

# SISTEMA DE APOIO À DECISÃO PARA DETERMINAÇÃO DO PREÇO DA ENERGIA, USANDO-SE LÓGICA NEBULOSA

*Acácio Magno Ribeiro<sup>1</sup>*

*Luiz Biondi Neto<sup>2</sup>*

*Pedro Henrique Gouvêa Coelho<sup>2</sup>*

*Luis Chiganer<sup>2</sup>*

*Lidia Angulo Meza<sup>3</sup>*

*Luiz Henrique de Souza Aguiar Coutinho<sup>4</sup>*

**Resumo:** Com o advento da privatização do setor elétrico, a energia passou a ser vista como qualquer produto que é negociado num mercado aberto a novos produtores e agentes comerciais, estimulando a competição por preços e qualidade com incremento de oportunidades, obviamente, ocorrendo também incremento de riscos. Os participantes desse mercado engajam-se em uma atividade comercial buscando salvaguardas, principalmente contra o risco nas incertezas de preços. No planejamento de investimentos o custo inúmeras vezes constitui uma incerteza. E o retorno uma incerteza maior ainda. Como exemplo, pode-se citar a construção de uma usina nuclear, no qual o custo de construção é muito difícil de se prever devido à tecnologia envolvida, e, às incertezas das regulamentações. Este trabalho tem por objetivo desenvolver um novo modelo para a gestão econômica de sistemas elétricos, baseado na teoria de "FUZZY SETS" como técnica de análise e julgamento para a tomada de decisão, considerando a estrutura de custos do produtor, a disposição a pagar por parte do consumidor, e o impacto de ambos na formação de preços. Procurar-se-á também levar em conta o atendimento à demanda "social" (atendimento incondicional), e a recuperação destes custos por parte das empresas. Faz-se uma extensão da Teoria Clássica Econômica no tocante a determinação do ponto de equilíbrio do mercado para uma região de possibilidades que deverá ser analisada, para se determinar quaisquer indicadores econômicos, como, por exemplo, lucro máximo, grau de risco de prejuízo, para a análise de investimentos.

**Palavras-chave:** Conjuntos nebulosos, incertezas, análise de risco, preço da energia elétrica.

**Abstract:** With the advent of the privatization of the electric sector, the electric power started to be seen as any product that is negotiated in an open market for new producers and commercial agents, stimulating the competition for prices and quality with increment of opportunities and also obviously producing increment of risks. The players of that market are engaged in a commercial activity looking for safeguards, mainly against the risk in the prices uncertainties. In the investments planning, the costs are usually uncertain, and the profit uncertainty even larger. For example, in the construction of a nuclear power station the building costs are very difficult to be foreseen due to the involved technology, and to the uncertainties in the regulations. The objective of this work is to develop a new model for the economical administration of electric systems, based on "FUZZY SETS" theory as analysis technique and judgment for the decision making, considering the costs of the producer, the consumer payment expectations, and the impact of both in the

<sup>1</sup> Universidade Federal de Juiz de Fora

<sup>2</sup> Universidade do Estado do Rio de Janeiro

<sup>3</sup> Universidade Federal Fluminense

<sup>4</sup> Furnas Centrais Elétricas S.A.

\* Este trabalho teve o apoio do Fundo Setorial de Energia (CT-Energ), por intermédio do CNPq (CTEnerg/CNPq 01/2003), processo 400646/2003-0

determination of prices. The "social" demand service (unconditional service) and the recovery of these costs on the companies will also be taken into account. An extension of the Economical Classic Theory concerning this determination of the balance point for the market within an area of possibilities is done, to determine some economical indicators, as for instance, maximum profit and degree of damage risk, for the investments analysis.

**Key words:** Fuzzy Sets, uncertainties, risk analysis, price of the electric power.

---

## 1. INTRODUÇÃO

Na procura por maior eficiência nos processos de produção, transporte e comercialização de energia elétrica, uma mudança muito rápida está acontecendo: a reestruturação dos setores elétricos estatais de um grande número de países, com ênfase na competição e nos investimentos privados [1].

A partir dessa nova realidade - a competição - uma mudança profunda na comercialização da energia elétrica começou a ocorrer - agora não mais um serviço, a ser obrigatoriamente prestado, mas um bem a ser comercializado segundo as regras de oferta e procura [2], [3] e [4].

Acresce-se que quando os projetos levam tempo considerável para serem completadas, as empresas ficam diante de um problema de investimento sequencial que pode envolver duas diferentes espécies de incertezas [5], [6], [7], [8] e [9].

- **Incerteza técnica** - relacionada às dificuldades para representar os diversos cenários de operação, e seus custos.
- **Incerteza de custo** - é externo para a empresa. Este ocorre quando os preços do trabalho, combustíveis, materiais necessários à execução do projeto etc, flutuam de maneira imprevisível, ou quando mudanças imprevistas em regulamentações governamentais alteram tais custos.

