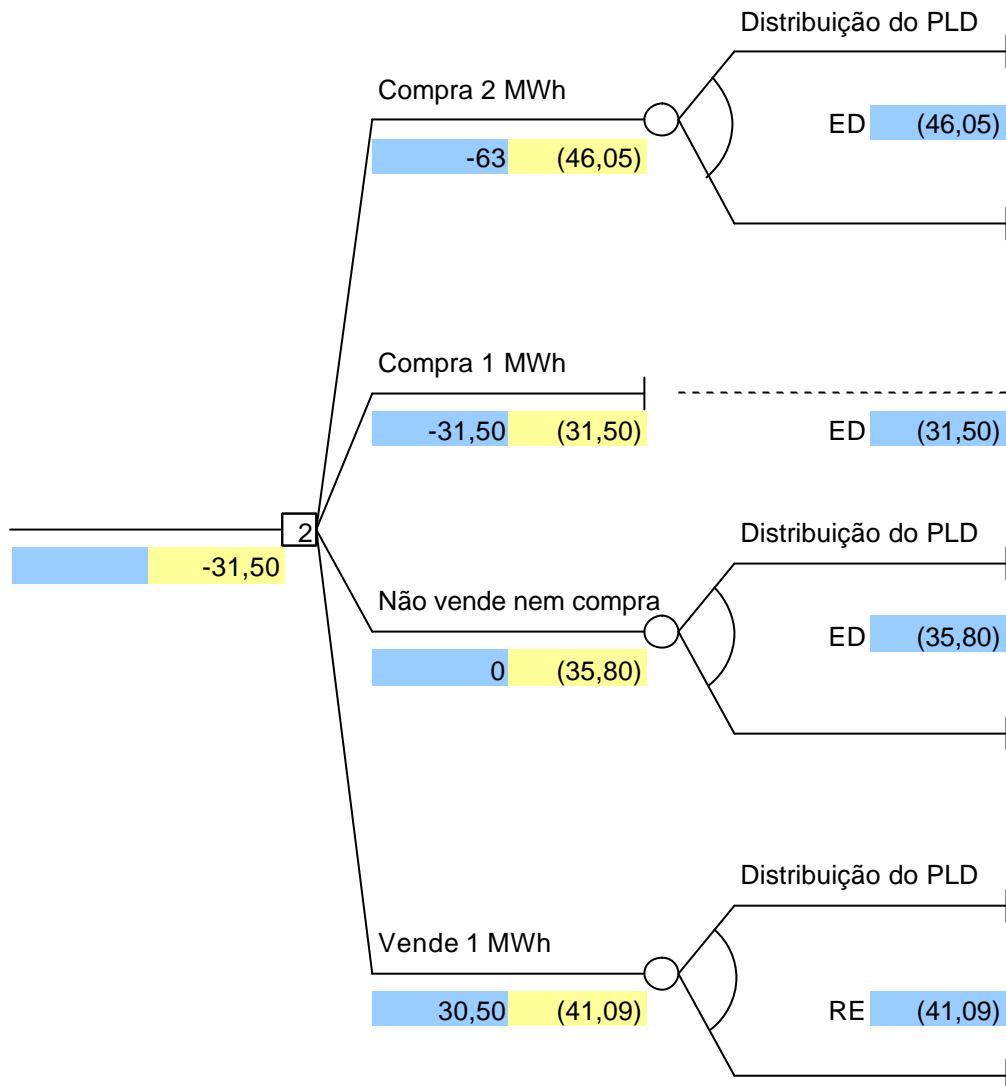


Ilustração 39 - Solução do Caso 2

Fonte: Elaborado pelo autor

Mais uma vez, o modelo indicou o fechamento da posição como a melhor decisão a ser tomada. Vale ressaltar que esse Caso tem o mesmo cenário de previsão de preços que o Caso 1, com exceção da flexibilidade e do preço do contrato avaliado.