Com isso, pode-se levantar que três fatores são preponderantes na caracterização de incertezas na tarefa do planejador:

- **Fatores econômicos:** super ou subdimensionamento de oferta e demanda, alterações de preços de produtos e matérias primas, investimentos imprevistos, etc.
- **Fatores financeiros:** falta de capacidade de pagamento, insuficiência de capital, etc.
- **Fatores técnicos:** inadequabilidade de projeto, tecnologia empregada, etc.

E ainda fatores políticos e institucionais adversos, clima, hidrologias, problemas de gerenciamento de projeto, [10], [11] e [12].

## 2. OBJETIVOS

Atualmente a energia elétrica é vista como qualquer produto que é negociado num mercado aberto a novos produtores e agentes comerciais, estimulando a competição por preços e qualidade com incremento de oportunidades, obviamente, ocorrendo também incremento de riscos. O desempenho da empresa não está mais associado apenas à qualidade da energia que vende, mas também a lucratividade, como bons contratos de fornecimento, baixo grau de risco de prejuízo assim como lucros crescentes.

No planejamento de investimentos das empresas, o custo inúmeras vezes constitui uma incerteza. E o retorno uma incerteza maior. Tem-se então que considerar: *Incerteza técnica; Incerteza de custo; Fatores econômicos; Fatores financeiros; Fatores técnicos; e ainda fatores políticos.*

Incertezas e riscos estão entre os maiores desafios que constituem os problemas de tomada de decisão. Tendo em vista que as principais decisões que são tomadas no dia a dia das empresas, são feitas em face

de informações imprecisas, a própria manipulação das incertezas é crucial para uma efetiva operação. Tendo em vista esses objetivos, este trabalho apresenta uma nova ferramenta para a manipulação dessas incertezas, com base na teoria de fuzzy sets [13], [14] e [15], para a modelagem desses custos e da função utilidade, [16] e [17].

Propõe-se então um modelo para a gestão econômica de sistemas elétricos, considerando a estrutura de custos do produtor, a disposição a pagar por parte do consumidor, e o impacto de ambos na formação de preços, utilizando a teoria de fuzzy sets, para responder a questões do tipo:

- Qual o menor preço da energia para que o empreendimento da empresa seja viável?
- Qual a produção mínima e grau de risco que se deseja correr para que os investimentos previstos sejam rentáveis?
- Sob o ponto de vista do cliente, um preço elevado da energia pode levar a uma perda maior?
- Qual a demanda ótima a ser atendida?
- Que preço cobrar pela demanda contratada, de modo a garantir o lucro da empresa?

### 3. CONJUNTOS 'FUZZY'

A natureza da incerteza em um problema é um ponto muito importante que os engenheiros procuram avaliar a priori na sua seleção de um método apropriado para expressá-la. A lógica *fuzzy* fornece ao planejador uma ferramenta poderosa para tratar este problema, uma vez que é baseada na habilidade do ser humano em tratar com informações inexatas ou imprecisas [18].

Tome-se como exemplo a modelagem da expansão da demanda futura; com o advento da desregulamentação do setor, o preço da energia elétrica passou a ser considerado um desafio, até agora não enfrentado, altamente relevante [19] e [20].

Para se estabelecer o preço, tanto a curto, médio ou longo prazo, o uso da lógica *fuzzy* tornou-se uma ferramenta bastante atraente. Considerando por exemplo o sistema ilustrado na Figura 1, poderíamos então indagar o seguinte:

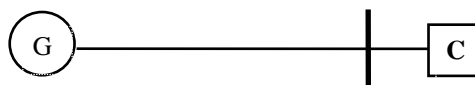


Figura 1 - Gerador G alimentando uma carga C

Qual seria a demanda da carga C para o dia seguinte ou o mês a seguir? Poder-se-ia dizer, por exemplo, que seria 10. Mas com que grau de aceitação?

Para se representar esta demanda de uma forma mais robusta, optou-se pelo uso da *lógica fuzzy*, que permite uma abordagem simples, mas não inexata para uma gama de cenários de operação. Essa demanda então, pode ser representada através de um “conjunto fuzzy” conforme a Figura 2, onde se nota que a demanda deverá estar por volta de 10, não menos que 5 ou mais que 15.

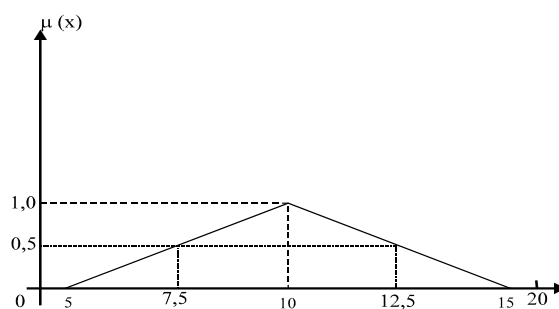


Figura 2 - Conjunto Fuzzy da Demanda

A Figura 2 é constituída de uma função triangular caracterizando a demanda  $x$  da carga C, representa uma *função de possibilidades* -  $\mu(x)$ , que conecta um elemento do domínio (universo total de valores possíveis dos elementos do conjunto) com o grau de pertinência ao conjunto (o grau que  $x$  pertence ao conjunto). Ou seja, C é um conjunto *fuzzy* no Universo X, definido como o conjunto de pares ordenados:

$$C = \{ (x, \mu(x) \mid x \in X \} \quad (1)$$

O domínio do conjunto *fuzzy* representado na Figura 2 são todos os elementos entre 0 e 20. Já o conjunto dos

elementos de  $x$  que possuem grau de pertinência diferente de zero ( $\mu(x) \neq 0$ ) é denominado de suporte do conjunto *fuzzy*.

Para o caso de  $C$  ser um conjunto discreto, pode-se representá-lo usando a notação de Zadeh [18].

$$C = 0,1/6 + 0,5/7,5 + 1/10 + 0,5/12,5 + 0,1/14$$

$$C = \sum_{x \in X} \{ \mu_C(x) / x \} \quad (2)$$

Pode-se alternativamente caracterizar a carga  $C$  do seguinte modo:

- A característica da carga  $C$  ser menor que 5 ou maior que 15 é muito remota.
- A característica da carga  $C$  de ficar em torno de 10 é muito provável.

Uma extensão destes conceitos permitiria caracterizar a produção de energia elétrica por um conjunto de regras da forma:

- “se o preço é baixo a demanda é alta “
- “se a demanda é alta a produção também é alta “
- “se o preço é baixo e a produção é alta então o lucro é médio “

Observando ainda a Figura 2, verifica-se uma região de pontos do conjunto  $X$  – o intervalo de pontos de 7,5 a 12,5 – no qual o grau de pertinência desses elementos é maior ou igual a 0,5.

Tal conjunto recebe o nome de conjunto  $\alpha$ -cut -  $\{0 \leq \alpha \leq 1\}$ -, que nada mais é do que uma restrição limite imposta ao domínio, baseada no valor de  $\mu(x)$  de cada elemento do conjunto.

Pode-se então definir um  $\alpha$ -cut forte ( $\mu(x) \geq \alpha$ ) e um  $\alpha$ -cut fraco ( $\mu(x) > \alpha$ ).

#### 4. IMPACTO DAS INCERTEZAS NA FORMAÇÃO DE PREÇOS E NOS CUSTOS DE PRODUÇÃO

A Teoria Econômica Clássica trabalha com duas curvas: a *estrutura de custos* da empresa em função da demanda atendida e a *disposição a pagar (ou função utilidade)* do consumidor pelo bem ofertado [21].

A aplicação direta dos conceitos de Teoria Econômica Clássica ao setor elétrico diretamente pode ser extremamente difícil, uma vez que a energia elétrica é um bem com pouca elasticidade comparado com outros produtos, ou seja, um aumento no preço da tarifa ocasiona pouca variação na demanda; pelo menos no curto prazo [22].

A principal dificuldade reside na incerteza quanto ao comportamento futuro do consumidor e quanto às disponibilidades e custos de insumos - no caso de sistemas com forte componente hidrelétrico, a incerteza quanto às hidrologias é crucial.

A função de custos considera um enorme leque de incertezas tais como: a entrada de novos geradores, a expansão do sistema e as tecnologias utilizadas, etc [23] e [24].

Tais curvas são levantadas através de modelos de otimização da operação para cada cenário de custos de geração [25].

Nestas condições, existe uma incerteza associada às curvas de custos e de utilidade - que se convertem em *regiões de possibilidades de disposição a pagar (ou utilidades)* e *regiões de custos futuros possíveis*, conforme ilustrado na Figura 3.

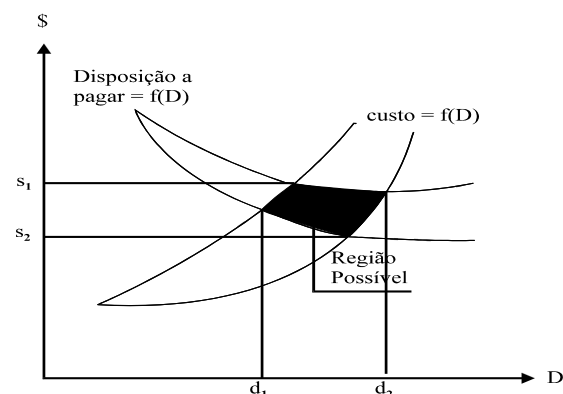


Figura 3 - Região de Possibilidade de Equilíbrio

Observa-se que não existe mais um ponto de equilíbrio de mercado, mas uma região

onde este equilíbrio estará situado. A análise dessa região permite determinar:

- O ponto de maior possibilidade de equilíbrio do mercado.
- Qual o grau de risco que os produtores estão dispostos a correr no caso de prejuízos, qual o percentual mínimo de lucro desejado e qual o grau de risco envolvido no estabelecimento de contratos futuros.
- Quais os pontos de demanda e preço de maior possibilidade de se concretizarem;
- Modelagem do comportamento do concorrente, para construção de um modelo de competição.