Caso 3

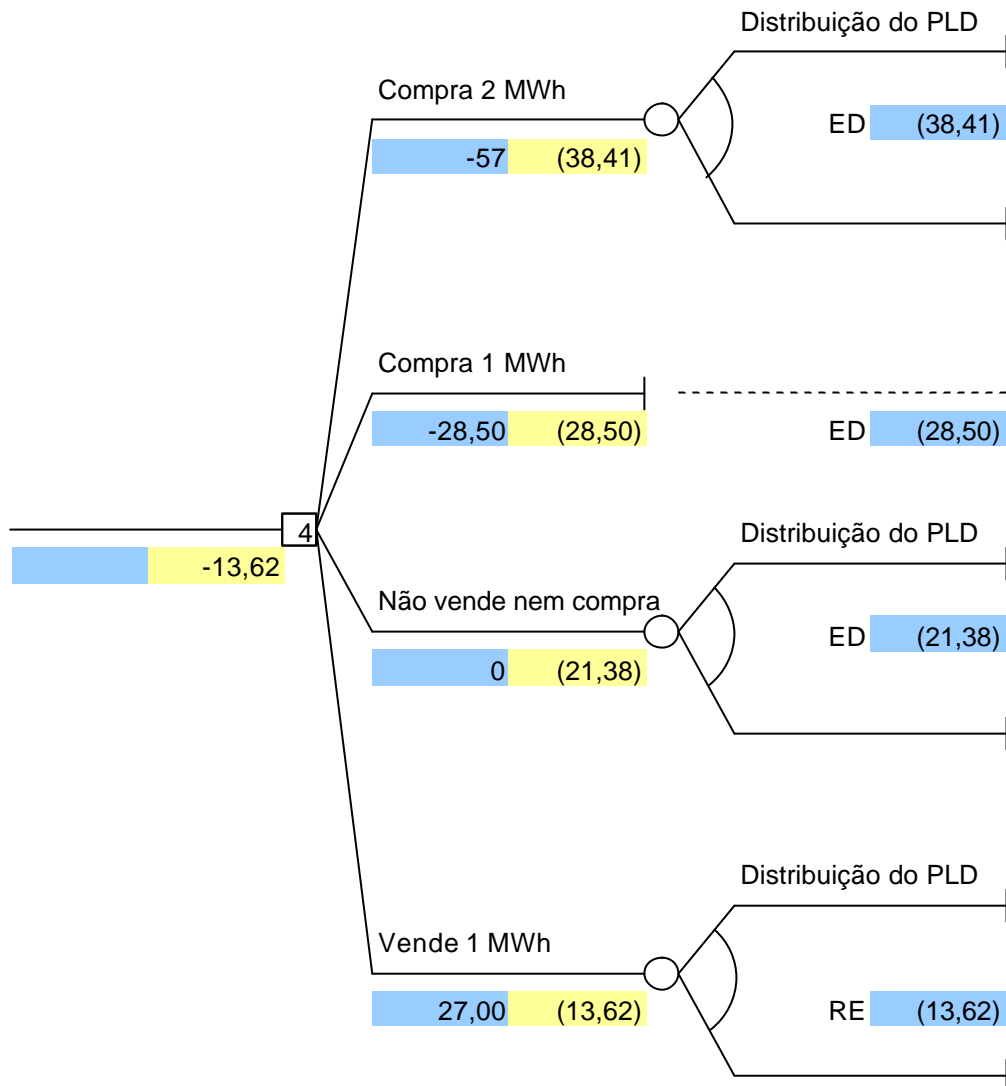


Ilustração 40 - Solução do Caso 3

Fonte: Elaborado pelo autor

Aqui, a decisão indicada pelo modelo é a da concretização do contrato. Aumentando a exposição em carteira, e buscando aproveitar as oportunidades de preços de baixos Preços SPOT .

É interessante notar que por conta da não atribuição de um valor financeiro para a posição inicial da carteira, e tendo em vista que se trata de uma carteira vendida, portanto o volume de compra de energia será sempre maior ao volume de venda, para o fechamento da posição, os valores obtidos para o equivalente determinístico é sempre menor do que zero.