## 5. DETERMINAÇÃO DE PREÇOS DE MAIOR POSSIBILIDADE

Considerando a região de possibilidades delimitada na Figura 3, pode-se então determinar os preços de maior possibilidade. Um determinado preço de oferta  $P^*$  [  $S_2 < P^* < S_1$  ] poderia levar a um risco de prejuízos, dependendo da utilidade -  $U$  - do consumidor, fornecido pela expressão (3).

$$\phi_l = \int_{P^*}^{\bar{U}} \mu_c \quad (3)$$

onde a operação de integral é desenvolvida sob a restrição de demanda. De maneira análoga, pode-se também determinar a possibilidade de lucro.

A possibilidade de ocorrer falhas nos negócios, exprimindo o risco de perda do cliente, é dada pela integral das possibilidades de que a utilidade do consumidor seja menor que o preço de oferta  $P^*$ , de acordo com a expressão (4).

$$\phi_f = \int_U^{P^*} \mu_u \quad (4)$$

O prejuízo de maior possibilidade será dado pelo centróide da região de possíveis prejuízos, de acordo com a expressão (5).

$$PMP = \frac{\int_{P^*}^{\bar{C}} (C - P^*) \mu_c}{\int_{P^*}^{\bar{C}} \mu_c} \quad (5)$$

De maneira semelhante pode-se também determinar o lucro de maior possibilidade.

Considerando agora a região de mercado limitada pelas regiões de custo de produção e de preços de oportunidades conforme Figura 4, pode-se então calcular o risco ou o valor esperado de lucro / prejuízo associado ao atendimento da demanda  $D^*$  ao preço  $P^*$ .

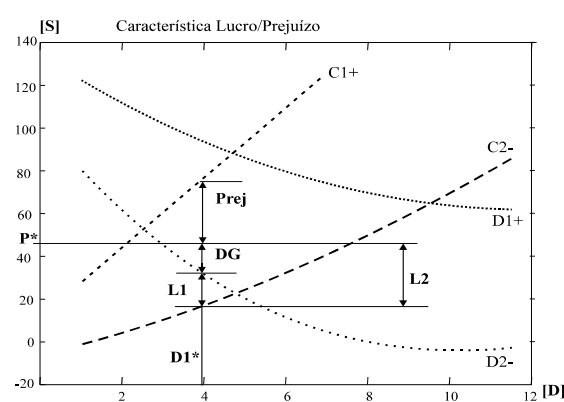


Figura 4 – Característica Lucro / Prejuízo

Para uma dada demanda  $D_1^*$  com preço  $P^*$  o prejuízo total pode ser calculado de acordo com a expressão (6), onde a operação de integral é desenvolvida sob a restrição da demanda  $D^*$ , e, o risco de prejuízo associado a este atendimento será o  $\alpha$ -cut correspondente.

$$Prej = \int [C - P^*] \mu \quad (6)$$

## 6. ESTUDO DE CASO

No caso real estudado foram considerados seis cenários possíveis de demanda e dez cenários possíveis de hidrologias, segundo possíveis contratos, a serem negociados por uma empresa da América Latina, Tabela 1 que retrata as diversas funções de custo, segundo seus graus de pertinência. De posse das curvas de custo, obtidas através de métodos de otimização e ilustradas na Figura 5, pode-

se então proceder a análise de risco para o sistema em questão.

Tabela 1- Possíveis Cenários de Demanda

CENÁRIOS DE CUSTO DE PRODUÇÃO EM FUNÇÃO DA DEMANDA						
Demanda	49 (GWh)	51 (GWh)	53 (GWh)	55 (GWh)	57 (GWh)	59 (GWh)
Custos	2.915,30	13.334,90	30.016,80	52.961,00	82.167,50	117.636,20
	5.580,80	17.000,00	34.156,90	57.051,60	85.684,10	120.054,40
	8.246,40	20.665,10	38.297,00	61.142,30	89.200,80	122.472,60
	10.912,00	24.330,10	42.437,10	65.232,90	92.717,50	124.890,90
	13.577,60	27.995,20	46.577,20	69.323,50	96.234,10	127.309,10
	16.243,20	31.660,30	50.717,30	73.414,10	99.750,80	129.727,30
	18.908,80	35.325,40	54.857,40	77.504,70	103.267,50	132.145,60
	21.574,40	38.990,50	58.997,50	81.595,40	106.784,10	134.563,80
	24.240,00	42.655,60	63.137,60	85.686,00	110.300,80	136.982,00
29.571,10	49.985,70	71.417,70	93.867,20	117.334,10	141.818,50	

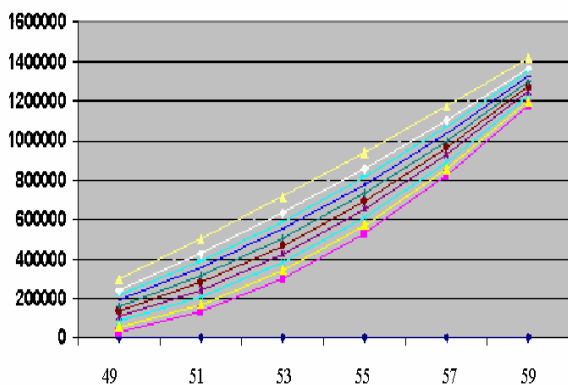


Figura 5 – Região Fuzzy de Custos de Produção

O lucro total associado ao atendimento dessa demanda ao preço  $P^*$  será calculado através da expressão (7),

$$L2 = L1 + DG \quad (7)$$

na qual  $DG$  é definida como uma parcela que deixar-se-ia de ganhar, caso a disposição a pagar se mantivesse sobre a curva  $D2$ , e as expressões para  $L1$  e  $DG$  são respectivamente:

$$L1 = \int [U. -P^*] \mu_c \quad (8)$$

$$DG = \int [U - P^*] \mu_c \quad (9)$$

Nas expressões (8 e 9),  $U$  representa as funções utilidade (disposição a pagar do consumidor). O lucro esperado de maior possibilidade será o centróide da área calculada de  $L2$ . Pode-se também determinar a máxima demanda que pode ser suprida de modo a não ultrapassar um risco ou valor esperado máximo de prejuízo admitido.

A partir da reta correspondente a um determinado preço  $P^*$ , procura-se local o prejuízo *total* máximo admitido –  $Prej\ máx.$  – encontrando desta maneira o valor da demanda máxima a ser atendida, utilizando os  $\alpha$ -cut.

O mínimo preço que deve ser cobrado de modo a não ultrapassar um risco ou valor esperado máximo de prejuízo admitido.

A Tabela 2 apresenta os preços médios de bolsa e de custos de produção para dois anos considerados: ANO 1 e ANO 2.

Tabela 2 - Preços Médios de Bolsa e Custos de Produção

CARGA	45,92	48,18	50,04	52,48	55,7	
D. Pagar	8,60	8,60	8,60	8,60	8,60	ANO 1
D. Pagar	65,67	65,67	65,67	65,67	65,67	ANO 2
Custos	0	0	4,51	28,80	61,36	ANO 1
Custos	0	21,67	40,22	65,43	102,07	ANO 2

Pode-se, a partir de agora delinear a região de mercado a ser estudada [26]. Para simplicidade de cálculo, as curvas de custo foram ajustadas através de polinômios, sem perda de generalidades, objetivando um mapeamento dessas através de curvas de pertinência mais abrangentes, conforme ilustra a Figura 6.

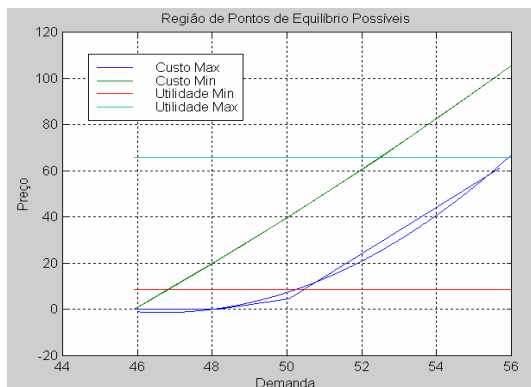


Figura 6 – Região de Pontos de Equilíbrio Possíveis

O mapeamento da região de mercado para uma análise de riscos mais consistente está ilustrado na Figura 7.

De posse desse mapeamento, determina-se então os quesitos importantes para dar subsídios consistentes para a tomada de decisão da empresa:

- Demanda a ser atendida e o preço de oferta de melhor possibilidade para a região em análise: 51, 50 GWh a um preço de US\$ 39.250,00.
- Variação total de lucro e de prejuízo em função da demanda a ser atendida e do preço ofertado, Figura 8.
- Variação de lucro e de prejuízo de maior possibilidade em função da demanda a ser atendida e do preço ofertado.