Caso 4

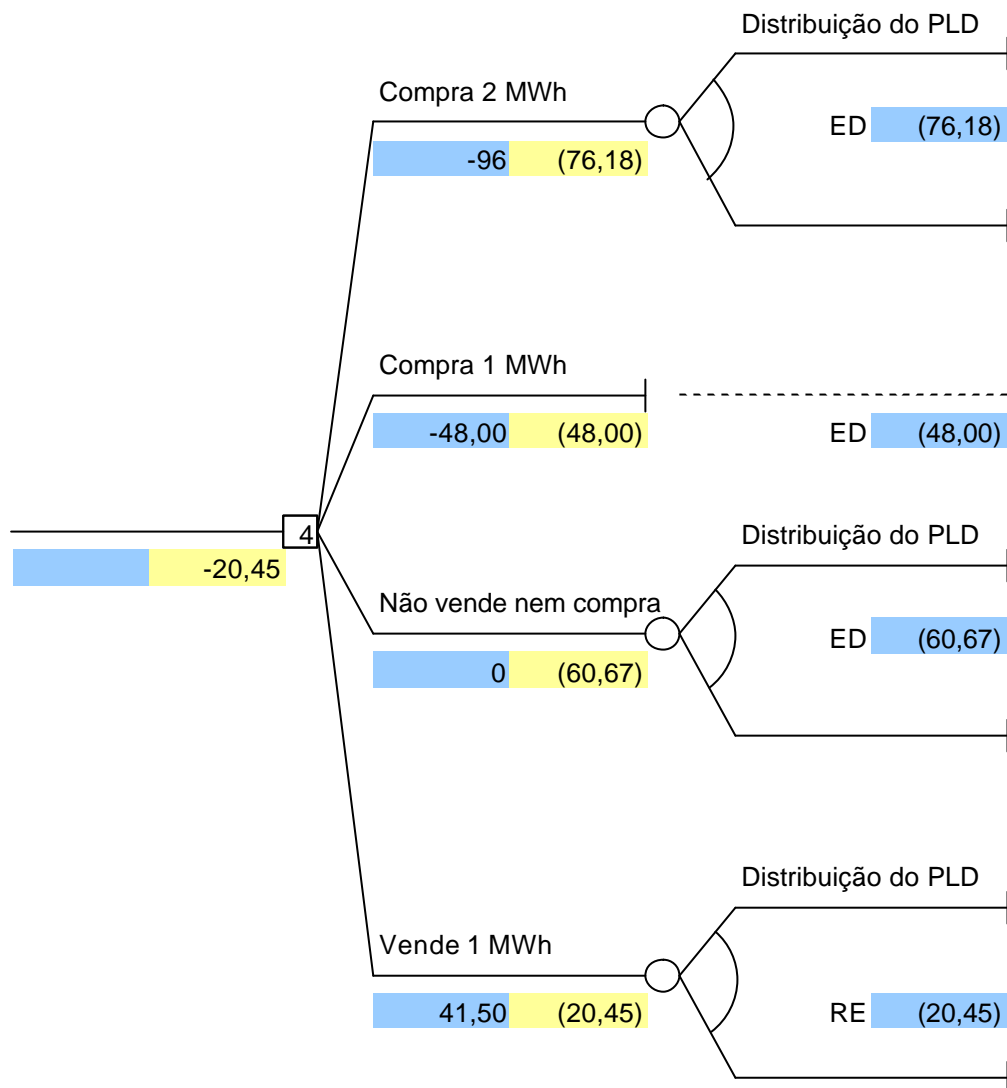


Ilustração 41 - Solução do Caso 4

Fonte: Elaborado pelo autor

Mais uma vez, o modelo indicou o aumento da exposição em carteira. É interessante notar que o valor atribuído à distribuição do PLD é de R\$/MWh 60,67 e que o preço dos contratos de compra à época estavam em R\$/MWh 48,00. Ainda assim o aumento da exposição ao preço de R\$/MWh 41,50 é mais interessante que o fechamento da posição. Isso se dá por conta da assimetria da distribuição da previsão de preços.