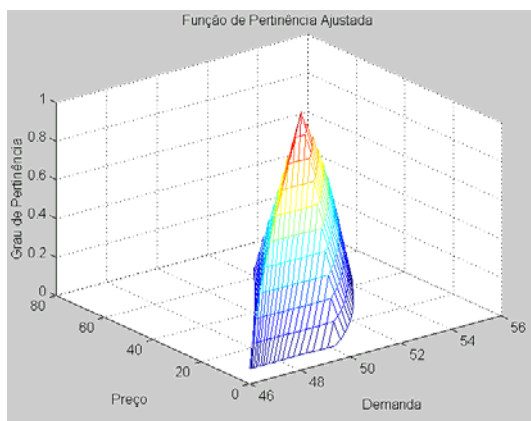


Figura 7 – Mapeamento da Região de Mercado

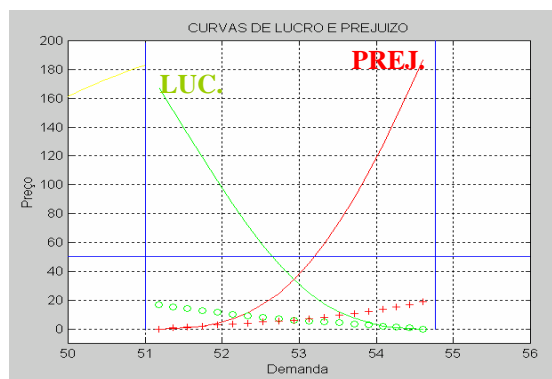


Figura 8 – Variação de Lucro / Prejuízo

Na Figura 8, a curva cheia (PREJ.) representa o prejuízo total, a curva com símbolo “+” o prejuízo de maior possibilidade.

Na mesma figura a outra curva cheia (LUC.) representa o lucro total, a curva com símbolo “o” lucro de maior possibilidade, tudo para um preço ( $P^*$ ) de oferta igual a US\$ 50.000,00 representado por uma reta horizontal.

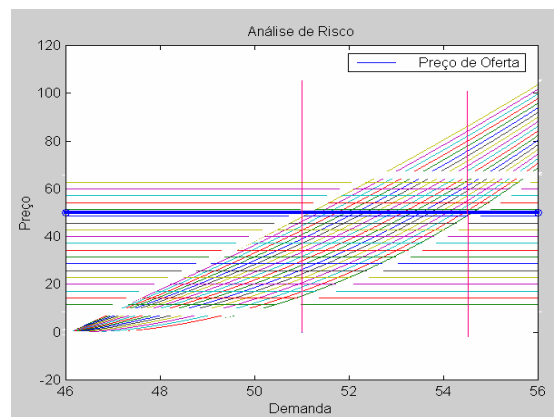


Figura 9 – Análise de Risco

Observando agora a Figura 9, verifica-se que existem três regiões distintas, a saber:

- À esquerda do ponto de demanda igual a 51, verifica-se que essa é uma região onde se mantendo o preço de US\$ 50.000,00 o fornecedor só obtém lucro, uma vez que as curvas de custo estão abaixo do mesmo.
- À direita do ponto de demanda igual a 54,8 aproximadamente, o fornecedor, mantido o preço anterior, somente obterá prejuízos, pois as curvas de custo estão acima deste preço.

- Entre os dois pontos de demanda 51 e 54,8, verifica-se que tanto pode ocorrer lucro quanto prejuízo, dependendo das curvas de custo da empresa.

É nessa região que o tomador de decisão deve executar uma análise mais apurada a fim de não incorrer em prejuízos para a empresa, como também não pedir um preço muito elevado, com risco de perder clientes.

Continuando a análise da Figura 9 para diversos graus de risco, pode-se então construir tabelas que retratam o comportamento das variáveis *demanda máxima a ser atendida e preço mínimo a ser cobrado do cliente*, em função dos lucros (mínimo) ou prejuízos (máximos) admitidos, considerando a princípio um determinado preço de oferta para o mercado, por exemplo, U\$ 50.000,00.

Para este preço, pode-se então ter uma noção de quais demandas poder-se-ia atender, observando margens de lucro ou eventuais prejuízos.

A Tabela 3 fornece as informações para o tomador de decisão acerca de quanto deverá cobrar do cliente para atender uma determinada demanda, tendo em vista um grau máximo de risco admitido ( $\alpha_{cut}=0,05$ , por exemplo).

Tabela 3 – Preço mínimo cobrado

PARA PREJUÍZO DE U\$10,00 DEM. MAX = 52,125 – GRAU DE RISCO DE 0,05	
DEMANDA A SER ATENDIDA	PREÇO MÍNIMO A SER COBRADO
49	25.934,00
51	44.914,00
53	65.487,00
55	87.653,00
57	111.411,00
59	136.761,00
60	150.034,00

É importante observar que a minimização de custos não garante o lucro.

Pode-se, adicionalmente, construir *as curvas de lucros possíveis* de modo a determinar o lucro obtido em função dos investimentos realizados.

Os principais resultados desta análise foram:

- Perspectivas de lucro (ou prejuízo) em função dos investimentos realizados.
- Cálculo do ponto ótimo de investimentos - que leva a maior possibilidade de lucro, ou a maior expectativa de lucro.

Assim é apresentado um modelo para a comercialização da energia elétrica sujeito às incertezas do setor, desenvolvendo algo sob medida para mercados emergentes, com todas as características inerentes a processos ainda jovens e desconhecidos: incertezas não probabilísticas, altos riscos, comportamento ainda não estabilizado de clientes e competidores.

Como resultado, tem-se um modelo ágil, flexível e robusto, combinando as teorias matemáticas e econômicas de última geração para obter uma representação realista do sistema e oferecer ao tomador de decisão um auxílio preciso e confiável, fornecendo perspectivas de lucro (ou prejuízo) em função dos investimentos realizados.

O modelo final para a comercialização da energia elétrica apresenta as seguintes características:

- **Definição dos Índices de Qualidade do Negócio:** A empresa define, segundo suas filosofias e objetivos, um *índice de qualidade* pelo qual será medido o sucesso do negócio. Este índice pode ser uma ponderação das variáveis de interesse, como lucro esperado, risco admitido, máximo prejuízo admitido, etc.
- **Definição das Possíveis Estratégias:** Com base na experiência, conhecimento e/ou expectativas, definem-se as possíveis estratégias de comercialização das empresas e seus competidores.

Por apresentar um “Tool Box” adequado para trabalhar com incertezas (*FUZZY LOGIC*) e por permitir um tratamento gráfico muito eficiente, em todo o estudo



de caso foi usada a ferramenta computacional MatLab versão 6.2.

## 7. CONCLUSÕES

Até o final dos anos 80, ainda com o monopólio estatal do setor elétrico, estava implícito a idéia de que o governo procurava servir aos interesses da maioria, mesmo que, na prática, nem sempre o fizesse.

Com a desregulamentação do setor elétrico, com as privatizações e a implantação do livre mercado, as novas empresas passaram a enfrentar novos desafios, até então impensáveis:

- Como planejar seus investimentos segundo essa nova filosofia.
- As empresas seriam geridas somente para o lucro máximo (ou para enriquecer seus acionistas) como propõe a microeconomia clássica;

Nos mercados de concorrência perfeita a resposta é afirmativa, pois caso contrário às mesmas não sobreviveriam. A questão da maximização do lucro é tão complexa e as informações tão imperfeitas, que a mesma torna-se impossível.

Este trabalho apresentou uma nova classe de ferramentas mais adequada à nova realidade: a Teoria de **Fuzzy Sets** para a Análise de Riscos, capaz de analisar futuros cenários e representá-los corretamente, sem a utilização de probabilidades artificiais e sem lançar mão de históricos inexistentes ou pouco confiáveis.

Assim, apresentou-se a Teoria de *Fuzzy Sets*, na modelagem do mercado de energia elétrica, visando a Análise de Riscos, capaz de analisar futuros cenários, como a estrutura de custos totais em função da demanda futura, os valores mínimos de contratos a serem negociados, o preço máximo que cada investimento vale em função dos benefícios que traz ao sistema, determinando o ponto ótimo de investimentos – maior possibilidade (ou expectativa) de lucro.

Dessa forma esse artigo procurou apresentar, de forma simples, uma

metodologia para a análise de investimentos considerando as restrições de incertezas futuras, procurando, desta forma, determinar quais os investimentos atraentes de modo a minimizar o total de custos, presente e futuro. O resultado alcançado foi o seguinte:

- Elaboração do Plano de operação e investimentos para as possíveis demandas futuras;
- A estrutura de custos totais em função da demanda futura.
- As tarifas mínimas que recuperam os gastos calculados.
- O preço máximo que cada investimento vale em função dos benefícios que traz ao sistema.

Finalmente, deve-se notar que o objetivo da metodologia proposta *não é* meramente a solução de um problema de planejamento. Ao contrário, buscam-se aqui informações que serão posteriormente utilizadas, em mesas ou fóruns de negociação, para a tomada final da decisão. O dilema de quem toma decisão: cobra-se preço elevado – um concorrente pode fazer uma oferta melhor e ganhar mais clientes – ou se diminui o preço, com o intuito de ganhar mais contratos, isso pode implicar em prejuízos para a empresa, ganha assim novas ferramentas para uma análise mais criteriosa, objetivando uma decisão mais adequada com os objetivos da mesma.

## 8. REFERÊNCIAS

- [1] L. M. V. G. Pinto, D. Camac, V. Ormeño, M. Fernandez, L. Espiñoza, (1998), "Computation and Analysis of Marginal Costs – the CAMAC Model", SEPOPE'98, Rio de Janeiro, Brazil.
- [2] H. M. Merrill, A. J. Wood, (1990), "Risk and Uncertainty in Power System Planning", 10th Power System Computation Conference - PSCC, Graz, Austria, 97-108.
- [3] Hwang, C. L., Lai, Y. J., (1993), "Possibilistic Linear Programming for Managing Interest Rate Risk", *Fuzzy Sets and Systems*, 54, 135-146.