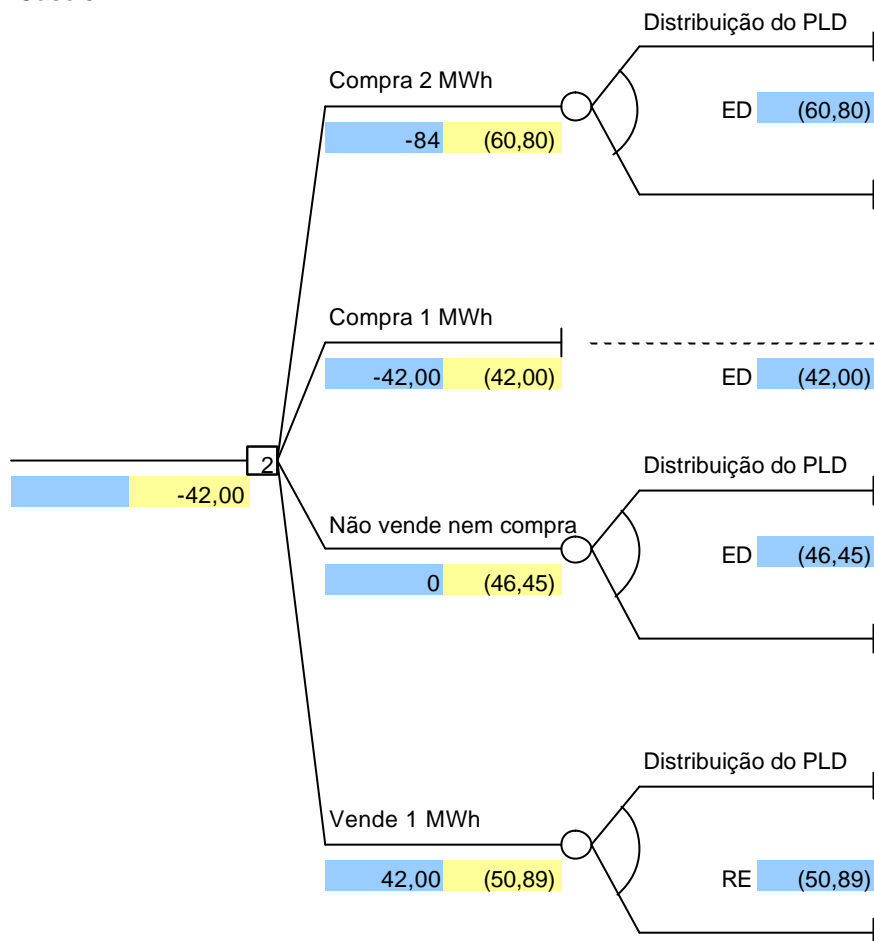


Ilustração 42 - Solução do Caso 5

Fonte: Elaborado pelo autor

O modelo propõe o fechamento da posição aberta e não concretização da proposta apresentada no Caso 5.

A tabela abaixo mostra o quadro comparativo entre as decisões propostas nos casos acima com as decisões históricas da empresa

	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Solução Proposta	Fechar posição	Fechar posição	Aumentar Exposição	Aumentar Exposição	Fechar a posição
Valor indicado	-31,50	-31,50	-13,62	-20,45	-42,00
Decisão histórica	Aumentar a exposição	Esperar liquidação	Esperar liquidação	Aumentar Exposição	Fechar a posição
PLD Histórico	19,03	19,03	18,59	25,13	25,13
Resultado da decisão indicada	-31,50	-31,50	-16,32	-18,82	-42,00
Resultado da decisão histórica	-21,88	-21,88	-21,38	-18,82	-42,00

Tabela 8 - Validação do modelo

Fonte: Elaborao pelo autor

Os resultados se mostraram satisfatórios e adequados às decisões históricas

2. Determinação do valor da informação perfeita

A complexidade na análise da decisão de comercialização de energia está na incerteza quanto aos preços futuros do mercado à vista, preço spot. Hoje em dia, as empresas do setor utilizam os cenários de simulação oriundos do Newave como fonte de previsão.

Com isso, todas as empresas trabalham com os mesmos cenários, e têm as mesmas expectativas, diferenciando-se apenas na aversão ao risco na precificação dos contratos.

Uma alternativa para aprimorar o modelo seria o investimento em modelos de previsão, de preços ou de afluências visto que os dois têm uma forte correlação, a fim de melhorar a confiabilidade do previsor.