- [4] E. Crousillat, P. Dörfner, P. Alvarado, H. Merrill, (1993), "Conflicting Objectives and Risk in Power System Planning", IEEE Transactions on Power Systems, 8(3), pp. 887-893.
- [5] C. J. Andrews, (1995), "Evaluating Risk Management Strategies in Resource Planning", IEEE Transactions on Power Systems, Vol 10, Number 1, pp. 420-426
- [6] V. Miranda, L. Miguel Proença, (1997), "Probabilistic Choice Vs. Risk Analysis - Conflicts And Synthesis In Power System Planning", Presented in PICA'97, Columbus, Ohio, (to appear in IEEE Transactions on Power Systems)
- [7] Roy Billinton, Ronald N. Allan, Luigi Salvaderi, (1991), "Applied Reliability Assessment", Electric Power Systems, IEEE Press, New York, USA.
- [8] Frank A. Felder, (2001), "A Critique of Existing Electric Power Systems Reliability Analysis and Policy", The Electricity Journal, Volume 14, Number 3, pp21-31.
- [9] Ann M. Seha, Steven B. Corneli, Thomas Erik Bailey, (2000), "The Electricity Deregulation Experience", The Office of Minnesota Attorney General, Residential and Small Business Utilities Division.
- [10] M. R. Augusto, S. Isabel, (2000), "Gas and Electricity Business Strategies in the Iberian Peninsula: Integration of the Portuguese and Spanish Markets?", Energy Markets in the Making-Strategies for the New Millenium, International Conference, Salzburg, Austria.
- [11] M. R. Augusto, M. Atle, (2000), "Path Dependent National Systems or European Convergence? Deregulation and Integration of European Electricity Markets in an Evolutionary Perspective", IAEE, Bergen, Norway.
- [12] Danny K. Y. Sin, James N. K. Liu, (2001), "Optimization Approach Using CBR and Evaluation Strategy", Workshop on Soft Computing in Case-Based Reasoning, International Conference on Case-Based Reasoning, ICCBR'01 Vancouver, British Columbia, Canada.
- [13] Mas-Colell, Andrew, Whinston, Michael D. and Green, (1995). "Microeconomic Theory", Oxford, Oxford University Press.
- [14] Zimmermann, H. J, (1996), "Fuzzy Set Theory - and its Applications", Kluwer Academic Publishers Boston, Dordrecht, Lancaster.
- [15] V. Miranda, (1994), "Power System Planning and Fuzzy Sets: Towards a Comprehensive Model Including all Types of Uncertainties", invited paper, 4th PMAPS - Probab. Methods Applied to Power Systems, Rio de Janeiro, Brazil.
- [16] Simon C. K. Shiu, Yan Li, Xi Z. Wang, (2001), "Using Fuzzy Integral to Model Case-Base Competence, Workshop on Soft Computing in Case-Based Reasoning", International Conference on Case-Based Reasoning, ICCBR'01, Vancouver, British Columbia, Canada.
- [17] Sankar Pal, Pabitra Mitra, (2001), "Case Generation: A Rough-Fuzzy Approach", Workshop on Soft Computing in Case-Based Reasoning, International Conference on Case-Based Reasoning, ICCBR'01 Vancouver, British Columbia, Canada.
- [18] L. A. Zadeh , (1965), "Fuzzy Sets", Information and Control, 8, 53-69.
- [19] J. A. Momoh, X. W. Ma, K. Tomsovic, (1995), "Overview and literature survey of fuzzy set theory in Power Systems", IEEE Trans. Power Systems.
- [20] Stuart J. Russell, Peter Norvig, (2004), "Inteligencia Artificial", Elsevier-Campus ed.
- [21] Sher, William and Pinola, Rudy, (1986). "Modern Micro-Economic Theory. North-Holland - New York.
- [22] M. R. Augusto, M. Atle, O. Terje, (2002), "Functional, Institutional and Strategic Perspectives on the Configuration and Performance of European Energy Firms", EGOS, Barcelona, Spain.

- [23] Varian, Hal R. (1992), "Microeconomic Analysis". W. W. Norton & Company- New York.
- [24] D. Camac, "A Model for the Optimal Planning and Operation of Hydrothermal Systems", D.Sc. Thesis, 1998 .
- [25] Sáez, D., Cipriano, A. (2001), "A new method for structure identification of fuzzy models and its application to a combined cycle power plant". Engineering Intelligent Systems for Electrical Engineering and Communications, Vol. 9, N° 2, pp. 101-107.
- [26] Buckley, J. J. "Multiobjective Possibilistic Linear Programming", (1990), Fuzzy Sets and Systems, 35, 23-28.