Para se determinar o quanto vale uma previsão com 100% de acerto, deve-se calcular o valor esperado da informação perfeita (VEIP).

Para tanto, basta avaliar qual seria a melhor decisão para cada cenário de PLD e extrair o valor médio das decisões tomadas. O valor da informação será a diferença entre a decisão considerando o PLD incerto.

A Ilustração 44 mostra a árvore de decisão para o cálculo do VEIP.

Considerando o problema:

Posição Inicial		
Saldo Energético	MWh	-1
Saldo Financeiro	R\$	42,00
Variáveis		Base
Preço dos contratos	R\$/MWh	42,00
Spread	R/MWh	1,00
Ágio	%	115%

Ilustração 43 - Dados para o cálculo do Valor Esperado da Informação Perfeita

Fonte: Elaborado pelo autor

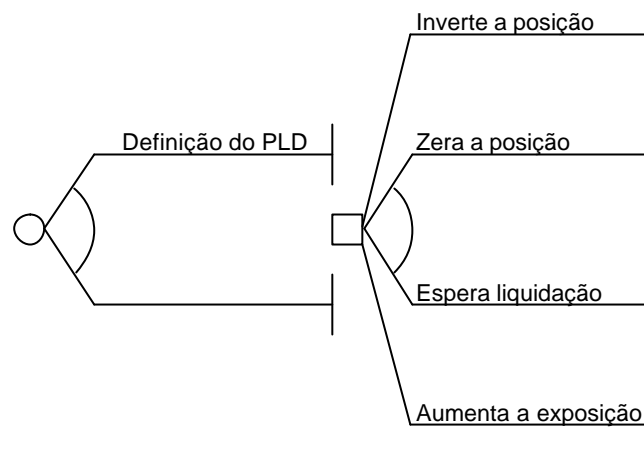


Ilustração 44 - Árvore de decisão para o cálculo da Valor Esperado da Informação Perfeita

Fonte: Elaborado pelo autor

O resultado obtido com a informação perfeita é de 29,13. Comparando-se com o resultado obtido anteriormente, 1,54. Vê-se que o valor da informação perfeita é de R\$/MWh 27,59.

Capítulo VIII.

Conclusões

1. Utilização do modelo com outras finalidades

Ao analisar a decisão sobre a negociação de um determinado contrato, estão sendo avaliadas as condições de mercado, dadas pela previsão dos preços do mercado à vista, bem como dos parâmetros estabelecidos no contrato.

Com isto, pode-se avaliar a partir de que preço de contrato a decisão de concretização do negócio passa a ser a melhor alternativa.

Esta técnica de precificação é semelhante à utilizada hoje pela empresa, exceto pelo tratamento do critério da decisão com base na curva de preferência, e pela forma de apresentação dos cálculos.

Outro aspecto interessante do modelo de análise da decisão é que este pode auxiliar na avaliação, e elaboração, de estratégias de posicionamento da carteira, comprado ou vendido, em virtude de uma simulação da previsão futura dos preços. No Capítulo III existe uma explanação sobre este tema.

Esta utilização só é válida, no entanto, ao considerar o todo o problema e a posição da carteira como uma variável de decisão. Dessa forma, o modelo indica qual o posicionamento a empresa deverá ter no futuro em função dos cenários de preço.

2. Análise crítica do modelo

Apesar de ter apresentado resultados coerentes e compatíveis com o histórico de decisões tomadas pela empresa, existem muitas melhorias a serem implementadas.

Como exemplo, toma-se a situação vigente no setor elétrico nos dias de hoje. Existe uma crise de abastecimento de gás no país, e os preços da energia estão apresentando uma volatilidade bastante grande para os anos de 2005 a 2009. Não bastasse isso, existem ainda algumas indefinições quanto à definição das regras de contratação e penalidades por insuficiência de lastro. Por outro lado, os reservatórios de água estão vertendo (deixando que água passe pela usina sem haja geração de energia, causando desperdício) por

conta do grande volume de água armazenada. E finalmente, as empresas privadas de geração de energia estão com sua capacidade de comercialização de contratos esgotada, restando apenas alguns poucos agentes atuando na venda de contratos, o que reduz a liquidez do mercado.

Um decisor considera todos esses parâmetros na avaliação de contratos futuros, e toma sua decisão com base também nesses fatores, e não apenas na previsão de preços futuros que não consegue captar todos esses aspectos.

Uma sofisticação cabível ao modelo seria a incorporação destes aspectos na escolha da alternativa ótima. Existem alguns métodos que prevêem a intervenção do decisor sobre as variáveis de controle, um deles é a adoção de probabilidades subjetivas às incertezas. No caso do modelo aqui proposto poderia ser dado um tratamento aos 2000 cenários de preços atribuindo uma probabilidade para cada um deles e não mais os considerando equiprováveis.

Capítulo IX.

Referências Bibliográficas

1. Referências Bibliográficas

CONTADOR, J. C. Gestão de operações: a engenharia de produção a serviço da modernização da empresa. São Paulo : Edgard Blucher, 1997.

DOUGLAS, J. Buying and selling power in the age of competition. IEEE Power Engineering Review, 1994. 11.

FITZSIMMONS, J. A., FITZSIMMONS, M. J., Administração de services: Operações, estratégias e tecnologia de informação. Bookman: Porto Alegre, 2000.

GUTH, LOUIS, SEPETYS KRISTINA. Value at Risk: Variations on a theme. Global Energy Business, 2001. 3: p. 12-19.

HOLLOWAY, CHARLES. Decision making under uncertainty: models and choices. Englewood Cliffs : Prentice-Hall, 1979.

HAMMOND, J. S. Better decisions with preference theory. Harvard Business Review, 1967. 12: p. 123-141.

HAMMOND, J. S., KEENEY, R. & RAIFFA, H. The hidden traps in decision making. Harvard Business Review, 1998. 11.

JORION, PHILIPPE. Value at Risk: A nova fonte de referência para o controle do risco de Mercado. São Paulo: Bolsa de Mercadorias & Futuros (BM&F), 1998.

KEEFER, D. L. Facilities evaluation under uncertainty: pricing a refinery. Interfaces, 1995. 25(6): p. 57-66.

KEEFER, D. L. F. B. SMITH JR., H. B. BACK. Development and use of a modeling system to aid a major oil company in allocating bidding capital. Operations Research, 1991. 39: p. 28-41.

KEENEY, R. L. & RAIFFA, H. Decision with multiple objectives: Preferences and value trade-offs. John Wiley & Sons, Inc. New York, 1976.

KIDD, J. B., PRABHU S. P. A practical example of a multi-stage decision aiding technique. Omega, The international Journal of Management Science, 1990. 18: p. 139-149.

KOTLER, PHILIP. Administração de marketing : análise, planejamento implementação e controle. São Paulo: Atlas, 1998.

LEME, R. A. S. Engenheiros e economistas no campo da produção. São Paulo: [s.n], 1961.

MARTINEZ, L. M. Políticas de controle malha fechada e malha aberta no planejamento da operação energética de sistemas hidrotérmicos. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2001.

RAIFFA, HOWARD. Teoria da decisão : Aulas introdutórias sobre escolhas em condições de incerteza. Petrópolis: Vozes, 1977.

SANTOS, L. C. Projeto e análise de processos de serviços: avaliação de técnicas e aplicação em uma biblioteca. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

SHIMIZU, TAMIO. Decisão nas organizações. São Paulo: Atlas, 2001.

SHOSTACK, G. Lynn, Service positioning through structural change. Journal of Marketing, New York: v.51, January, 1987. p. 34-43.

SLACK, N., STUART, C., Harland, C. Administração da Produção. São Paulo: Atlas, 1996.

TEIVE, R.C.G., SILVEIRA, F.S.V. & MOROZOWSKI FILHO, M. "A Strategic Decision Support System for Electric Utility Company in a Competitive Environment". Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

ⁱ O CCEE (Câmara de comercialização de energia elétrica) é o órgão regulador responsável pelos fluxos comerciais (liquidação, contabilização de contratos, etc.) dentro do setor, um melhor entendimento do CCEE será apresentado posteriormente.
